



Milieuprijzen als weegfactor in de bepalingsmethode milieuprestatie bouwwerken



CE Delft

Committed to the Environment

Milieuprijzen als weegfactor in de bepalingsmethode milieuprestatie bouwwerken

Dit rapport is geschreven door:
Sander de Bruyn, Marijn Bijleveld en Marisa Korteland

Delft, CE Delft, december 2020

Publicatienummer: 20.200135.168

Milieu / Prijsstelling / Milieuprijzen / Meetmethode
VT: Bepalingsmethode milieuprestatie bouwwerken

Opdrachtgever: Stichting NMD
Uw kenmerk: 20/1503

Alle openbare publicaties van CE Delft zijn verkrijgbaar via www.ce.nl

Meer informatie over de studie is te verkrijgen bij de projectleider Sander de Bruyn (CE Delft)

© copyright, CE Delft, Delft

CE Delft

Committed to the Environment

CE Delft draagt met onafhankelijk onderzoek en advies bij aan een duurzame samenleving. Wij zijn toonaangevend op het gebied van energie, transport en grondstoffen. Met onze kennis van techniek, beleid en economie helpen we overheden, NGO's en bedrijven structurele veranderingen te realiseren. Al 40 jaar werken betrokken en kundige medewerkers bij CE Delft om dit waar te maken.

Inhoud

1	Inleiding	4
	1.1 Aanleiding onderzoek	4
	1.2 Doelstelling onderzoek en leeswijzer	5
	1.3 Achtergronden bij deze studie	6
2	Monetaire weegfactoren voor EN 15804+A2	12
	2.1 Inleiding	12
	2.2 Methodiek monetaire weegfactoren voor EN 15804+A2	12
	2.3 Methodologische keuzes bij het opstellen van monetaire weegfactoren	16
	2.4 Resultaat: Voorstel aanpassing monetaire weegfactoren	17
	2.5 Andere weegsets	18
3	Effectstudie: weegfactoren toegepast op bouwproducten	19
	3.1 Inleiding en leeswijzer	19
	3.2 Aanpak en selectie van bouwproducten	19
	3.3 Resultaten gemiddeld product - alle impactcategorieën	22
	3.4 Resultaten gemiddeld product - alleen de impactcategorieën met robuustheidsindicatie I en II	27
	3.5 Asfalt	30
	3.6 Baksteen	31
	3.7 Beton	32
	3.8 Biobrandstoffen	34
	3.9 Hout	35
	3.10 Installaties: zonnepanelen	38
	3.11 Kunststof	40
	3.12 Metalen	42
	3.13 Minerale wol	45
	3.14 Additionele noemenswaardige bevindingen	46
4	Conclusies en aanbevelingen	48
	4.1 Conclusies en aanbevelingen	48
	4.2 Opmerkingen terzijde van het onderzoek	51
5	Bibliografie	52
A	Toepassing milieuprijzen	56
B	Toelichting ontwikkeling nieuwe waarden	59
	B.1 Inleiding	59
	B.2 Klimaatverandering - <i>Global warming potential</i>	60
	B.3 Ozonlaagaantasting - <i>Ozone depletion</i>	61
	B.4 Straling - <i>Ionizing radiation</i>	62
	B.5 Fijnstofvorming - <i>Respiratory inorganics</i>	63
	B.6 Smogvorming - <i>Photochemical ozone formation</i>	65



	B.7 Humane toxiciteit - <i>Human health effects (cancer and non-cancer)</i>	66
	B.8 Verzuring - <i>Acidification</i>	66
	B.9 Vermesting - <i>Eutrophication</i>	68
	B.10 Ecotoxiciteit, zoet water - <i>Ecotoxicity, freshwater</i>	69
	B.11 Landgebruik - <i>Land use</i>	70
	B.12 Waterschaarste - <i>Water scarcity</i>	70
	B.13 Grondstofverbruik - <i>Resource use</i>	71
C	Uitputting van grondstoffen	74
	C.1 Methodiek	74
	C.2 Recyclingdoelstellingen	74
	C.3 Kosten van inzameling en verwerking van afval	75
	C.4 Bespaard grondstofverbruik	76
	C.5 Toedeling en bepaling milieuprijs	77
D	Capita Selecta	79
	D.1 Onzekerheid	79
	D.2 Waardering op endpointniveau	79
E	Klankbordgroep	81

1 Inleiding

1.1 Aanleiding onderzoek

De Bepalingsmethode ‘Milieuprestatie Gebouwen en GWW-werken’ (SBK, 2014), in beheer bij Stichting Bouwkwiteit (SBK), biedt eenduidigheid en controleerbaarheid bij het berekenen van de milieuprestatie van bouwwerken. De Bepalingsmethode volgt de internationale norm EN 15804 ‘Duurzaamheid van bouwwerken – Milieuverklaringen van producten – Basisregels voor de productgroep bouwproducten’. Deze norm is onlangs herzien en staat bekend onder normnummer ‘EN 15804+A2’¹ (NEN, 2019).

Na het aannemen van de Wet kwaliteitsborging voor het bouwen (Wkb) zijn de ‘publieke’ taken van SBK overgegaan naar ‘Toelatingsorganisatie Kwaliteitsborging Bouw’ (TloKB). De taken ten aanzien van beheer en onderhoud van de bepalingmethode en aangesloten Nationale Milieudatabase (NMD), Toetsingsprotocol en dergelijke worden nu uitgevoerd door de Stichting NMD. De Stichting NMD heeft in het hoofdstuk ‘Methodische eisen voor het bepalen van milieuverklaringen van (bouw)producten, installaties en processen’ de bepalingmethode geïmplementeerd.

Belangrijke wijziging in de normering is dat de voorgeschreven milieu-impactcategorieën in de EN 15804+A2 aansluiten bij de levenscyclusanalyse-impactmethode (LCIA) die wordt toegepast binnen het programma ‘Product Environmental Footprint’ van de Europese Commissie – kortweg ‘PEF’ genoemd. In vergelijking met de voorgaande EN 15804, waar de huidige Bepalingsmethode op is gebaseerd, dienen meer milieu-impactcategorieën te worden berekend en ligt aan sommige categorieën een andere berekeningsmethodiek ten grondslag.

Dit betekent dat in de Bepalingsmethode ook de weging van milieueffecten om tot een 1-puntscore te komen, moet worden herzien. De 1-puntscore is een uniforme indicator die aangeeft hoe groot het effect van een bepaald product of project is op het milieu, waarbij de verschillende impactcategorieën (klimaatverandering, verzuring, vermisting, etc.) worden gewogen met zogenaamde weegfactoren om tot één score te komen. De 1-puntscore wordt voor GWW aangeduid als de Milieukosten Indicator (MKI). Voor de B&U-sector wordt de 1-puntscore aangeduid als Milieuprestatie Gebouwen (MPG); deze wordt gebruikt in het Bouwbesluit, fiscale regeling als MIA\VAMIL, criteria voor maatschappelijk verantwoord inkopen en dergelijke. Hiervoor staan diverse gevalideerde rekeninstrumenten ten dienste. De MKI-score vormt een centraal onderdeel in de rekentool Dubocalc, die gebruikt wordt bij duurzaam aanbesteden van GWW-werken.

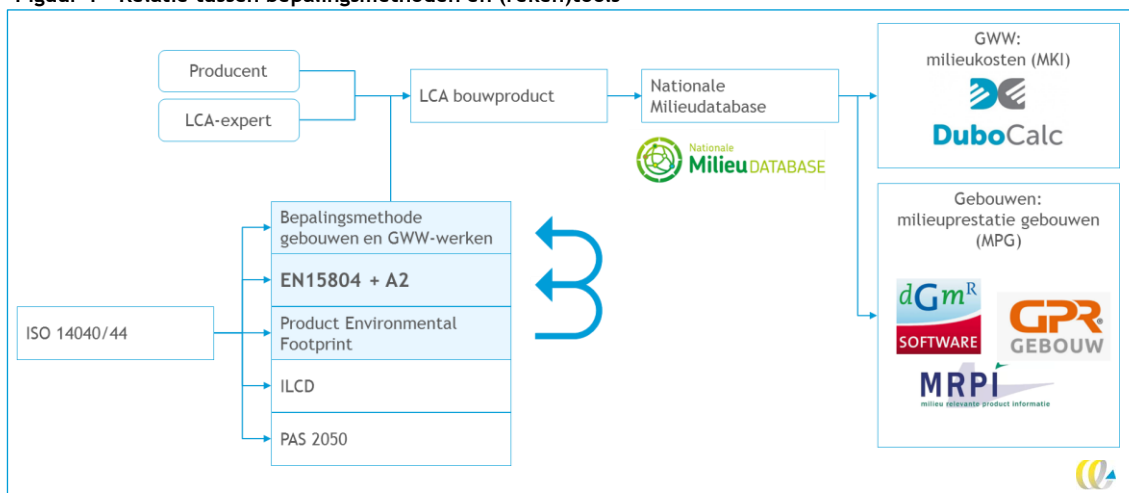
Figuur 1 toont de relatie tussen verschillende berekeningsmethodieken en (reken)tools:

- de PEF-methodiek voor LCA-uitvoer wordt overgenomen in de EN 15804+A2 (LCA-uitvoer voor bouwproducten);
- de EN 15804+A2 ligt ten grondslag aan de Bepalingsmethode;
- LCA’s berekend met de Bepalingsmethode worden opgenomen in de Nationale Milieudatabase;
- de Nationale Milieudatabase wordt gebruikt in diverse rekeninstrumenten voor bouwwerken in gebouwen en GWW-werken).

¹ Volledige naam: EN 15804:2012+A2:2020.

De normaanpassing, via wijziging in bepalingmethoden, heeft zodoende grote gevolgen. De LCA-resultaten van bouwproducten in de Nationale Milieudatabase zullen vervangen moeten worden (op termijn) door LCA-resultaten die berekend zijn met de nieuwe analysemethode conform EN 15804+A2 met nader te bepalen weegmethode.

Figuur 1 - Relatie tussen bepalingmethoden en (reken)tools



Er is dus een keuze voor een weegmethodiek nodig. Eén mogelijkheid is om aan te sluiten bij het PEF-programma en de daarin gebruikte PEF-weegset (Sala, et al., 2018). In PRé Consultants (2020) is deze optie al eerder verkend. Een andere optie zou zijn om uit te gaan van monetaire weegfactoren op basis van milieuprijzen, zoals ontwikkeld door CE Delft (2017a). Immers, de huidige Bepalingsmethode gebruikt al monetaire weging. SBK wil zorgvuldig zijn en samen met overheid en bedrijfsleven beide opties in de overwegingen meenemen. Stichting NMD heeft aan CE Delft gevraagd om een set van milieuprijzen op te stellen die aansluit bij de EN 15804+A2.

Een klankbordgroep is betrokken geweest bij het onderzoek, bestaande uit vertegenwoordigers van brancheorganisaties (uit de maakindustrie) en (Rijks)overheidsinstanties. Voor de samenstelling van de klankbordgroep, zie Bijlage E.

1.2 Doelstelling onderzoek en leeswijzer

Het onderzoek heeft tot doel om een nieuwe set van monetaire weegfactoren te ontwikkelen voor een nieuwe bepalingmethode die past bij de impactanalysemethoden (LCIA), zoals voorgeschreven in de norm EN 15804+A2.

Dit rapport gaat in op drie onderzoeksvragen:

1. Welke nieuwe set monetaire weegfactoren kan worden toegepast om tot een 1-punt-score te komen? Hierbij wordt uitgegaan van weging op basis van een monetaire waardering van de milieueffecten. De voorgestelde weegset wordt gepresenteerd in Hoofdstuk 2.

2. Hoe pakken de nieuwe monetaire weegfactoren in de praktijk uit voor diverse bouwproducten? We berekenen milieukundige resultaten voor enkele (bouw)producten en een 'gemiddeld' bouwproduct met 1) de EN 15804+A2-analysemethode met de nieuwe monetaire weegfactoren, 2) de EN 15804+A2-analysemethode met weging volgens de in de PEF voorgestelde 1-puntscore, en 3) de huidige bepalingmethode. Resultaten van deze analyse zijn opgenomen in Hoofdstuk 3.
3. Welke overwegingen kunnen worden betrokken bij de keuze voor een weegset? Deze overwegingen staan vermeld in Hoofdstuk 4.

In de volgende twee paragrafen wordt noodzakelijke achtergrondinformatie gegeven om de rest van de studie te begrijpen: de noodzaak om een nieuwe weegmethode te ontwikkelen en de rol van milieuprijzen daarin. Een uitgebreidere toelichting is te vinden in Bijlage A.

1.3 Achtergronden bij deze studie

1.3.1 Een nieuwe bepalingmethode = een nieuwe weegmethode

De overgang naar EN 15804+A2 betekent een verandering in het meten van milieu-impact ten opzichte van de bestaande EN 15804. Het aantal milieu-impactcategorieën wordt in principe uitgebreid van de huidige elf naar zestien. Daarnaast worden diverse milieu-impactcategorieën in andere eenheden uitgedrukt (wat voortkomt uit een verandering van de achterliggende berekeningsmethode voor die impactcategorie). Tabel 1 toont de wijzigingen in milieu-impactcategorieën en hun eenheden.

Tabel 1 - Overzicht impactcategorieën in EN 15804 en in EN 15804+A2

Huidige EN 15804		EN 15804+A2	
Milieu-impactindicator	Eenheid	Milieu-impactindicator	Eenheid
Klimaatverandering	Kg CO ₂ -eq.	Klimaatverandering	Kg CO ₂ -eq.
Ozonlaagaantasting	Kg CFC ₁₁ -eq.	Ozonlaagaantasting	Kg CFC ₁₁ -eq.
Verzuring	Kg SO ₂ -eq.	Verzuring	Mol H ⁺ -eq.
Smogvorming	Kg etheen-eq.	Smogvorming	Kg NMVOC-eq.
Vermesting	Kg PO ₄ -eq.	Vermesting - zoet water	Kg P-eq.
		Vermesting - zout water	Kg N-eq.
		Vermesting - bodem	Kg N-eq.
Uitputting - metalen en mineralen	Kg Sb-eq.	Uitputting van metalen en mineralen	Kg Sb-eq.
Uitputting - fossiele grondstoffen	Kg Sb-eq.	Uitputting van fossiele grondstoffen	MJ
		Waterschaarste	m ³ -eq. bijdrage aan depletie
		Fijnstof	Kg/disease incidence
Toxiciteit menselijke gezondheid	Kg db1,4-eq.	Toxiciteit menselijke gezondheid - bijdrage aan ontstaan van kanker	CTUh
		Toxiciteit menselijke gezondheid - niet-kankergerelateerd	CTUh
Ecotoxiciteit - zoet water	Kg db1,4-eq.	Ecotoxiciteit - zoet water	CTUe
Ecotoxiciteit - zout water	Kg db1,4-eq.		
Ecotoxiciteit - bodem	Kg db1,4-eq.		
		Straling	kBq U ₂₃₅ -eq.
		Landgebruik	Bodemkwaliteitindex

NB: eq. = equivalenten.

De nieuwe manier van milieu-impact berekenen betekent ook dat er een nieuwe manier moet komen om tot een 1-puntscore te komen: de huidige methode, die gebaseerd is op de milieu-impactcategorieën uit de oude norm, is veranderd: de huidige monetaire weegfactoren kunnen dus niet langer gebruikt worden. Voor een monetaire weegset moet daarom voor alle in het geel gedrukte impacts uit Tabel 1 een nieuwe waardering worden vastgesteld.

1.3.2 Huidige monetaire weegfactoren zijn niet langer courant

Om milieu-impactcategorieën te wegen, worden in de huidige bepalingmethode monetaire weegfactoren gebruikt: milieukosten in de MilieuKostenIndicator (MKI).

De MKI-waarden zijn gebaseerd op de kosten van het behalen van de beleidsdoelstellingen. De MKI-waarden zijn daarbij gebaseerd op (CE Delft, 2002) en (TNO, 2004) en worden weergegeven in Tabel 2. In geel gearceerd zijn de weegfactoren die eenzelfde eenheid kennen als in de nieuwe bepalingmethode worden gebruikt.

Tabel 2 - Overzicht huidige monetaire weegfactoren om tot een 1-puntscore te komen

Impactcategorie (midpoint)	Eenheid	Monetaire weegfactor (€/kg)
Klimaatverandering	CO ₂ -eq.	0,05
Ozonlaagaantasting	CFK-11-eq.	30
Fotochemische oxidantvorming	C ₂ H ₂ -eq.	2
Verzuring	SO ₂ -eq.	4
Eutrofiëring	PO ₄ -eq.	9
Humaan toxicologische effecten	1,4 DB-eq.	0,09
Ecotoxicologische effecten, zoet water	1,4 DB (DichloorBenzeen)-eq.	0,03
Ecotoxicologische effecten, zeewater	1,4 DB (DichloorBenzeen)-eq.	0,0001
Ecotoxicologische effecten, terrestrisch	1,4 DB (DichloorBenzeen)-eq.	0,06
Abiotische uitputting	Sb-eq.	0,16
Uitputting van fossiele energiedragers	Sb-eq.	0,16

De huidige set weegfactoren is echter niet meer actueel, omdat de factoren zijn gebaseerd op verouderde beleidsdoelstellingen (bijvoorbeeld voor het jaar 2010). Daarnaast is er in de recente wetenschappelijke literatuur die emissies waardeert, steeds meer consensus ontstaan dat schadekosten een betere maatstaf geven voor de waardering van emissies dan preventiekosten (zie bijvoorbeeld (Rabl, et al., 2014; CE Delft, 2017a)). Ook in aanpalende beleidsterreinen, zoals maatschappelijke kosten-batenanalyses schrijft het CPB/PBL voor dat men voor de waardering van milieu-impacts gebruik dient te maken van schadekosten (CPB ; PBL, 2013) tenzij de wetenschappelijke onzekerheid dermate groot is dat preventiekosten te verkiezen zijn.²

1.3.3 Handboek Milieuprijzen als bron van 1-puntscore?

De Rijksoverheid heeft in 2016 aan CE Delft opdracht verleend om een systematiek te ontwikkelen, gebaseerd op schadekosten, waarmee maatschappelijke kosten-batenanalyses kunnen worden uitgevoerd. Deze systematiek heeft zijn beslag gekregen in het Handboek Milieuprijzen (CE Delft, 2017a) die zeer veelvuldig worden gebruikt in maatschappelijke

² Dit is het geval bij klimaatverandering, zie Aalbers et al., (2016).

kosten-batenanalyses en andere afwegingskaders van overheden en bedrijfsleven (zie Bijlage A).

Milieuprijzen zijn kengetallen die de maatschappelijke schade van milieuvervuiling aan gezondheid, ecosystemen en gebouwen bepalen en uitdrukken in euro's per eenheid vervuilende stof. Daarmee geven deze prijzen het welvaartsverlies weer dat optreedt als er één extra eenheid van een vervuilende stof in het milieu terechtkomt. Milieuprijzen zijn hetzelfde als 'externe kosten': een begrip uit de economie, die de kosten aangeeft die een producent of consument afwentelt op de maatschappij, zoals schade door lucht-verontreiniging.

In het Handboek Milieuprijzen worden zowel milieuprijzen voor individuele stoffen als monetaire weegfactoren voor LCIA-impactcategorieën vermeld. Deze monetaire weegfactoren worden ook gebruikt in populaire LCA-software, zoals SimaPro. De eenheden uit het Handboek Milieuprijzen voor de milieu-impacts zijn echter niet dezelfde als voorgesteld in EN 15804+A2. Tabel 3 geeft een overzicht van de monetaire weegfactoren voor de impactcategorieën uit het Handboek Milieuprijzen.³ Hierbij worden zowel de weegfactoren weergegeven wanneer alle impacts in Nederland plaatsvinden als wanneer de impacts óók in Europa plaatsvinden.⁴

Tabel 3 - Monetaire weegfactoren voor NL en EU-28 per impactcategorie, zoals gehanteerd in het Handboek Milieuprijzen

Impactcategorie	Eenheid	Nederland	EU-28
Klimaatverandering	€/kg CO ₂ -eq.	€ 0,057	€ 0,057
Aantasting ozonlaag	€/kg CFC-eq.	€ 30,4	€ 30,4
Humane toxiciteit	€/kg 1,4 DB-eq.	€ 0,158	€ 0,0991
Fotochemische smogvorming	€/kg NMVOC-eq.	€ 2,1	€ 1,15
Fijnstofvorming	€/kg PM ₁₀ -eq.	€ 69	€ 39,2
Radiatie, ioniserende straling	€/kg kBq U235-eq.	€ 0,0473	€ 0,0461
Verzuring	€/kg SO ₂ -eq.	€ 5,4	€ 4,97
Vermesting zoet water	€/kg P-eq.	€ 1,9	€ 1,9
Vermesting zout water	€/kg N	€ 3,11	€ 3,11
Ecotoxiciteit, land	€/kg 1,4 DB-eq.	€ 8,89	€ 8,69
Ecotoxiciteit, zoet water	€/kg 1,4 DB-eq.	€ 0,0369	€ 0,0361
Ecotoxiciteit, zout water	€/kg 1,4 DB-eq.	€ 0,00756	€ 0,00739
Landgebruik	€/m ² *jaar	€ 0,0261	€ 0,0845*

* De EU-28-waarden betreffen een nieuwe systematiek en zijn daarom niet volledig vergelijkbaar met de Nederlandse waarden.

Bron: CE Delft, 2017; CE Delft, 2018.

Zoals geconstateerd in PRé Consultants (2020) is de huidige eenheid van milieuprijzen niet in overeenstemming met de nieuwe bepalingsmethode (zie ook Tekstbox 1). De voor- naamste vraag in het huidige onderzoek is daarom of de systematiek van het Handboek Milieuprijzen ook zou kunnen worden aangepast aan de impactcategorieën die worden onderscheiden in de nieuwe bepalingsmethode.

³ Hierbij is gebruik gemaakt van de weegset 'Externe Kosten'.

⁴ Over het algemeen zijn alle impacts die betrekking hebben op menselijke gezondheid (zoals humane toxiciteit, fijnstofvorming en smogvorming) ongeveer 40% lager in de EU-28, doordat de bevolkingsdichtheid in de EU-28 lager is.

Tekstbox 1 - Toelichting: monetaire weegfactoren op basis van milieuprijzen zijn geldig voor specifieke bepalingmethoden

Door de combinatie van milieukundige inzichten en economische inzichten, zijn monetaire weegfactoren op basis van milieuprijzen altijd alleen geldig voor een specifieke levenscyclus-impactanalysemethode (LCIA-methode).

Op dit moment zijn monetaire weegfactoren beschikbaar op de volgende twee LCIA-methoden, die ieder een brede set aan milieu-impactindicatoren voorschrijven:

1. CML2, zoals nu gebruikt in de Bepalingmethode milieuprestatie bouwwerken, gebruikmakend van de karakterisatiemodellen van het CML (Guinée, et al., 2002).
2. ReCiPe (2013), toe te passen op de karakterisatie die in ReCiPe werd toegepast tussen 2009 en 2016 (Goedkoop, et al., 2009).

De ontwikkelde monetaire weegfactoren kunnen echter niet zonder meer worden toegepast voor andere methoden, zoals de Product Environmental Footprinting-methode die is voorgeschreven in EN 15804+A2 en wordt toegepast binnen het programma Product Environmental Footprint van de Europese Commissie. Om de weegfactoren hier te kunnen gebruiken, moeten ze worden 'omgerekend', zodat de waardering voor milieu-impactcategorieën consistent is met de economische waardering zoals voorgeschreven vanuit de WHO of vanuit de Europese projecten rondom biodiversiteit. Daarom moet er een omrekening plaatsvinden die rekening houdt met de specifieke milieukundige methode voor het bepalen van de impactcategorie, zodat er consistentie bestaat tussen de economische en milieukundige effecten.

1.3.4 Herberekening van milieuprijzen naar EN 15804+A2

Het Handboek Milieuprijzen (CE Delft, 2018b) biedt een onderzoekskader en methodiek om de maatschappelijke waarde die aan milieukwaliteit wordt gegeven, van een prijs te voorzien. Daarbij kan worden gekeken naar de waardering van emissies op stofniveau, op specifieke milieu-impactindicatoren, zoals klimaatverandering, verzuring, fijnstofvorming (dit wordt 'midpointniveau' genoemd) of op de uiteindelijke impact op menselijke gezondheid en ecosysteemdiensten (dit heet 'endpointniveau').

De systematiek van Milieuprijzen kan worden omgerekend naar de nieuwe bepalingmethode (de impactcategorieën volgens de EN 15804+A2.) Dit komt doordat de basis van de milieuprijzen uit CE Delft (CE Delft, 2017a) het stofniveau is. Op stofniveau worden de schades berekend. Vervolgens worden aan de hand van karakterisatiefactoren deze schades toebedeeld aan diverse impactcategorieën. Hierbij worden de diverse stoffen 'gewogen' aan de hand van hun emissies. Hierna zullen we dit toelichten.

Het startpunt voor de analyse is het bepalen van de schade op stofniveau. Daarbij wordt zoveel mogelijk aansluiting gevonden bij internationale onderzoekskaders. Zo vindt de waardering van gezondheidseffecten plaats in overeenstemming met de richtlijnen van de World Health Organisation (WHO, 2013) over het berekenen van de schade van luchtverontreiniging. De waardering van biodiversiteit vindt aansluiting bij Europees gefinancierde projecten over waardering van emissies (NEEDS, 2008). Uiteindelijk worden er schades berekend aan menselijke gezondheid, natuurlijk kapitaal en door mensen gemaakte kapitaalgoederen. Tekstbox 2 geeft een overzicht van alle schades die zijn meegenomen in het Handboek Milieuprijzen.

Tekstbox 2 - Monetaire waardering op schadeniveau bij milieuprijzen

In het Handboek Milieuprijzen worden impacts van vervuiling op endpointniveau in diverse categorieën onderscheiden. Het endpointniveau geeft het niveau aan waarop er schade plaatsvindt. Monetaire waardering wordt daarbij toegepast op de volgende effecten:

Menselijke gezondheid:

- risico op voortijdig overlijden;
- productiviteitsverlies door ziekte;
- ziekenhuisopname;
- medicijngebruik;
- ongemak van ziekte;
- IQ/genetische impacts.

Natuurlijk kapitaal:

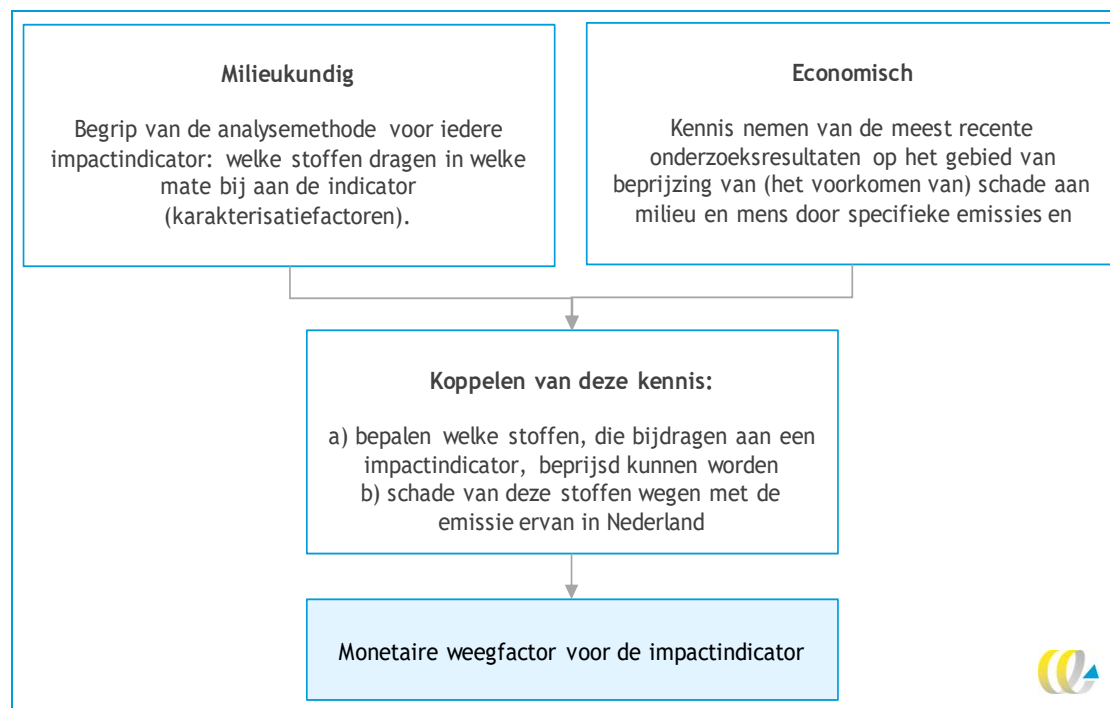
- biodiversiteitsverlies (intrinsieke waarde en recreatieve waarden);
- productiviteitsverlies ecosystemen (landbouw en visserij).

Menselijk kapitaal:

- onderhoud gebouwen en machines.

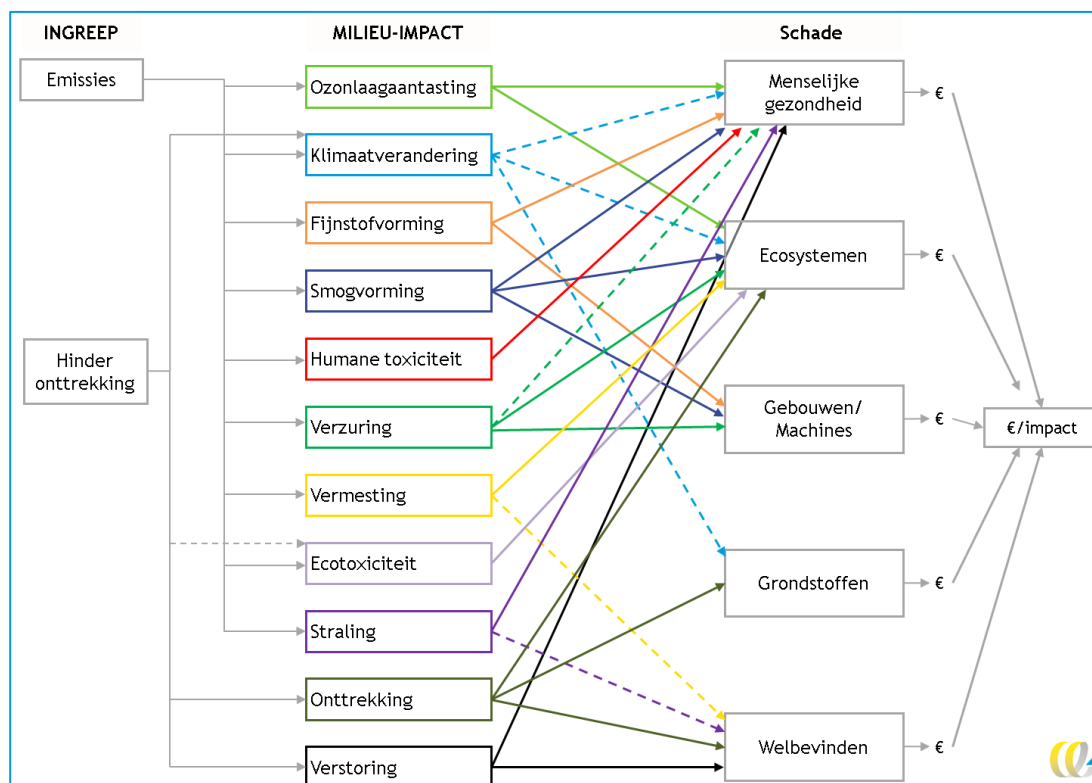
Vervolgens worden de economische waarderingen samengevoegd met de milieukundige informatie uit de karakterisatie om zo tot een gewogen milieuprijs per impactcategorie te komen. Figuur 2 geeft de essentie van deze systematiek weer.

Figuur 2 - Systematiek voor het bepalen van een monetaire weegfactor voor een milieu-impactindicator



Uiteindelijk zorgt dit voor een geharmoniseerd systeem, met daarin de relaties tussen individuele stoffen, hun bijdrage aan impactcategorieën, de relatie tussen impactcategorieën en schade (effect op endpointniveau) en de waardering van die schade, zoals weergegeven in Figuur 3. In principe is elke pijl in onderstaande figuur gekwantificeerd, waarbij de met stippellijnen getrokken lijnen wel zijn beschreven, maar niet (direct) konden worden gekwantificeerd.⁵ Voor een nadere toelichting van de systematiek verwijzen wij naar het Handboek Milieuprijzen (CE Delft, 2017a).

Figuur 3 - Geharmoniseerde systematiek van relaties als kern van het Handboek Milieuprijzen



⁵ Voor klimaatverandering betekent dit bijvoorbeeld dat de waardering op een andere manier (via preventiekosten) is bepaald als proxy voor de schadelijkheid van broeikasgassen.

2 Monetaire weegfactoren voor EN 15804+A2

2.1 Inleiding

Dit hoofdstuk beschrijft op hoofdlijnen hoe de monetaire weegfactoren tot stand zijn gekomen, die CE Delft aanbeveelt per impactcategorie. Paragraaf 2.1 en Paragraaf 2.2. gaat in op de methodologie. In Paragraaf 2.3 staat het totaaloverzicht van nieuwe monetaire weegfactoren die kunnen worden gehanteerd.

Dit hoofdstuk bevat alleen een aanpak op hoofdlijnen. Per milieu-impactcategorie is er een specifieke analyse opgezet en zijn er waarden berekend. Deze uitgebreide berekeningen zijn te vinden in Bijlage B.

Tekstbox 3 - Toelichting: monetaire weegfactoren zijn externe kosten

Een monetaire weegset heeft veel te maken met het begrip 'externe kosten' in de economie. Externe kosten zijn kosten die een producent of consument niet zelf draagt, maar afwentelt op de maatschappij. Een voorbeeld is luchtvervuiling die ontstaat bij een fabriek. De fabriek zelf betaalt niet voor de effecten van de luchtverontreiniging, maar de bevolking die vieze lucht inademt wel, doordat meer mensen ziek worden en levensverwachtingen dalen. Daarnaast kunnen ook de natuur en gebouwen schade ondervinden van luchtverontreiniging.

2.2 Methodiek monetaire weegfactoren voor EN 15804+A2

De PEF-methodiek beschrijft zestien impactindicatoren, waarvan er zes beschouwd worden als additionele impactindicatoren (Sala, et al., 2018). In de PEF-methodiek worden echter niet alle impactcategorieën als even robuust of belangrijk beschouwd. De systematiek onderscheidt drie niveaus van 'aanbeveling' – I, II en III, zoals te zien valt in Tabel 4.

Niveau I geeft hoge robuustheid aan en krijgt in de PEF-weging (Sala, et al., 2018) een robuustheidsscore van 1 (100%); niveau III heeft de grootste onzekerheid en krijgt een robuustheidsscore van 0,2 (20%). De toxiciteitsindicatoren krijgen daarbovenop de aanduiding 'interim', wat hun robuustheidsscore nog verder verlaagt naar 0,1 (10%).

Tabel 4 - Robuustheidsniveau per impactindicator

Indicator in PEF/EN 15804+A2 (letterlijke naam)	Eenheid	LCIA Method level of recommendation
Global warming potential (fossil, biogenic, LULUCF, total)	Kg CO ₂ -eq.	I
Ozone depletion	Kg CFC-11-eq.	I
Particulate matter	Incidence of disease	I
Acidification	Mol H ⁺ eq.	II
Eutrophication potential - aquatic freshwater	Kg PO ₄ -eq.	II
Eutrophication potential - aquatic marine	Kg N-eq.	II
Eutrophication potential - terrestrial	Mol N-eq.	II
Photochemical ozone creation	Kg NMVOC-eq.	II
Ionizing radiation - human health	kBq U235-eq.	II
Land use: soil quality	Potential soil quality index	III
Abiotic depletion - mineral elements	Kg Sb-eq.	III
Abiotic depletion - fossil fuels	MJ	III
Water use	m ³ world-eq. deprived	III
Ecotoxicity - freshwater	CTUe	III/interim
Human toxicity - cancer effects	CTUh	III/interim
Human toxicity - non-cancer effects	CTUh	III/interim

Bron: (Sala, et al., 2018).

De norm EN 15804+A2 onderscheidt kernimpactindicatoren die afwijken van de robuustheidsindicatie. Dit is weergegeven in Tabel 5 (hierna).

In de rechterkolom van Tabel 5 geven we een overzicht van de manier waarop we tot een weegfactor zijn gekomen. Hierbij beoordelen we de inspanning om te komen tot een monetaire weegfactor per impactcategorie:

1. De methode van karakterisatie (milieukundig onderzoek) is voor een indicator precies dezelfde als in het Handboek Milieuprijzen: in dit geval kan de monetaire weegfactor uit het Handboek Milieuprijzen direct worden toegepast.
2. De methode van karakterisatie is anders, maar vergelijkbaar. In dat geval moet de milieuprijs voor de indicator worden herberekend op eenzelfde manier als in het Handboek Milieuprijzen: door de schadekosten voor individuele stoffen te wegen met de karakterisatiefactor, vermenigvuldigd met de emissie (zie voor een toepassing Bijlage B.5, waar deze methodiek is toegepast op nieuwe karakterisatiefactoren). Op deze manier ontstaat een schadegewogen monetaire weegfactor voor de desbetreffende indicator.
3. De methode van karakterisatie is fundamenteel anders. In dat geval moet de milieuprijs opnieuw worden berekend, gebruikmakend van de waardering op endpointniveau in het Handboek Milieuprijzen (zie Bijlage D.2 voor een weergave van de waardering van de relevante endpoints).
4. Het Handboek Milieuprijzen heeft geen waardering voor deze indicator ontwikkeld. In dit geval ontwikkelen we een nieuwe waardering, op basis van de bestaande literatuur op dit punt.

Tabel 5 - Impactindicatoren: alle indicatoren, indicatoren met robuustheidsniveau I en II (Sala, et al., 2018) en de kernindicatoren volgens EN 15804+A2

Indicator in PEF/EN 15804 (letterlijke naam)	Eenheid	Robuustheids-niveau I & II	Kern EN 15804+A2	Methode, bron van milieukundig onderzoek (LCIA-methode)	Inspannings-indeling monetaire weegfactor *
Global warming potential (fossil, biogenic, LULUCF, total)	Kg CO ₂ -eq.	X	X	IPCC, 2013 100a	1
Ozone depletion	Kg CFC-11-eq.	X	X	Steady state ozone depletion potential; WMO, 2014	1
Acidification	Mol H ⁺ eq.	X	X	Accumulated exceedance (Seppälä, et al., 2006), Posch et al., 2008	2
Eutrophication potential - aquatic freshwater	Kg PO ₄ -eq.	X	X	EUTREND Model; Struijs et al., as implemented in ReCiPe	1
Eutrophication potential - aquatic marine	Kg N-eq.	X	X	EUTREND Model; Struijs et al., as implemented in ReCiPe	1
Eutrophication potential - terrestrial	Mol N-eq.	X	X	Accumulated exceedance; (Seppälä, et al., 2006), Posch et al., 2008	3/4
Photochemical ozone creation	Kg NMVOC-eq.	X	X	LOTUS-EUROS; Van Zelm et al., 2008 as implemented in ReCiPe	1
Abiotic depletion - mineral elements	Kg Sb-eq.		X	CML, 2002; (Guinée, et al., 2002); Van Oers, 2002	4
Abiotic depletion - fossil fuels	MJ		X	CML, 2002; (Guinée, et al., 2002); Van Oers, 2002	4
Water use	M ³ world-eq. deprived		X	Available Water Remaining (AWARE); Boulay et al., 2016	4
Particulate matter	Incidence of disease	X		SETAC-UNEP; Fantke et al., 2016	2
Ionizing radiation - human health	kBq U235-eq.	X		Human Health Effect Model; Dreicer et al., 1995, updated Frischknecht et al., 2000	1
Ecotoxicity - freshwater	CTUe			Usetox2	3
Human toxicity - cancer effects	CTUh			Usetox2	3
Human toxicity - Non-cancer effects	CTUh			Usetox2	3
Land use: soil quality	Potential soil quality index (dimensionless, Pt)			LANCA	4

* Voor indeling, zie tekst boven tabel.
Bron: (NEN, 2019).



Uit Tabel 5 blijkt dat voor zes impactcategorieën de weegfactoren direct te bepalen zijn op basis van eerder werk, zonder dat nader onderzoek benodigd is. De karakterisatiefactoren op basis van de PEF-methode (overgenomen in EN 15804+A2) zijn gelijk aan de karakterisatiefactoren in de ReCiPe-analysemethode, waarvoor CE Delft eerder monetaire weegfactoren bepaalde. Daarom kunnen we de weegfactoren overnemen voor de volgende zes impactindicatoren:

- klimaatverandering (global warming potential);
- ozonlaagaantasting (ozone depletion);
- smogvorming (photochemical ozone creation);
- vermesting (zoet water);
- vermesting (zout water);
- ioniserende straling.

Voor een aantal andere impactcategorieën verschilt de LCIA-methode, maar kan op een systematiek identiek aan het Handboek Milieuprijzen een waarde worden berekend.

Het gaat hierbij om:

- Fijnstof: in de PEF-methodiek (en EN 15804+A2) wordt een nieuwe karakterisatiefactor gebruikt (disease increase/kg).
- Verzuring, bodem en zoet water. Ook hier is er een andere eenheid (mol H⁺ in plaats van SO₂).
- Eutrofiering (land).

Voor een aantal andere impactcategorieën is dit niet mogelijk, omdat er een fundamenteel andere systematiek van karakterisatie is gekozen. Het gaat dan om:

- Humane toxiciteit: onderscheid wordt gemaakt in de nieuwe methode tussen humane toxiciteit inclusief en exclusief kankerverwekkende effecten. In beide gevallen wordt de karakterisatiefactor CTUh (morbidity increase/kg stof) gebruikt, waarbij CTU staat voor *Common Toxicological Unit* en de h-subscript staat voor *human*. Er ontstaan twee CTUhs: voor kankerverwekkende en niet-kankerverwekkende stoffen.
- Ecotoxiciteit: hiervoor wordt de eenheid CTUe gebruikt, waarbij de e-subscript staat voor *Ecotoxicity*.
- Landgebruik. Deze indicator wordt nu uitgedrukt in een puntensysteem.

Voor deze drie impactcategorieën hebben we onderzocht of binnen de waardering van het Handboek Milieuprijzen op endpointniveau (menselijke gezondheid, ecosysteemdiensten) een waardering kan worden vastgesteld. Dit bleek mogelijk te zijn voor het thema 'human toxiciteit'. Voor de thema's 'ecotoxiciteit' en 'landgebruik' bleek dit niet mogelijk te zijn en is een waardering vastgesteld aan de hand van de beschikbare literatuur over waardering van de PEF-impactcategorieën.

Tot slot zijn er nog impactcategorieën waarbij het Handboek Milieuprijzen niet tot een waardering komt. Dit zijn de thema's 'waterschaarste' en 'grondstofuitputting' (abiotisch en energiedragers). Hiervoor hebben we een waardering afgeleid via andere studies (waterschaarste) en een eigen berekening van de preventiekosten van grondstofhergebruik.

2.3 Methodologische keuzes bij het opstellen van monetaire weegfactoren

Om een set van monetaire weegfactoren voor de nieuwe EN 15804+A2 te ontwikkelen, moeten een aantal methodologische keuzes worden gemaakt. We hebben, in overleg met de klankbordgroep, het volgende besloten:

- De methodiek gaat in eerste instantie uit van EU-28-prijzen.
- Achterliggende milieuprijzen zullen zoveel mogelijk worden gebaseerd op de centrale waarden uit het Handboek Milieuprijzen.
- De achterliggende milieuprijzen zullen worden ontwikkeld in het prijspeil van 2019.

Hierna lichten we de overwegingen voor deze keuzes toe.

EU-28-prijzen

Op dit moment zijn er twee sets met milieuprijzen beschikbaar: NL-prijzen (CE Delft, 2017a) en EU-28-prijzen (CE Delft, 2018b). Na discussie in de begeleidingscommissie is besloten om in eerste instantie uit te gaan van EU-28-prijzen in dit onderzoek. Dit is gedaan om drie redenen:

1. De monetaire weegfactoren worden toegepast op alle LCA-effecten, van wieg tot graf. Daarbij is het zo dat over het algemeen slechts een (klein) deel van de waardeketens in Nederland plaatsvindt. Juist omdat Nederland een relatief open economie is, zullen de meeste effecten ook in andere landen spelen. Weging met EU-28-prijzen is daarom methodologisch zuiverder dan met prijzen die specifiek gelden voor emissies op Nederlands grondgebied.
2. De LCIA-methode maakt ook gebruik van Europese modellen om de effecten van diverse stoffen ten opzichte van elkaar te bepalen (karakterisatie). Daarom zijn EU-28-prijzen consistent met de onderliggende methodiek van impactbepaling.
3. Zoals te zien is in Tabel 3 (Paragraaf 1.3.3), is er voor veel thema's nauwelijks verschil tussen Nederlandse en EU-waarden in het Handboek Milieuprijzen. De enige thema's waarbij er forse verschillen optreden (een factor 2) zijn voor de thema's die bijdragen aan luchtkwaliteit en menselijke gezondheid. De achterliggende reden is dat de hogere bevolkingsdichtheid in Nederland leidt tot meer schade door luchtvervuiling. Aangezien deze emissies vaak eerder in de keten plaatsvinden (bijvoorbeeld bij grondstofwinning), zou de specifieke Nederlandse waardering tot overschatting van de schadelijkheid kunnen leiden.

Centrale waarden

In het Handboek Milieuprijzen zijn milieuprijzen op stofniveau uitgedrukt in een onderwaarde, een centrale waarde en een bovenwaarde. Dit is gedaan om de onzekerheid ten aanzien van het waarderen van milieuvervuiling tot uitdrukking te laten komen in de prijzen. Op midpointniveau gaan we echter steeds uit van de centrale waarde. Onze aanbeveling is daarom ook om voor dit project uit te gaan van de centrale waarde.

Prijspeil 2019

De meest recente set milieuprijzen (CE Delft, 2017a) (CE Delft, 2018b) is uitgedrukt in prijspeil 2015. Omdat we weegfactoren ontwikkelen op basis van deze externekosten-schattingen, is het op zich niet nodig om van het meest recente prijspeil uit te gaan. Het gaat immers om de onderlinge vergelijking van effecten. Toch is het voor de beeldvorming en gevoel van omvang wel wenselijk. We hebben alle prijzen dan ook

omgerekend naar prijspeil 2019 met behulp van consumentenprijsindices (HICPs). De jaarlijks gemiddelde prijsstijging ten opzichte van 2015 bedraagt 5,4% (Eurostat, 2020).

We merken hierbij op dat het natuurlijk niet mogelijk is om nu al een prijspeil 2020 of 2025 vast te stellen, omdat wij niet weten hoe de inflatie zich de komende maanden en jaren ontwikkelt. Zolang de weegfactoren alleen worden gebruikt om onderlinge effecten te wegen, hoeven de prijzen ook niet te worden aangepast – met uitzondering van CO₂-prijzen die verondersteld worden met 3,5% per jaar te stijgen, conform de uitwerking van de aanbevelingen van de werkgroep Discontovoet in Aalbers et al., (2016).

Aanpassing aan het inflatiepeil kan zeer eenvoudig gebeuren door de algemene consumentenprijsindex van het CBS te gebruiken en daarvoor hoeft geen nieuw consultancy-traject te worden opgestart.

2.4 Resultaat: Voorstel aanpassing monetaire weegfactoren

Tabel 6 geeft een totaaloverzicht van de uitkomsten van het gehele onderzoek, waarbij zowel de huidige prijs in de huidige bepalingmethode (de MKI-waarde) is weergegeven en de voorgestelde nieuwe prijs op basis van ons onderzoek. Hieruit blijkt dat we voor alle effecten een milieuprijs hebben kunnen voorstellen. In Bijlage B staat een uitgebreide verantwoording en onderbouwing van de voorgestelde weegfactoren.

Tabel 6 - Voorstel aanpassing weegfactoren op basis van milieuprijzen

Milieuthema	Huidige prijs in Bepalingmethode (prijspeil 2000)		Weegfactor op basis van milieuprijs (prijspeil 2019)	
	Waarde	Eenheid	EU-28-waarde	Eenheid
Klimaatverandering	50	€/tCO ₂	70/116	€/tCO ₂ -eq.
Ozonlaagaantasting	30	€/kg CFK ₁₁ -eq.	32	€/kg CFK ₁₁ -eq.
Straling	N.v.t.	N.v.t.	0,049	€/kg kBq U235-eq.
Smogvorming	2	€/kg C ₂ H ₂ -eq.	1,22	€/kg NMVOC-eq.
Fijnstofvorming	N.v.t.	N.v.t.	549.750	€/kg disease incidence
Humane toxiciteit:	0,09	€/1,4 DB-eq.		
– Kankerverwekkend effect			1.096.368	€/CTUh
– Niet-kankerverwekkend			147.588	€/CTUh
Verzuring	4	€/SO ₂ -eq.	0,39	€/Mol H ⁺ -eq.
Vermesting:				
– Zout water	9	€/kg PO ₄ -eq.	3,28	€/kg N-eq.
– Zoet water	9	€/kg PO ₄ -eq.	1,96	€/kg P-eq.
– Land	N.v.t.	N.v.t.	0,36	€/Mol N-eq.
Ecotoxiciteit:				
– Aquatisch zoet water	0,03	€/1,4 DB-eq.	0,00013	€/CTUe
– Aquatisch zeewater	0,0001	€/1,4 DB-eq.	N.v.t.	
– Terrestrisch	0,06	€/1,4 DB-eq.	N.v.t.	
Landgebruik	N.v.t.	N.v.t.	0,000178	€/Pt
Waterschaarste	N.v.t.	N.v.t.	0,00506	€/m ³ water, world-eq. deprived
Grondstofuitputting:				
– Metalen en mineralen	0,16	€/kg Sb-eq.	0,30	€/kg Sb-eq.
– Energiedragers	0,16	€/kg Sb-eq.	0,00033	€/MJ

Voor **klimaatverandering** wordt er in deze studie voorgesteld om voorlopig met twee prijspaden te werken: € 70/tCO₂ als een onderwaarde, overeenstemmend met de aanbevelingen van de werkgroep Discontovoet uit 2015 en € 116/tCO₂ als bovenwaarde overeenstemmend met de tweegegrandoelstellingen. We merken hierbij op dat de bovenwaarde waarschijnlijk meer in lijn ligt met de ambitie van het huidige kabinet (terwijl het advies van de Werkgroep Discontovoet uit 2015 vooral de ambitie van het vorige kabinet betrof). Uiteindelijk moeten daarom opdrachtgever en klankbordgroep, indien wordt besloten tot een monetaire weegset, ook een besluit nemen welke CO₂-prijs daarbij zou horen. Volgens ons ligt de bovenwaarde dan voor de hand, omdat het beleidsdoel van -40% reductie, waarop de waarde van € 70/tCO₂ is gebaseerd, verouderd is. Daarnaast moet men zich rekenschap geven van het feit dat de prijzen voor CO₂, totdat het kabinet een nieuw besluit neemt over de CO₂-prijs, elk jaar met 3,5% zouden moeten stijgen. Ook hierom is het aan te bevelen om uit te gaan van de bovenwaarde.

De waarde voor **ozonlaagaantasting** stijgt nauwelijks ten opzichte van de oude MKI-waarde. De effecten op **fijnstofvorming**, **smogvorming**, **vermesting** en **verzuring** konden met eenzelfde mate van precisie als het Handboek Milieuprijzen worden vastgesteld.

De effecten op **humane toxiciteit en ecotoxiciteit** zijn door ons berekend, maar kennen een grotere onzekerheid dan de andere effecten. De waarderings voor **landgebruik en waterschaarste** zijn niet door ons berekend, maar betrokken uit Europese literatuur over monetarisering van effecten. Over het algemeen zijn deze waarderings ook zeer onzeker. De effecten op **grondstofuitputting (metalen/mineralen en fossiele energiedragers)** zijn door ons berekend aan de hand van preventiekosten.

In Bijlage B wordt per weegfactor in veel meer detail ingegaan op de precieze berekening van deze effecten en overwegingen die zijn genomen om tot de nieuwe prijzen te komen.

2.5 Andere weegsets

De monetaire weegset die in deze studie is ontwikkeld, moet ook worden vergeleken met de voorlopige weegset die bij de PEF wordt toegepast. Deze is gebaseerd op (Sala, et al., 2018) en levert per impactcategorie een samengestelde wegingsfactor die is opgebouwd in drie stappen:

1. 'Evidence based' beoordeling van de ernst van de impactcategorie op basis van literatuur, met criteria als:
 - omvang: geografische spreiding;
 - tijdsduur: hoe lang houden effecten aan?
 - (on)omkeerbaarheid van de impact;
 - relatie tot de draagkracht van de planeet;
 - intensiteit: schade aan menselijke gezondheid en ecosystemen.
2. Panelweging: een expert-/stakeholderpanel en een burgerpanel, die beiden een weging toekennen per impactcategorie.
3. Beoordeling van de robuustheid (inschatting van de onzekerheid en onveranderlijkheid) van elke impactcategorie, waarbij meer robuuste categorieën zwaarder meewegen dan minder robuuste.

De PEF-weging is dus een niet-monetaire aanpak.

3 Effectstudie: weegfactoren toegepast op bouwproducten

3.1 Inleiding en leeswijzer

In dit hoofdstuk vergelijken we diverse weegmethoden, door ze toe te passen op LCA-resultaten van bouwproducten. Hiermee bouwen we voort op eerder onderzoek van ‘Heroriëntatie weegfactoren milieueffecten van gebouwen en GWW’ (PRé Consultants, 2020), waarin de PEF-weging werd beschouwd ten opzichte van de huidige Bepalingsmethode.

Allereerst gaan we in Paragraaf 3.2 in op de methodiek: welke bouwproducten hebben we geselecteerd, hoe hebben we de LCIA-scores bepaald en welke varianten hebben we bepaald?

Paragraaf 3.3 toont vervolgens de resultaten van het ‘gemiddeld product’, maar nog geen duiding ervan.

Paragraaf 3.4 bevat duiding van de resultaten op hoofdlijnen, de algemene bevindingen. De duiding en bevindingen zijn gebaseerd op de resultaten van het gemiddeld product, maar ook door naar de resultaten van alle individuele bouwproducten te kijken. Ook noemen we enkele opmerkelijke resultaten voor de individuele bouwproducten.

In Paragraaf 3.5 t/m 3.13 staan de resultaten per bouwproduct. Ze bevatten ook aanvullende bevindingen voor het specifieke bouwproduct. Algemene bevindingen worden niet herhaald in deze paragrafen.

3.2 Aanpak en selectie van bouwproducten

3.2.1 Combinatie van weegsets

De volgende combinaties van analysemethode + weegmethode worden toegepast en vergeleken:

1. De analysemethoden zoals voorgeschreven in EN 15804+A2 (‘EF method 3.0’, november 2019) met de nieuwe monetaire weegfactoren.
2. De analysemethoden zoals voorgeschreven in EN 15804+A2 (‘EF method 3.0’, november 2019) met de PEF-weegset (Sala, et al., 2018).
3. De vigerende analysemethode en monetaire weegset conform de Bepalingsmethode 3 (versie 3.04, dec.2019, single score).

Daarbij zijn de volgende varianten beschouwd:

- Nieuwe monetaire weefactoren (sets 1 en 2): hoge en lage prijs voor klimaatverandering (zie Paragraaf 2.4).
- EN 15804: alle impactindicatoren en alleen meest zekere impactcategorieën met robuustheidsindicatie I en II (zie Paragraaf 2.2).

In dit hoofdstuk tonen we de relatieve resultaten, dus niet de absolute gewogen scores. De relatieve resultaten zijn de bijdrage van de impactcategorieën op de totale gewogen score. Door de resultaten per analyse/weegmethode naast elkaar te zetten, zien we goed de onderlinge verschillen.

3.2.2 Soorten bouwproducten en bronnen van informatie

In overleg met brancheverenigingen hebben we gegevens ontvangen⁶ van bouwproducten of bestaande milieukundige achtergrondinformatie uit de Ecoinvent-database geselecteerd. Ook zijn twee biobrandstoffen meegenomen in de analyse. In Tabel 7 staat welke van de bouwmaterialen werden gebruikt voor de analyse en wat de bron en scope van de informatie is. Omwille van vertrouwelijkheid tonen we geen absolute resultaten en niet of slechts beperkt het soort bouwproduct in deze tabel en in de rest van het hoofdstuk.

Tabel 7 - Bouwproducten

Bouwproducten	Varianten, bron en scope van de dataset(s):
Asfalt	Twee asfaltmengsels, branchegemiddelden, opgesteld door TNO. Scope 'A-D': volledige levenscyclus van grondstofwinning t/m verwijdering en verwerking na einde levensduur.
Baksteen	Twee typen baksteen, branchegemiddelden, opgesteld door SGS Intron. Scope 'A-D': volledige levenscyclus van grondstofwinning tot en met verwijdering en verwerking na einde levensduur.
Beton	Twee typen beton, branchegemiddelden, opgesteld door CE Delft op basis van betonsamenstelling, met gegevens voor cement uit de Ecoinvent-database in plaats van uit de Nationale Milieudatabase (zodat de analysemethode EN 15804 erop toegepast kon worden). Scope 'A1-A3': grondstofwinning tot en met productie van het beton.
Biobrandstoffen	Twee typen: bio-LNG op basis van biogas en HVO (hydrotreated vegetable oil - ofwel op basis van gebruik frituurvet). Opgesteld door TNO op basis van de Ecoinvent-database v.2. Scope 'A & B': productie en gebruik (i.e. verbranding).
Hout	Houtchips en drie typen gezaagd hout, geselecteerd door CE Delft uit de Ecoinvent-database v.3. Scope: 'A1-A3': grondstofwinning tot en met productie van het houten product.
Installaties	Vier typen zonnepanelen, geselecteerd door CE Delft uit de Ecoinvent-database v.3 Scope: 'A1-A3': grondstofwinning tot en met productie van de panelen.
Kunststof	Rioolbuis: LCI opgesteld door VITO met de Ecoinvent-database v.3.3 in 2018. Scope 'A-D': volledige levenscyclus van grondstofwinning tot en met verwijdering en verwerking na einde levensduur. Aangevuld door CE Delft met twee typen geëxtrudeerd kunststof (PET en PP), als zijnde een profiel of buis, uit de Ecoinvent-database v.3. Scope 'A1-A3': grondstofwinning tot en met extrusie.
Metaal	Twee stalen halfproducten: LCI opgesteld door LBP Sight in 2019. Scope 'A1-A3': grondstofwinning tot en met gevormd halfproduct. Een aluminium halfproduct, opgesteld door CE Delft op aanwijzing van PRé Consultants, op basis van aluminium in de Ecoinvent-database v.3.5. en NMD cat.3, Scope 'A1-A3': grondstofwinning tot en met gegoten aluminium halfproduct.
Minerale wol	Product uit minerale wol, opgesteld door The Right Environment. Scope 'A1-A3': grondstofwinning tot en met product.

⁶ Met dank aan PRé Consultants, The Right Environment, Rijkswaterstaat en TNO voor het aanleveren van LCI-datasets die aan hen beschikbaar werden gesteld. De gegevens die beschikbaar zijn gesteld, zijn levenscyclusinformatie (LCI) waarop alle drie de analysemethoden konden worden toegepast.

De scope geeft aan welke levenscyclusfasen zijn inbegrepen in de dataset. De letters A t/m D, genoemd in Tabel 7, zijn aanduidingen voor de levenscyclusfasen conform de Bepalingsmethode (SBK, 2014):

- Module A: productie van het product (A1-A3) en toepassing in het werk (A4-A5);
- Module B: gebruiksfase;
- Module C: sloop, afvalverwerking en recyclingprocessen;
- Module D: milieuwinst gerelateerd aan verbranding (energieterugwinning) en recycling/hergebruik (vermeden primaire grondstoffen).

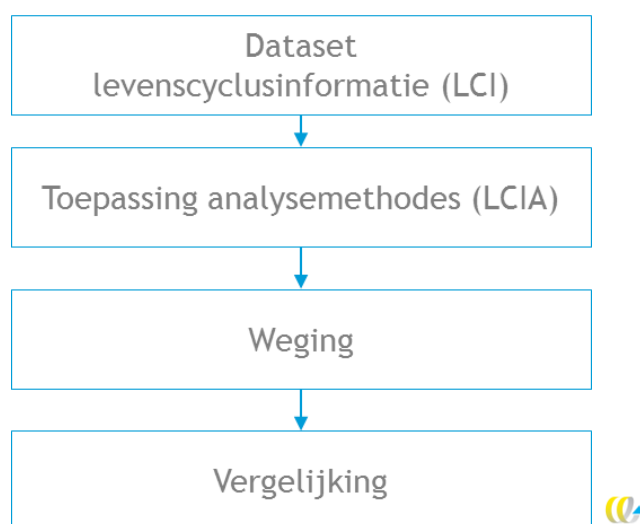
De datasets bevatten zogeheten levenscyclusinformatie (LCI). De LCI verschaft de milieukundige achtergrondinformatie die nodig is om resultaten te berekenen:

- hoeveelheden van alle emissies naar lucht, water en bodem;
- onttrekkingen van primaire grondstoffen en brandstoffen aan de aarde/natuur (metalen, mineralen, olie, biomassa, etc.);
- landgebruik, gespecificeerd naar landtype;
- waterverbruik, gespecificeerd naar land/regio.

De Ecoinvent-database (Wernet, et al., 2016) is wereldwijd de grootste milieukundige database met levenscyclusinformatie (LCI) van ruwe grondstoffen, energiedragers, elektriciteit, transportmiddelen en (gemiddelde Europese en wereldwijde) productieprocessen. In LCA's van bouwproducten wordt gebruikgemaakt van basisgegevens uit de Ecoinvent-database, bijvoorbeeld voor het gebruik van energie voor productie van een bouwproduct. In 2013 ging Ecoinvent van versie 2 naar versie 3. De datasets van biobrandstoffen dateren nog van voor die tijd en zijn opgesteld met gegevens uit Ecoinvent v.2. Dat heeft gevolgen voor de resultaten, vooral voor die van waterschaarste (zie Paragrafen 3.5 en 3.8).

Met de LCI van de bouwproducten als basis, voeren we de effectstudie uit volgens de volgende vier stappen. LCIA staat voor 'levenscyclusimpactanalyse'.

Figuur 4 - Stappen in de uitvoer van de effectstudie



3.2.3 Klimaatverandering in de EN 15804+A2

De norm EN 15804+A2 onderscheidt drie typen broeikasgassen binnen de impactindicator klimaatverandering: van fossiele oorsprong⁷, van biogene oorsprong⁸ en voortkomend uit landgebruik en landgebruiksverandering⁹.

De EN 15804+A2 stelt dat analyses van biotische producten (hout en alle landbouwgewassen) die niet de hele levenscyclus dekken maar een deel ervan, moeten worden bepaald **exclusief** opgenomen biogeen koolstof. Bij analyses waar de totale levensduur van een bouwproduct of bouwwerk wordt beschouwd mag biogeen koolstof wel zijn inbegrepen.

Dus: bij een LCA van een houten product dat alleen de productiefase beschouwt, zoals in dit onderzoek (alleen productie van het product; module A1-A3), mag biogene koolstof niet worden inbegrepen. Als de opgenomen biogene koolstof wel wordt inbegrepen dan heeft het hout een negatieve klimaatimpact. Dat is onhandig bij het beoordelen van de relatieve resultaten, de bijdrage aan een gewogen score.

Voor klimaatverandering is een hoge en een lage weegfactor bepaald, zoals beargumenteed in Paragraaf 2.4. Er worden dus twee varianten gepresenteerd bij monetaire weging: op basis van de hoge en de lage weegfactor.

3.3 Resultaten gemiddeld product - alle impactcategorieën

3.3.1 Definitie ‘gemiddeld product’

Naast de resultaten van alle individuele bouwproducten (zie Paragrafen 3.5 t/m 3.13) is er ook een gemiddelde bepaald op basis van de deelresultaten per bouwproduct.

Tekstbox 4 - Definitie ‘gemiddeld product’

Het ‘gemiddelde product’ is totaal fictief. Als er andersoortige of meer bouwproducten zouden worden inbegrepen in deze studie, dan veranderen de resultaten!

Het gemiddelde product in het rapport ‘Heroriëntatie weegfactoren milieueffecten van gebouwen en GWW-werken’ (PRé Consultants, 2020) is net anders van opbouw, dus de resultaten zijn niet één-op-één vergelijkbaar met de resultaten in dit rapport.

Het gemiddeld product is als volgt bepaald: eerst hebben we per bouwproduct de bijdrage bepaald aan iedere impactindicator. Bijvoorbeeld: klimaatimpact van één van de asfaltvarianten draagt 60% bij aan de totale gewogen score (EN 15804+A2 met monetaire weging). Het verkregen ‘gemiddelde product’ is vervolgens letterlijk het gemiddelde van de bijdrage van alle bouwproducten aan de gewogen scores per analysemethode. Van ieder bouwproduct hebben we twee varianten meegenomen in het gemiddelde (zie Paragraaf 3.2.1). Als er meer dan twee varianten waren, zoals vier typen zonnepanelen

⁷ Fossiele oorsprong: broeikasgasemissies die voortkomen uit de verbranding van fossiele brandstoffen.

⁸ Biogene oorsprong: CO₂ die wordt opgenomen uit de atmosfeer door bomen, planten en gewassen tijdens de groei. En broeikasgasemissies die voortkomen uit de verbranding van biotische producten en biomassa.

⁹ Landgebruik(sverandering): afname of toename van koolstof die is opgeslagen in de bodem en in de vegetatie/gewassen.

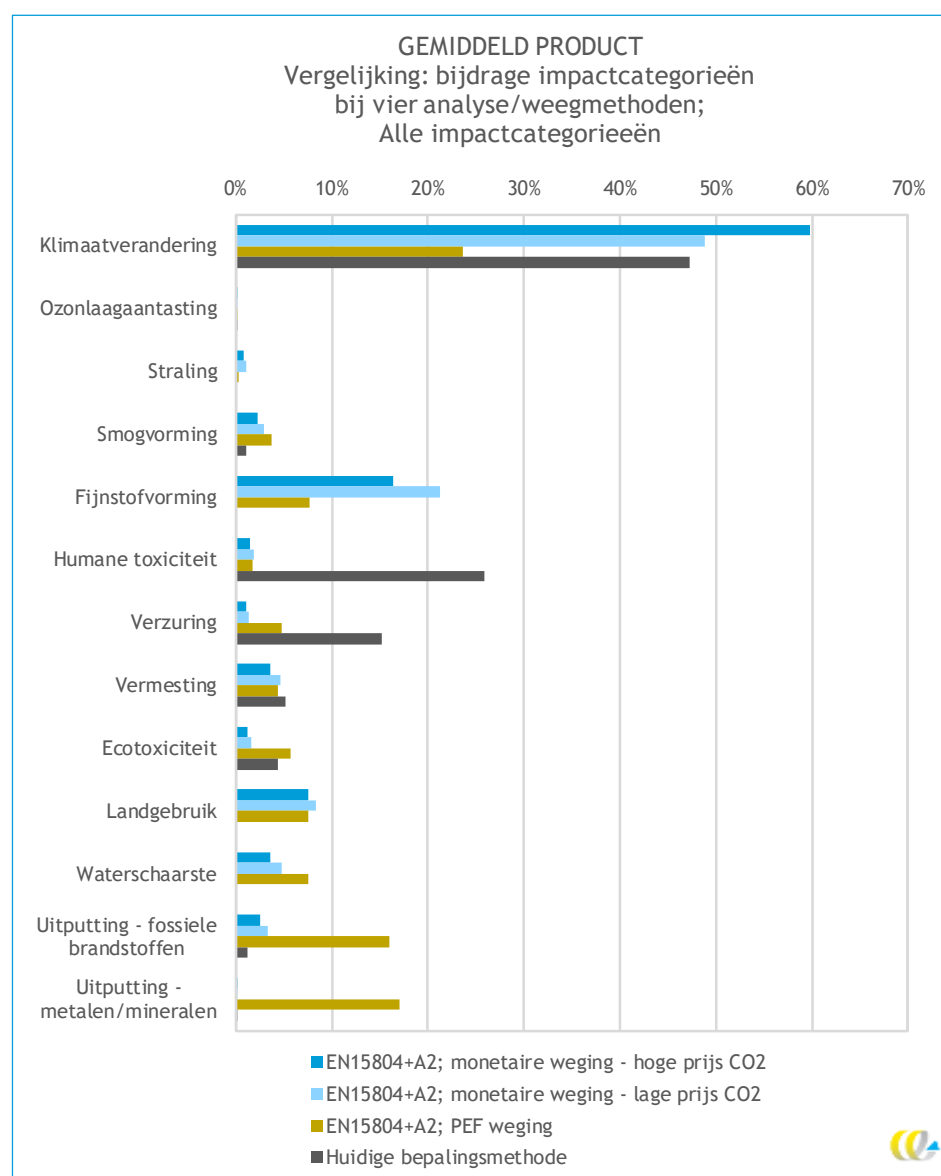
of vier typen hout, hebben we de meest extreme twee varianten uitgekozen. De biobrandstoffen zijn niet inbegrepen in het gemiddelde product, omdat het geen bouwproducten zijn en omdat deze gebaseerd zijn op oude Ecoinvent v.2-gegevens. De Ecoinvent 2-database blijkt niet goed compatibel met de analysemethode EN 15804+A2. De compatibiliteitsproblemen doen zich niet voor bij de Ecoinvent 3-database.

Bespreking van algemene bevindingen op basis van deze resultaten staan in Paragraaf 3.4.

3.3.2 Resultaten op basis van weging van alle impactcategorie

Figuur 5 en Tabel 8 tonen de resultaten van het 'gemiddelde product': de bijdrage van iedere impactcategorie aan de gewogen score, volgens diverse analyse/weegmethoden.

Figuur 5 - Gemiddeld product, bijdrage per impactcategorie, vier analyse/weegmethoden



Tabel 8 - Gemiddeld product, bijdrage per impactcategorie, alle impactcategorieën, vier analyse-/ weegmethoden

Impactcategorie	Analysemethode + weegmethode			
	EN 15804+A2; monetaire weging - hoge prijs CO ₂	EN 15804+A2; monetaire weging - lage prijs CO ₂	EN 15804+A2; PEF-weging	Huidige bepalings- methode
Klimaatverandering	60%	49%	24%	47%
Ozonlaagaantasting	0,0%	0,0%	0,1%	0,0%
Straling	0,8%	1,1%	0,3%	
Smogvorming	2%	3%	4%	1%
Fijnstofvorming	16%	21%	8%	
Humane toxiciteit	1%	2%	2%	26%
Verzuring	1%	1%	5%	15%
Vermesting	4%	5%	4%	5%
Ecotoxiciteit	1%	2%	6%	4%
Landgebruik	8%	8%	7%	
Waterschaarste	4%	5%	8%	
Uitputting - fossiele brandstoffen	3%	3%	16%	1%
Uitputting - metalen/mineralen	0,0%	0,0%	17%	0,0%

3.3.3 Duiding van de resultaten (alle impactcategorieën)

Bij weging volgens de huidige bepalingsmethode zien we de hoogste bijdragen door klimaatverandering, humane toxiciteit en verzuring. Bij toepassing van EN 15804 is er spreiding over meer impactcategorieën en treden er verschuivingen op.

Bij monetaire weging blijft **klimaatverandering** de dominante impactcategorie voor de meeste producten, met uitzondering van hout en biobrandstoffen. De PEF-weging leidt tot iets minder prominente bijdragen door klimaatverandering, maar daar staat een hogere bijdrage tegenover voor uitputting van fossiele energie. Deze twee thema's – klimaatverandering en uitputting van fossiele energie – liggen in elkaars verlengde, omdat ze dezelfde oorzaak hebben, namelijk verbruik van fossiele brandstoffen.¹⁰ De productie van hout, teelt van gewassen en productie van secundaire biobrandstof hebben een relatief lage klimaatverandering ten opzichte van producten van niet-biotische oorsprong. De opname van biogeen is niet inbegrepen, zoals gesteld in Paragraaf 4.1.

Uitputting van fossiele brandstoffen dragen bij monetaire weging enkele procenten bij aan de gewogen score. Bij PEF-weging ontstaan juist relatief hoge bijdrages (10-30% bij de meeste producten). **Uitputting van mineralen/metalen** levert bij de huidige bepalingsmethode 'monetaire weging' geen bijdrage. Maar bij de PEF-weging levert het een zeer hoge, dominante bijdrage bij aluminium en zonnepanelen en – opvallend genoeg – polyester producten.

Bij deze impactcategorieën komt een verschil naar voren tussen monetaire weging en PEF-weging van EN 15804+A2. De oorzaak is een wezenlijk verschil in weegmethodiek.

¹⁰ Daarbij is de CO₂-inhoud in principe natuurlijk een betere maatstaf voor klimaatverandering dan MJ fossiele brandstoffen. Steenkool heeft bijvoorbeeld bijna een factor 2 hogere CO₂-inhoud dan aardgas per MJ. In de methode achter de PEF-weging telt de energie-inhoud van fossiele brandstoffen dus zwaarder mee in het totaal, terwijl bij de monetaire weging op basis van milieuprijzen de CO₂-inhoud van fossiele brandstoffen leidend is.

De PEF-weging hanteert geen beprijzing van schade, maar gaat uit van criteria¹¹ om de ernst van de impactcategorieën te duiden, plus panelweging, plus robuustheidsbeoordeling. Met deze weegmethodiek wordt uitputting van sommige grondstoffen strenger gewaardeerd.

Ozonlaagaantasting draagt nauwelijks bij aan de gewogen score (0-1%), volgens zowel de huidige bepalingmethode als de nieuwe methoden. Mogelijk komen er in de keten van de bouwproducten weinig ozonlaagaantastende stoffen vrij, maar ook de lage beoordeling in de weegmethoden zal een rol spelen.

Ioniserende straling draagt nauwelijks bij aan de gewogen score (0-1%), volgens zowel de huidige bepalingmethode als de nieuwe methoden. Een mogelijke uitzondering vormen producten die in landen geproduceerd zijn waar veel kernenergie wordt gebruikt, zoals Frankrijk. Dit is niet verder onderzocht.

Fijnstofvorming, dat voorheen geen onderdeel was van de analysemethode en gewogen score, leidt bij de meeste producten tot significante bijdrage aan de gewogen score. Dit geldt zowel voor monetaire weging als de PEF-weging. De bijdragen bij PEF-weging zijn iets lager dan bij monetaire weging. Fijnstof komt in de keten van de bouwproducten vooral voort uit verbranden van energiedragers voor elektriciteit, transportbrandstof en voor machines bij productie. Ook fijne deeltjes bij materiaalbewerking kunnen een bron zijn van fijnstofvorming. Analysemethoden voor fijnstofvorming bestaan al vele jaren en ook beprijzing van fijnstof gebeurt al langer. De combinatie analysemethode en weegfactor is ook robuust te noemen (zie ook Bijlageparagraaf B.5).

Humane toxiciteit levert in de huidige bepalingmethode een hoge bijdrage aan de gewogen score. Deze oorsprong voor de hoge scores voor humane toxiciteit werd vaak gevonden in specifieke emissies bij energievoorziening, vooral bij het verbranden van steenkool (ergens in de voorketen, vooral als in de modellering gebruik werd gemaakt van het gewogen wereldgemiddelde voor elektriciteit). Bij toepassing van de analysemethode EN 15804 lijkt dit minder prominent; beide weegmethoden (monetair en PEF) leiden tot significant lagere bijdragen voor humane toxiciteit, in de orde van enkele procenten.

Dit komt ook doordat fijnstof bij de huidige bepalingmethode uitsluitend wordt meegenomen als onderdeel binnen het thema humane toxiciteit. Daardoor werden alle toxische stoffen schadelijker. Door fijnstofvorming (waarbij de schadelijkheid wordt gekwantificeerd in de epidemiologie) te splitsen van humane toxiciteit (waarbij de schadelijkheid wordt gekwantificeerd in de toxicologie) wordt er een meer robuuste, wetenschappelijke methode gehanteerd.

In de huidige bepalingmethode worden drie **ecotoxiciteits**categorieën onderscheiden; in de EN 15804-methode nog maar één (ecotoxiciteit zoet water). Bij monetaire weging leidt dit tot een lagere bijdrage dan voorheen met de drie categorieën tezamen. De PEF-weging beoordeelt ecotoxiciteit strenger en leidt tot een bijdrage van ecotoxiciteit zoet water die vergelijkbaar is aan of hoger dan met de huidige weging. Maar ook bij de PEF-weging blijft de bijdrage in de orde van enkele procenten, met een enkele uitzondering (bijdrage van tegen de 10% voor enkele bouwproducten).

¹¹ Geografische spreiding, tijdsduur, (on)omkeerbaarheid, relatie tot de draagkracht van de aarde en intensiteit van schade aan menselijke gezondheid en ecosystemen.

Verzuring heeft met de huidige bepalingmethode een aanzienlijke bijdrage. Deze bijdrage daalt bij toepassing van de EN 15804+A2-methode, zowel met monetaire weging als met de PEF-weging. Dat komt omdat beide nieuwe weegmethoden verzurende emissies minder streng waarderen dan tot nu toe, per eenheid verzurende stof.

Vermesting ligt voor vrijwel alle producten tussen 3 en 10% bijdrage, alleen bij HVO-biobrandstof zien we hogere bijdragen. Dit geldt voor alle analyse-/weegmethoden. Bij monetaire weging of PEF-weging treedt hooguit een verschuiving van enkele procenten op, soms omhoog, meestal wat omlaag. Het algemene beeld is dat bij vermesting weinig verandert. Het lijkt erop dat de weegmethoden vergelijkbaar zijn of in ieder geval leiden tot dezelfde orde van grootte qua resultaat.

Waterschaarste is één van de nieuwste impactindicatoren in LCA. Pas sinds enkele jaren is methodiek ontwikkeld die waterschaarste kwantificeert. Het ontwikkelen van een milieuprijs of andere weegfactor staat daardoor ook pas aan het begin. Bij de meeste producten is de bijdrage aan waterschaarste beperkt tot enkele procenten, maar we zien opvallend hoge bijdragen bij asfalt (alle weegmethoden), biobrandstoffen en bij de PEF-weging van één van de kunststoftypen.

Bij asfalt zien we bijdragen van ~20-40%, terwijl bij productie niet noemenswaardig veel water wordt gebruikt. Dit trekt het gemiddelde omhoog (gemiddelde product). Biobrandstoffen zijn niet inbegrepen in het gemiddelde product, maar hier levert waterschaarste met de PEF-weging zelfs een bijdrage van 80%.

Er kunnen verschillende oorzaken liggen onder deze hoge scores voor waterschaarste. De mogelijke verklaringen van de bevindingen uit deze paragrafen op het gebied van waterschaarste, zijn:

- Bij asfalt en kunststof liggen er vermoedelijk generieke Ecoinvent-datasets voor (drink)waterverbruik of energieverbruik aan ten grondslag. Wij adviseren LCA-onderzoekers om water- en energieverbruik zoveel mogelijk te specificeren naar het land waar het is opgepompt of opgewekt, om hoge schaarstescores die voortkomen uit waterverbruik in droge landen, te voorkomen.
- Bij biobrandstoffen ligt de oorzaak in de oude gehanteerde Ecoinvent v.2-datasets. Ook als we hout doorrekenen met Ecoinvent v.2-datasets (resultaten niet opgenomen in dit rapport) zien we extreem hoge bijdragen van waterverbruik (96% bij PEF-weging; tot 90% bij monetaire weging). De oorzaak ligt in een mismatch tussen database en analysemethode: ‘waterverbruik’ bij elektriciteitsopwekking met waterkracht wordt meegerekend in de absolute resultaten voor waterschaarste. Dat is niet juist, omdat het water beschikbaar blijft voor andere doeleinden.

Landgebruik is ook een nieuwkomer; ook hier is de onderliggende impactanalysemethode kortgeleden ontwikkeld. Dus ook de weegmethoden (monetair en PEF) staan nog aan het begin van hun ontwikkeling. Conform verwachting speelt landgebruik een rol bij houten producten (op basis van Ecoinvent 3). Bij de biobrandstoffen is het landgebruik laag, omdat de brandstoffen uit secundaire bron zijn: bio-LNG uit vergisting van groenafval, HVO uit gebruikte oliën en vetten.

Landgebruik is een relevante indicator voor biobased producten van primaire oorsprong (hout, landbouwgewassen), omdat de methode iets zegt over de kwaliteit ervan. De LCIA-methode beoordeelt het type landgebruik middels een ‘soil quality index’ op basis van diverse indicatoren, waaronder biodiversiteit en erosiebestendigheid. LCA-uitvoerders kunnen bij het opstellen van een LCA kiezen uit een lange lijst met typen landgebruik en

landgebruiksverandering, die ieder een kwaliteitsscore¹² hebben. Stedelijk gebied heeft de hoogste (= slechtste) score; natuurlijk bos de laagste (= beste). Extensief beheerd bos heeft ook lage scores; intensief beheerd bos iets hogere maar nog steeds relatief laag; landbouw en grasland zit qua score ongeveer tussen natuurlijk bos en stedelijk gebied in.

Daarom is het van belang, indien landgebruik wordt meegenomen bij de weging van de nieuwe bepalingsmethode, dat bij LCA's van alle bouwproducten¹³ de hoeveelheid en het type landgebruik wordt bepaald, zo nauwkeurig mogelijk, en ingevoerd in het LCA-model van het product.

3.4 Resultaten gemiddeld product - alleen de impactcategorieën met robuustheidsindicatie I en II

Bij het opstellen van een weegmethode voor PEF voor Europese Commissie (Sala, et al., 2018) werden LCIA-methoden voor de impactcategorieën beoordeeld op mate van robuustheid. Zie ook Tabel 5 in Paragraaf 2.2.

Er is daarom iets voor te zeggen om de impactcategorieën met de laagste robuustheid (niveau III) niet mee te nemen in de weging. In deze paragraaf tonen we de resultaten zonder de onzekere impactcategorieën.

Wel merken we op dat EN 15804+A2 een andere, nog beperktere subset aan kernindicatoren hanteert. Vreemd genoeg zit daar fijnstof (niveau I) niet bij, maar waterschaarste (niveau III) wel. Om die reden raden we aan om bij weging de PEF-robuustheidsindicatoren leidend te houden, niet de selecte kernindicatoren volgens EN 15804+A2.

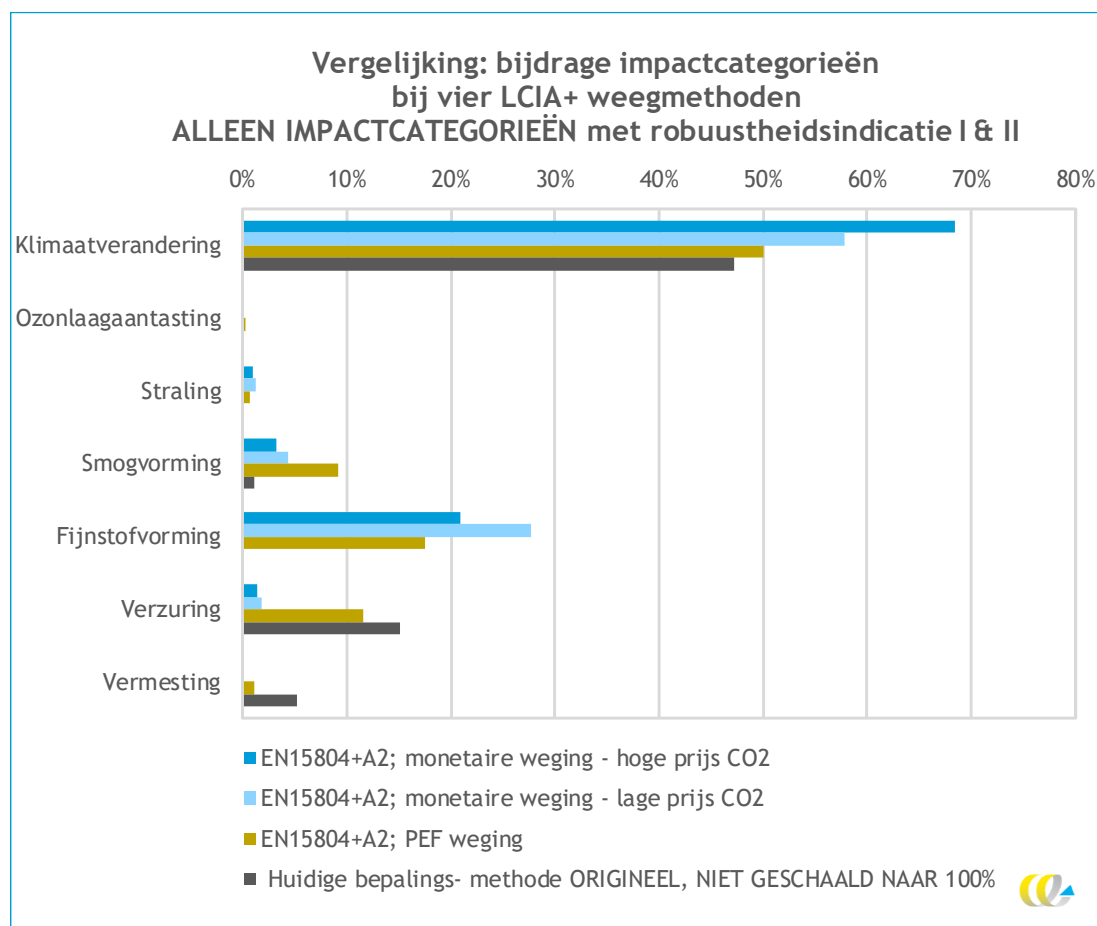
In Figuur 6 en Tabel 9 staan de resultaten voor weging met alleen de impactcategorieën met robuustheidsindicatie I en II.

¹² Een score op de soil quality index per m²a.

¹³ Dus niet alleen van biobased materialen.

3.4.1 Resultaten op basis van weging van alleen de impactcategorieën met robuustheidsindicatie I en II

Figuur 6 - Gemiddeld product, bijdrage per impactcategorie, alleen kernimpactcategorieën EN 15804, vier analyse-/weegmethoden



Tabel 9 - Gemiddeld product, bijdrage per impactcategorie, alleen impactcategorieën met robuustheidsindicatie I en II, vier analyse-/weegmethoden

Impactcategorie	Analysemethode + weegmethode			
	EN 15804+A2; monetaire weging - hoge prijs CO ₂	EN 15804+A2; monetaire weging - lage prijs CO ₂	EN 15804+A2; PEF-weging	Huidige bepalings-methode
Klimaatverandering	68%	57%	50%	47%
Ozonlaagaantasting	0,0%	0,0%	0,2%	0,0%
Straling	1%	1%	1%	N.v.t.
Smogvorming	3%	4%	9%	1%
Fijnstofvorming	22%	29%	18%	N.v.t.
Verzuring	1%	2%	11%	15%
Vermesting	0,1%	0,1%	1%	5%

3.4.2 Duiding van de resultaten (alleen impactcategorieën I en II)

Bij onderstaande duiding kijken we naar de resultaten.

Als alleen impactcategorieën met robuustheidsindicator I en II worden meegewogen, gaat het om zeven (individuele) impactindicatoren, in plaats van dertien. De bijdrage per indicator wordt zo wat prominenter. Vooral de twee impactcategorieën die al significante bijdragen leverden – klimaatimpact en fijnstofvorming – worden dominanter. Voor klimaatimpact volgens de PEF-weging geldt dat de bijdrage meer lijkt op die van de huidige bepalingmethode, omdat uitputting van fossiele brandstoffen niet meer wordt meegewogen.¹⁴

Fijnstofvorming en straling zijn de twee nieuwe impactindicatoren ten opzichte van de huidige Bepalingmethode. Fijnstof levert meteen een significante bijdrage aan gewogen score, bij zowel monetaire weging als PEF-weging. Straling levert nog steeds een zeer lage bijdrage (0-2%).

Bij smogvorming en verzuring en de PEF-weging zien we nu iets prominentere bijdragen (6-18%) dan bij weging van alle impactcategorieën (enkele procenten). Hier tekent zich een verschil af met de monetaire weging. Smogvorming heeft in de huidige bepalingmethode een lage bijdrage (1-2%), dus daar blijft monetaire weging dichterbij in de buurt. Verzuring heeft in de huidige bepalingmethode een wat hogere bijdrage (rond 15%), dus daar zit de PEF-weging nu iets dichterbij.

Met deze selectie verdwijnen de toxiciteitsindicatoren voor gezondheid en ecosystemen die in de huidige Bepalingmethode wel worden meegewogen. Dit laatste maakt een eind aan soms onverklaarbaar hoge resultaten voor (eco)toxiciteit in de MKI-scores van producten en bouwwerken. Dit kan als een voordeel worden uitgelegd.

Ook het niet meenemen van de waterschaarste zien wij als een voordeel ten opzichte van weging van alle impactindicatoren, vanwege de vreemde resultaten die de combinatie analysemethode + weging momenteel oplevert (zie Paragraaf 3.3.3). Waterschaarste is nu vooral in zuidelijk-Europese landen relevante, maatschappelijke problematiek, maar veel minder in Nederland, al kan klimaatverandering daar verandering in brengen. De waardering van waterschaarste vanuit de Europese PEF lijkt vooral ingegeven vanuit die problematiek, die dus veel minder speelt voor Nederland. Ook bij de waardering van waterschaarste wordt er uitgegaan van Europese problematiek (zie Bijlageparagraaf B.12). Mede daarom ligt het voor de hand om waterschaarste niet mee te nemen bij de nieuwe weging.

¹⁴ Uitputting van fossiele brandstoffen had bij de PEF-weging van alle impactcategorieën een significante bijdrage.

3.5 Asfalt

Tabel 10 bevat de resultaten bij weging van alle impactcategorieën.

Tabel 10 - Asfalt, bijdrage per impactcategorie, alle impactcategorieën, vier analyse-/weegmethoden

Impactcategorie	Asfalt type 1				Asfalt type 2			
	Analysemethode + weegmethode				Analysemethode + weegmethode			
	EN 15804+A2; monetaire weging - hoge prijs CO ₂	EN 15804+A2; monetaire weging - lage prijs CO ₂	EN 15804+A2; PEF- weging	Huidige bepalings- methode	EN 15804+A2; monetaire weging - hoge prijs CO ₂	EN 15804+A2; monetaire weging - lage prijs CO ₂	EN 15804+A2; PEF- weging	Huidige bepalings- methode
Klimaatverandering	58%	46%	17%	47%	53%	40%	14%	42%
Ozonlaagaantasting	0,0%	0,0%	0,1%	0,0%	0,0%	0,0%	0,1%	0,0%
Straling	1%	1%	0,3%	N.v.t.	1%	1%	0,2%	N.v.t.
Smogvorming	3%	4%	4%	2%	3%	4%	3%	2%
Fijnstofvorming	9%	12%	3%	N.v.t.	7%	9%	2%	N.v.t.
Humane toxiciteit	1%	1%	1%	22%	1%	1%	1%	22%
Verzuring	1%	1%	4%	16%	1%	1%	4%	16%
Vermesting	3%	4%	3%	5%	3%	4%	3%	4%
Ecotoxiciteit	2%	2%	8%	6%	2%	3%	10%	12%
Landgebruik	1%	1%	1%	N.v.t.	2%	2%	1%	N.v.t.
Waterschaarste	17%	22%	33%	N.v.t.	23%	29%	41%	N.v.t.
Uitputting - fossiele energie	4%	6%	22%	2%	4%	5%	20%	2%
Uitputting - metalen/mineralen	0%	0%	5%	0%	0%	0%	1%	0%

De resultaten voor asfalt zijn grotendeels in lijn met het gemiddelde product, maar er is één uitzondering: waterschaarste. Waterschaarste levert een opvallend resultaat wat moeilijk verklaarbaar is. De LCA's van asfalt zijn uitgevoerd na 2014, dus het kan niet komen door de Ecoinvent 2-database. In de aangeleverde dataset (levenscyclusinventarisatie) kunnen we niet zien *hoeveel* water er wordt verbruikt, maar we zien wel dat dat water uit een veelheid bronnen afkomstig is (meren, rivieren, turbinewater, 'unspecified origin', koelwater) en uit een veelheid aan landen.

De analysemethode voor waterschaarste beoordeelt het verbruik van natuurlijk water uit sommige landen heel streng: 1 m³ waterverbruik in Egypte (bijvoorbeeld) krijgt een schaarstebeoordeling van 98,4 m³-equivalenten. En het wereldwijde gemiddelde voor kraanwater in de Ecoinvent-database 'Tap water {GLO}' komt uit op 41,8 m³-equivalent-water per m³ verbruikt water. Dus als er toevallig ergens in de voorketen gemiddeld kraanwater of waterverbruik uit zo'n land is inbegrepen, dan kan het resultaat voor waterschaarstescore heel hoog uitvallen, ook al wordt er voor productie van het product zelf niet eens water verbruikt.

We hebben zodoende twee vermoedens voor de mogelijke oorzaak:

1. De LCA-onderzoeker van asfalt heeft gebruikgemaakt van een generieke Ecoinvent-dataset 'Tap water {GLO}'.
2. De LCA-onderzoeker van asfalt heeft gebruikgemaakt van een generieke globale Ecoinvent-dataset voor energieverbruik, waarin ergens waterverbruik zit inbegrepen. Misschien elektriciteitsopwekking met waterkracht, bijvoorbeeld.

Verder onderzoek naar de impactbepaling van asfalt valt buiten de scope van het huidige onderzoek. Maar als waterschaarste wordt opgenomen in de weging, dan is ons advies aan de asfaltbranche om te laten uitzoeken (door de LCA-onderzoeker) waar de hoge score voor waterverbruik precies vandaan komt, en dan de modellering te specificeren (naar het daadwerkelijke land), zodat er geen onterechte hoge waterschaarstescore ontstaat.

Tabel 11 geeft de beperkte set van weegfactoren weer, waarbij alleen de impactcategorieën met aanbevelingsniveau I en II zijn meegenomen. In dit geval wordt, overeenkomstig de analyse uit Paragraaf 3.4, klimaatverandering een belangrijker thema.

Tabel 11 - Asfalt, bijdrage per impactcategorie, alleen impactcategorieën met robuustheidsindicatie I en II, vier analyse-/weegmethoden

Impactcategorie	Asfalt type 1				Asfalt type 2			
	Analysemethode + weegmethode				Analysemethode + weegmethode			
	EN 15804+A2; monetaire weging - hoge prijs CO ₂	EN 15804+A2; monetaire weging - lage prijs CO ₂	EN 15804+A2; PEF- weging	Huidige bepalings- methode	EN 15804+A2; monetaire weging - hoge prijs CO ₂	EN 15804+A2; monetaire weging - lage prijs CO ₂	EN 15804+A2; PEF- weging	Huidige bepalings- methode
Klimaatverandering	77%	67%	55%	47%	78%	68%	53%	42%
Ozonlaagaantasting	0%	0%	0%	0,0%	0%	0%	0%	0,0%
Straling	1%	2%	1%	N.v.t.	1%	1%	1%	N.v.t.
Smogvorming	4%	6%	12%	2%	4%	6%	13%	2%
Fijnstofvorming	12%	17%	10%	N.v.t.	11%	15%	9%	N.v.t.
Verzuring	1%	2%	12%	16%	2%	2%	14%	16%
Vermesting	0%	0%	1%	5%	0%	0%	1%	4%

3.6 Baksteen

Tabel 12 bevat de resultaten bij weging van alle impactcategorieën.

Voor baksteen zijn er geen noemenswaardige extra bevindingen boven op de algemene bevindingen in Paragraaf 3.3.

Tabel 12 - Baksteen, bijdrage per impactcategorie, alle impactcategorieën, vier analyse-/weegmethoden

Impactcategorie	Baksteen type 1				Baksteen type 2			
	Analysemethode + weegmethode				Analysemethode + weegmethode			
	EN 15804+A2; monetaire weging - hoge prijs CO ₂	EN 15804+A2; monetaire weging - lage prijs CO ₂	EN 15804+A2; PEF- weging	Huidige bepalings- methode	EN 15804+A2; monetaire weging - hoge prijs CO ₂	EN 15804+A2; monetaire weging - lage prijs CO ₂	EN 15804+A2; PEF- weging	Huidige bepalings- methode
Klimaatverandering	74%	63%	40%	54%	66%	54%	34%	42%
Ozonlaagaantasting	0,0%	0,0%	0,2%	0,0%	0,0%	0,0%	0,3%	0,0%
Straling	1%	1%	0,4%	N.v.t.	1%	1%	1%	N.v.t.
Smogvorming	2%	3%	4%	1%	3%	4%	6%	1%
Fijnstofvorming	16%	22%	11%	N.v.t.	18%	25%	11%	N.v.t.

Impactcategorie	Baksteen type 1				Baksteen type 2			
	Analysemethode + weegmethode				Analysemethode + weegmethode			
	EN 15804+A2; monetaire weging - hoge prijs CO ₂	EN 15804+A2; monetaire weging - lage prijs CO ₂	EN 15804+A2; PEF- weging	Huidige bepalings- methode	EN 15804+A2; monetaire weging - hoge prijs CO ₂	EN 15804+A2; monetaire weging - lage prijs CO ₂	EN 15804+A2; PEF- weging	Huidige bepalings- methode
Humane toxiciteit	1%	1%	1%	23%	2%	2%	2%	30%
Verzuring	1%	1%	5%	10%	1%	1%	6%	11%
Vermesting	3%	4%	5%	4%	5%	6%	7%	4%
Ecotoxiciteit	0%	0%	2%	8%	0%	1%	4%	11%
Landgebruik	0%	1%	1%	0%	1%	1%	1%	0%
Waterschaarste	0%	0%	1%	0%	0%	0%	1%	0%
Uitputting - fossiele energie	3%	4%	28%	1%	3%	4%	24%	1%
Uitputting - metalen/mineralen	0%	0%	2%	0%	0%	0%	3%	0%

Tabel 13 bevat de resultaten bij weging van alleen de impactcategorieën met aanbevelings-niveau I en II.

Tabel 13 - Baksteen, bijdrage per impactcategorie, alleen impactcategorieën met robuustheidsindicatie I en II, vier analyse-/weegmethoden

Impactcategorie	Baksteen type 1				Baksteen type 2			
	Analysemethode + weegmethode				Analysemethode + weegmethode			
	EN 15804+A2; monetaire weging - hoge prijs CO ₂	EN 15804+A2; monetaire weging - lage prijs CO ₂	EN 15804+A2; PEF- weging	Huidige bepalings- methode	EN 15804+A2; monetaire weging - hoge prijs CO ₂	EN 15804+A2; monetaire weging - lage prijs CO ₂	EN 15804+A2; PEF- weging	Huidige bepalings- methode
Klimaatverandering	77%	67%	62%	54%	71%	59%	51%	42%
Ozonlaagaantasting	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Straling	1%	1%	1%	N.v.t.	1%	2%	1%	N.v.t.
Smogvorming	2%	3%	7%	1%	3%	4%	10%	1%
Fijnstofvorming	16%	24%	16%	N.v.t.	19%	27%	17%	N.v.t.
Verzuring	1%	1%	7%	10%	1%	1%	10%	11%
Vermesting	0%	0%	0%	4%	0%	0%	0%	4%

3.7 Beton

Tabel 14 bevat de resultaten bij weging van alle impactcategorieën.

Tabel 15 bevat de resultaten bij weging van alleen de impactcategorieën met aanbevelingsniveau I en II.

Voor beton zijn er geen noemenswaardige extra bevindingen boven op de algemene bevindingen in Paragraaf 3.3.

Tabel 14 - Beton, bijdrage per impactcategorie, alle impactcategorieën, vier analyse-/weegmethoden

Impactcategorie	Betontype 1				Betontype 2			
	Analysemethode + weegmethode				Analysemethode + weegmethode			
	EN 15804+A2; monetaire weging - hoge prijs CO ₂	EN 15804+A2; monetaire weging - lage prijs CO ₂	EN 15804+A2; PEF- weging	Huidige bepalings- methode	EN 15804+A2; monetaire weging - hoge prijs CO ₂	EN 15804+A2; monetaire weging - lage prijs CO ₂	EN 15804+A2; PEF- weging	Huidige bepalings- methode
Klimaatverandering	75%	64%	35%	60%	80%	71%	44%	68%
Ozonlaagaantasting	0,0%	0,0%	0,1%	0,0%	0,0%	0,0%	0,1%	0,0%
Straling	1%	2%	1%	N.v.t.	1%	1%	0%	N.v.t.
Smogvorming	2%	3%	4%	1%	2%	3%	5%	1%
Fijnstofvorming	11%	15%	6%	N.v.t.	8%	11%	5%	N.v.t.
Humane toxiciteit	1%	2%	2%	17%	1%	1%	2%	13%
Verzuring	1%	1%	6%	15%	1%	1%	6%	13%
Vermesting	4%	5%	5%	5%	3%	5%	6%	4%
Ecotoxiciteit	1%	2%	9%	2%	1%	1%	7%	2%
Landgebruik	0%	1%	0%	N.v.t.	0%	0%	0%	N.v.t.
Waterschaarste	3%	4%	8%	N.v.t.	2%	3%	7%	N.v.t.
Uitputting - fossiele energie	2%	2%	13%	1%	1%	2%	11%	1%
Uitputting - metalen/mineralen	0%	0%	11%	0%	0%	0%	8%	0%

Tabel 15 - Beton, bijdrage per impactcategorie, alleen impactcategorieën met robuustheidsindicatie I en II, vier analyse-/weegmethoden

Impactcategorie	Beton type 1				Beton type 2			
	Analysemethode + weegmethode				Analysemethode + weegmethode			
	EN 15804+A2; monetaire weging - hoge prijs CO ₂	EN 15804+A2; monetaire weging - lage prijs CO ₂	EN 15804+A2; PEF- weging	Huidige bepalings- methode	EN 15804+A2; monetaire weging - hoge prijs CO ₂	EN 15804+A2; monetaire weging - lage prijs CO ₂	EN 15804+A2; PEF- weging	Huidige bepalings- methode
Klimaatverandering	80%	71%	61%	60%	85%	77%	67%	68%
Ozonlaagaantasting	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Straling	1%	2%	1%	N.v.t.	1%	1%	1%	N.v.t.
Smogvorming	2%	3%	8%	1%	2%	3%	7%	1%
Fijnstofvorming	11%	17%	11%	N.v.t.	8%	12%	8%	N.v.t.
Verzuring	1%	2%	10%	15%	1%	1%	9%	13%
Vermesting	0%	0%	1%	5%	0%	0%	1%	4%

3.8 Biobrandstoffen

Tabel 16 bevat de resultaten bij weging van alle impactcategorieën.

Waterschaarste leidt tot opvallend hoge bijdragen volgens iedere weegmethode. Dat komt niet door de weegmethode, maar door hele hoge absolute resultaten voor waterschaarste. Als we traceren waar de hoge absolute resultaten vandaan komen, zien we dat het komt door elektriciteitsopwekking met waterkracht. De hoeveelheid water benodigd voor elektriciteitsopwekking wordt onterecht aangezien als waterverbruik in de analysemethode PEF en EN 15804+A2. Dit water wordt meegerekend in de absolute resultaten voor waterschaarste. Dat is niet juist.

Er is dus een mismatch tussen de Ecoinvent 2-database en de analysemethoden PEF en EN 15804+A2 voor waterverbruik. Elektriciteitsverbruik komt in vrijwel alle productieketens voor, waarvan vaak een klein deel op basis van waterkracht. Als we andere (bouw-) producten uit de Ecoinvent 2-database doorrekenen met de analysemethoden PEF en EN 15804+A2 zien we ook daar veel te hoge bijdragen door waterschaarste aan de gewogen score.

Tabel 16 - Biobrandstoffen, bijdrage per impactcategorie, alle impactcategorieën, vier analyse-/weegmethoden

Impactcategorie	Bio-LNG (productie en verbranding)				HVO (productie en verbranding)			
	Analysemethode + weegmethode				Analysemethode + weegmethode			
	EN 15804+A2; monetaire weging - hoge prijs CO ₂	EN 15804+A2; monetaire weging - lage prijs CO ₂	EN 15804+A2; PEF-weging	Huidige bepaling-methode	EN 15804+A2; monetaire weging - hoge prijs CO ₂	EN 15804+A2; monetaire weging - lage prijs CO ₂	EN 15804+A2; PEF-weging	Huidige bepaling-methode
Klimaatverandering	39%	27%	9%	60%	29%	20%	8%	15%
Ozonlaagaantasting	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Straling	0%	0%	0%	N.v.t.	0%	0%	0%	N.v.t.
Smogvorming	1%	1%	1%	1%	7%	8%	8%	1%
Fijnstofvorming	6%	7%	2%	N.v.t.	15%	17%	5%	N.v.t.
Humane toxiciteit	1%	1%	0%	9%	1%	1%	1%	13%
Verzuring	1%	1%	2%	18%	2%	2%	7%	41%
Vermesting	3%	4%	2%	10%	13%	15%	11%	24%
Ecotoxiciteit	0%	0%	1%	1%	0%	0%	1%	6%
Landgebruik	0%	0%	0%	N.v.t.	0%	0%	0%	N.v.t.
Waterschaarste	49%	58%	80%	N.v.t.	31%	35%	56%	N.v.t.
Uitputting - fossiele energie	0%	1%	2%	0%	0%	0%	2%	0%
Uitputting - metalen/mineralen	0%	0%	1%	0%	0%	0%	0%	0%

Tabel 17 bevat de resultaten bij weging van alleen de impactcategorieën met aanbevelings-niveau I en II. Hierbij zijn er geen bijzonderheden en volgen de scores de algemene lijn, zoals in Paragraaf 3.4 beargumenteerd.

Tabel 17 - Biobrandstoffen, bijdrage per impactcategorie, alleen impactcategorieën met robuustheidsindicatie I en II, vier analyse-/weegmethoden

Impactcategorie	Bio-LNG (productie en verbranding)				HVO (productie en verbranding)			
	Analysemethode + weegmethode				Analysemethode + weegmethode			
	EN 15804+A2; monetaire weging - hoge prijs CO ₂	EN 15804+A2; monetaire weging - lage prijs CO ₂	EN 15804+A2; PEF- weging	Huidige bepalings- methode	EN 15804+A2; monetaire weging - hoge prijs CO ₂	EN 15804+A2; monetaire weging - lage prijs CO ₂	EN 15804+A2; PEF- weging	Huidige bepalings- methode
Klimaatverandering	77%	67%	57%	60%	44%	32%	21%	15%
Ozonlaagaantasting	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Straling	1%	1%	1%	N.v.t.	0%	0%	0%	N.v.t.
Smogvorming	2%	3%	6%	1%	11%	13%	21%	1%
Fijnstofvorming	13%	18%	11%	N.v.t.	23%	27%	13%	N.v.t.
Verzuring	1%	2%	13%	18%	3%	3%	17%	41%
Vermesting	0%	0%	1%	10%	0%	0%	0%	24%

3.9 Hout

Tabel 18 bevat de resultaten bij weging van alle impactcategorieën.

Hout is het enige biobased bouwproduct dat is opgenomen in deze studie.¹⁵ Biobased materialen zijn hernieuwbaar en komen op een wezenlijk andere manier tot stand dan minerale en fossiele grondstoffen. Daarom zien we bij hout een andere verdeling naar impactcategorieën.

Tabel 18 - Hout, bijdrage per impactcategorie, alle impactcategorieën, vier analyse-/weegmethoden

Impactcategorie	Houtchips				Gezaagd hout type 1			
	Analysemethode + weegmethode				Analysemethode + weegmethode			
	EN 15804+A2; monetaire weging - hoge prijs CO ₂	EN 15804+A2; monetaire weging - lage prijs CO ₂	EN 15804+A2; PEF- weging	Huidige bepalings- methode	EN 15804+A2; monetaire weging - hoge prijs CO ₂	EN 15804+A2; monetaire weging - lage prijs CO ₂	EN 15804+A2; PEF- weging	Huidige bepalings- methode
Klimaatverandering	22%	14%	10%	34%	24%	16%	9%	37%
Ozonlaagaantasting	0,0%	0,0%	0,1%	0,0%	0,0%	0,0%	0,1%	0,0%
Straling	1%	1%	0%	N.v.t.	1%	1%	0%	N.v.t.
Smogvorming	2%	2%	4%	3%	2%	2%	3%	1%
Fijnstofvorming	53%	59%	30%	N.v.t.	23%	26%	11%	N.v.t.
Humane toxiciteit	3%	3%	5%	34%	1%	1%	1%	33%
Verzuring	1%	1%	4%	17%	1%	1%	3%	17%
Vermesting	3%	3%	4%	9%	3%	3%	3%	8%
Ecotoxiciteit	1%	1%	8%	4%	1%	1%	4%	3%

¹⁵ Biobrandstoffen zijn biobased, maar zijn geen bouwproducten. Ook zijn de resultaten van biobrandstoffen niet goed vergelijkbaar, omdat zij afkomstig zijn van een oudere studie, nog gebaseerd op de Ecoinvent 2- in plaats van de Ecoinvent 3-database.

Impactcategorie	Houtchips				Gezaagd hout type 1			
	Analysemethode + weegmethode				Analysemethode + weegmethode			
	EN 15804+A2; monetaire weging - hoge prijs CO ₂	EN 15804+A2; monetaire weging - lage prijs CO ₂	EN 15804+A2; PEF- weging	Huidige bepalings- methode	EN 15804+A2; monetaire weging - hoge prijs CO ₂	EN 15804+A2; monetaire weging - lage prijs CO ₂	EN 15804+A2; PEF- weging	Huidige bepalings- methode
Landgebruik	13%	14%	14%	N.v.t.	44%	49%	41%	N.v.t.
Waterschaarste	1%	1%	3%	nvt	0%	0%	0%	nvt
Uitputting - fossiele energie	1%	1%	9%	1%	1%	1%	6%	1%
Uitputting - metalen/mineralen	0%	0%	9%	0%	0%	0%	18%	0%

Impactcategorie	Gezaagd hout type 2				Gezaagd hout type 3			
	Analysemethode + weegmethode				Analysemethode + weegmethode			
	EN 15804+A2; monetaire weging - hoge prijs CO ₂	EN 15804+A2; monetaire weging - lage prijs CO ₂	EN 15804+A2; PEF- weging	Huidige bepalings- methode	EN 15804+A2; monetaire weging - hoge prijs CO ₂	EN 15804+A2; monetaire weging - lage prijs CO ₂	EN 15804+A2; PEF- weging	Huidige bepalings- methode
Klimaatverandering	27%	19%	11%	36%	14%	9%	9%	46%
Ozonlaagaantasting	0,0%	0,0%	0,1%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Straling	1%	1%	0%	N.v.t.	1%	1%	0%	N.v.t.
Smogvorming	3%	3%	4%	3%	1%	2%	3%	2%
Fijnstofvorming	28%	31%	13%	N.v.t.	20%	21%	11%	N.v.t.
Humane toxiciteit	1%	1%	1%	34%	0%	0%	0%	26%
Verzuring	1%	1%	3%	15%	0%	0%	2%	16%
Vermesting	3%	4%	4%	8%	2%	2%	3%	7%
Ecotoxiciteit	1%	1%	4%	3%	0%	0%	1%	2%
Landgebruik	35%	39%	33%	N.v.t.	60%	63%	62%	N.v.t.
Waterschaarste	0%	0%	0%	N.v.t.	0%	0%	0%	N.v.t.
Uitputting - fossiele energie	1%	1%	7%	1%	1%	1%	5%	1%
Uitputting - metalen/mineralen	0%	0%	18%	0%	0%	0%	4%	0%

Klimaatverandering speelt bij hout een wat kleinere rol, vermoedelijk vanwege minder ingrijpende productieprocessen (zagen) dan bij omvorming van niet-biobased bouwproducten, waarbij per saldo veel energie benodigd is.

Fijnstofvorming en landgebruik leveren de hoogste bijdragen bij gezaagd hout. Fijnstof blijkt voort te komen uit het zagen van het hout (Ecoinvent-database). Wij adviseren de houtbranche om bij het (laten) opstellen van nieuwe LCA's voor houtproducten de daadwerkelijke uitstoot van fijnstof te meten en goed in kaart te brengen.

Zoals genoemd in Paragraaf 3.3.3 zit in de categorie ‘Landgebruik’ een beoordeling inbegrepen van de kwaliteit ervan. De LCIA-methode beoordeelt het type landgebruik middels een ‘soil quality index’ op basis van diverse indicatoren, waaronder biodiversiteit en erosiebestendigheid. Het hout uit een extensief beheerd bos heeft een relatief lage score per m² (=goed), maar niet zo gunstig als natuurlijk bos. Maar aangezien het gaat om nogal wat land per hoeveelheid hout (ten opzichte van abiotische grondstoffen), leidt dit tot de relatief hoge bijdragen.

Tabel 19 bevat de resultaten bij weging van alleen de impactcategorieën met aanbevelingsniveau I en II. Ook in dit geval springt fijnstofvorming eruit in relatieve bijdrage aan de totaalscore.

Tabel 19 - Hout, bijdrage per impactcategorie, alleen impactcategorieën met robuustheidsindicatie I en II, vier analyse-/weegmethoden

Impactcategorie	Houtchips				Gezaagd hout type 1			
	Analysemethode + weegmethode				Analysemethode + weegmethode			
	EN 15804+A2; monetaire weging - hoge prijs CO ₂	EN 15804+A2; monetaire weging - lage prijs CO ₂	EN 15804+A2; PEF- weging	Huidige bepalings- methode	EN 15804+A2; monetaire weging - hoge prijs CO ₂	EN 15804+A2; monetaire weging - lage prijs CO ₂	EN 15804+A2; PEF- weging	Huidige bepalings- methode
Klimaatverandering	27%	18%	20%	34%	45%	33%	31%	37%
Ozonlaagaantasting	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Straling	1%	1%	1%	N.v.t.	1%	1%	1%	N.v.t.
Smogvorming	2%	3%	7%	3%	4%	4%	10%	1%
Fijnstofvorming	66%	74%	58%	N.v.t.	44%	53%	36%	N.v.t.
Verzuring	1%	1%	7%	17%	1%	1%	10%	17%
Vermesting	0%	0%	1%	9%	0%	0%	1%	8%

Impactcategorie	Gezaagd hout type 2				Gezaagd hout type 3			
	Analysemethode + weegmethode				Analysemethode + weegmethode			
	EN 15804+A2; monetaire weging - hoge prijs CO ₂	EN 15804+A2; monetaire weging - lage prijs CO ₂	EN 15804+A2; PEF- weging	Huidige bepalings- methode	EN 15804+A2; monetaire weging - hoge prijs CO ₂	EN 15804+A2; monetaire weging - lage prijs CO ₂	EN 15804+A2; PEF- weging	Huidige bepalings- methode
Klimaatverandering	44%	32%	30%	36%	37%	26%	33%	46%
Ozonlaagaantasting	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Straling	1%	1%	1%	N.v.t.	1%	2%	1%	N.v.t.
Smogvorming	4%	5%	12%	3%	4%	4%	10%	2%
Fijnstofvorming	44%	54%	36%	N.v.t.	52%	61%	38%	N.v.t.
Verzuring	1%	1%	9%	15%	1%	1%	8%	16%
Vermesting	0%	0%	2%	8%	0%	0%	1%	7%

3.10 Installaties: zonnepanelen

Tabel 20 bevat de resultaten bij weging van alle impactcategorieën. Bij zonnepanelen zien we duidelijk het verschil tussen de monetaire weging en de PEF-weging. PEF-weging beoordeelt uitputting van metalen en mineralen sterk. De achterliggende reden blijkt zinkgebruik in aluminiumlegeringen: zink krijgt een hoge schaarstescore volgens de PEF-analysemethode (en dus EN 15804+A2 analysemethode).

Voor de monetaire weegmethoden op basis van milieuprijzen leidt fijnstofvorming tot relatief hoge bijdragen. Als we in de achtergronden duiken dan blijkt de aluminium-productie (voor de behuizing) een oorzaak voor fijnstofvorming te zijn.

Tabel 20 - Zonnepanelen, bijdrage per impactcategorie, alle impactcategorieën, vier analyse-/weegmethoden

Impactcategorie	Zonnepaneel type 1				Zonnepaneel type 2			
	Analysemethode + weegmethode				Analysemethode + weegmethode			
	EN 15804+A2; monetaire weging - hoge prijs CO ₂	EN 15804+A2; monetaire weging - lage prijs CO ₂	EN 15804+A2; PEF- weging	Huidige bepalings- methode	EN 15804+A2; monetaire weging - hoge prijs CO ₂	EN 15804+A2; monetaire weging - lage prijs CO ₂	EN 15804+A2; PEF- weging	Huidige bepalings- methode
Klimaatverandering	62%	49%	8%	33%	67%	55%	7%	44%
Ozonlaagaantasting	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Straling	1%	1%	0%	N.v.t.	1%	2%	0%	N.v.t.
Smogvorming	2%	3%	1%	1%	2%	3%	1%	1%
Fijnstofvorming	23%	30%	4%	N.v.t.	17%	23%	2%	N.v.t.
Humane toxiciteit	3%	4%	1%	45%	2%	2%	0%	29%
Verzuring	1%	2%	2%	13%	1%	2%	2%	17%
Vermesting	3%	4%	1%	3%	4%	5%	1%	5%
Ecotoxiciteit	2%	3%	4%	3%	2%	3%	4%	4%
Landgebruik	0%	0%	0%	N.v.t.	0%	0%	0%	N.v.t.
Waterschaarste	1%	1%	1%	N.v.t.	1%	1%	0%	N.v.t.
Uitputting - fossiele energie	2%	3%	5%	1%	2%	3%	4%	1%
Uitputting - metalen/mineralen	0%	0%	72%	0%	0%	0%	78%	0%

Impactcategorie	Zonnepaneel type 3				Zonnepaneel type 4			
	Analysemethode + weegmethode				Analysemethode + weegmethode			
	EN 15804+A2; monetaire weging - hoge prijs CO ₂	EN 15804+A2; monetaire weging - lage prijs CO ₂	EN 15804+A2; PEF- weging	Huidige bepalings- methode	EN 15804+A2; monetaire weging - hoge prijs CO ₂	EN 15804+A2; monetaire weging - lage prijs CO ₂	EN 15804+A2; PEF- weging	Huidige bepalings- methode
Klimaatverandering	63%	50%	10%	39%	65%	53%	12%	41%
Ozonlaagaantasting	0,0%	0,0%	0,1%	0,0%	0,0%	0,0%	0,1%	0,0%
Straling	1%	1%	0%	N.v.t.	1%	2%	0%	N.v.t.
Smogvorming	3%	3%	2%	1%	2%	3%	2%	1%
Fijnstofvorming	18%	23%	4%	N.v.t.	17%	22%	4%	N.v.t.
Humane toxiciteit	3%	4%	2%	34%	3%	4%	2%	32%

Verzuring	1%	2%	3%	15%	1%	2%	3%	15%
Vermesting	3%	5%	2%	5%	3%	5%	2%	5%
Ecotoxiciteit	2%	3%	6%	5%	2%	3%	6%	4%
Landgebruik	0%	0%	0%	N.v.t.	0%	0%	0%	N.v.t.
Waterschaarste	3%	4%	3%	N.v.t.	2%	3%	3%	N.v.t.
Uitputting - fossiele energie	2%	3%	7%	1%	2%	3%	8%	1%
Uitputting - metalen/mineralen	0%	0%	62%	0%	0%	0%	58%	0%

Tabel 21 bevat de resultaten bij weging van alleen de impactcategorieën met aanbevelings-niveau I en II.

Tabel 21 - Zonnepanelen, bijdrage per impactcategorie, alleen impactcategorieën met robuustheidsindicatie I en II, vier analyse-/weegmethoden

Impactcategorie	Zonnepaneel type 1				Zonnepaneel type 2			
	Analysemethode + weegmethode				Analysemethode + weegmethode			
	EN 15804+A2; monetaire weging - hoge prijs CO ₂	EN 15804+A2; monetaire weging - lage prijs CO ₂	EN 15804+A2; PEF- weging	Huidige bepalings- methode	EN 15804+A2; monetaire weging - hoge prijs CO ₂	EN 15804+A2; monetaire weging - lage prijs CO ₂	EN 15804+A2; PEF- weging	Huidige bepalings- methode
Klimaatverandering	67%	55%	49%	33%	73%	61%	52%	44%
Ozonlaagaantasting	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Straling	1%	1%	1%	N.v.t.	1%	2%	1%	N.v.t.
Smogvorming	2%	3%	7%	1%	2%	3%	7%	1%
Fijnstofvorming	25%	34%	22%	N.v.t.	18%	26%	16%	N.v.t.
Verzuring	1%	2%	12%	13%	1%	2%	13%	17%
Vermesting	0%	0%	2%	3%	0%	0%	3%	5%

Impactcategorie	Zonnepaneel type 3				Zonnepaneel type 4			
	Analysemethode + weegmethode				Analysemethode + weegmethode			
	EN 15804+A2; monetaire weging - hoge prijs CO ₂	EN 15804+A2; monetaire weging - lage prijs CO ₂	EN 15804+A2; PEF- weging	Huidige bepalings- methode	EN 15804+A2; monetaire weging - hoge prijs CO ₂	EN 15804+A2; monetaire weging - lage prijs CO ₂	EN 15804+A2; PEF- weging	Huidige bepalings- methode
Klimaatverandering	71%	59%	50%	39%	72%	61%	52%	41%
Ozonlaagaantasting	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Straling	1%	2%	1%	N.v.t.	1%	2%	1%	N.v.t.
Smogvorming	3%	4%	9%	1%	3%	4%	8%	1%
Fijnstofvorming	20%	28%	17%	N.v.t.	18%	26%	16%	N.v.t.
Verzuring	1%	2%	12%	15%	1%	2%	12%	15%
Vermesting	0%	0%	2%	5%	0%	0%	2%	5%



3.11 Kunststof

Tabel 22 bevat de resultaten bij weging van alle impactcategorieën.

Tabel 22 - Kunststof, bijdrage per impactcategorie, alle impactcategorieën, vier analyse-/weegmethoden

Impactcategorie	Kunststofproduct 1				Kunststofproduct 2				Kunststofproduct 3			
	Analysemethode + weegmethode				Analysemethode + weegmethode				Analysemethode + weegmethode			
	EN 15804+A2; monetaire weging - hoge prijs CO ₂	EN 15804+A2; monetaire weging - lage prijs CO ₂	EN 15804+A2; PEF- weging	Huidige bepalings- methode	EN 15804+A2; monetaire weging - hoge prijs CO ₂	EN 15804+A2; monetaire weging - lage prijs CO ₂	EN 15804+A2; PEF- weging	Huidige bepalings- methode	EN 15804+A2; monetaire weging - hoge prijs CO ₂	EN 15804+A2; monetaire weging - lage prijs CO ₂	EN 15804+A2; PEF- weging	Huidige bepalings- methode
Klimaatverandering	55%	43%	24%	49%	71%	60%	12%	44%	71%	60%	26%	54%
Ozonlaagaantasting	0,0%	0,0%	0,3%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Straling	2%	2%	1%	N.v.t.	1%	1%	0%	N.v.t.	1%	1%	0%	N.v.t.
Smogvorming	3%	4%	6%	1%	2%	3%	2%	1%	2%	3%	4%	2%
Fijnstofvorming	24%	31%	13%	N.v.t.	13%	18%	3%	N.v.t.	12%	17%	5%	N.v.t.
Humane toxiciteit	1%	1%	1%	19%	1%	2%	1%	32%	1%	1%	1%	21%
Verzuring	1%	1%	5%	16%	1%	1%	2%	13%	1%	1%	5%	16%
Vermesting	5%	6%	6%	8%	3%	4%	2%	3%	3%	4%	3%	4%
Ecotoxiciteit	1%	1%	4%	5%	1%	2%	3%	4%	1%	1%	5%	2%
Landgebruik	1%	1%	1%	N.v.t.	0%	1%	0%	N.v.t.	0%	1%	0%	N.v.t.
Waterschaarste	4%	5%	12%	N.v.t.	2%	2%	2%	N.v.t.	1%	2%	3%	N.v.t.
Uitputting - fossiele energie	3%	4%	26%	2%	4%	6%	13%	2%	6%	8%	36%	3%
Uitputting - metalen/mineralen	0%	0%	1%	0%	0%	0%	62%	0%	0%	0%	11%	0%

De resultaten wijken niet noemenswaardig af van de algemene bevindingen, met één uitzondering: een bijdrage van 12% bij waterschaarste, product 1, PEF-weging. De oorzaak is voor ons niet goed te achterhalen uit de aangeleverde dataset; we kunnen niet nagaan *hoeveel* water er wordt verbruikt. Wel zien we dat dat water uit een veelheid bronnen afkomstig is (meren, rivieren, turbinewater, ‘unspecified origin’, koelwater) en uit een veelheid aan landen. Hier geldt dezelfde aanbeveling als bij asfalt: als waterschaarste wordt opgenomen in de weging, dan is ons advies aan de kunststofbranche is om te laten uitzoeken (door de LCA-onderzoeker) waar de hoge score voor waterverbruik precies vandaan komt, en dan de modellering te specificeren (naar het daadwerkelijke land) zodat er geen onterechte hoge waterschaarste-score ontstaat.

Tabel 23 bevat de resultaten bij weging van alleen de impactcategorieën met aanbevelingsniveau I en II. In dit geval zijn de bijdragen per impactcategorie min of meer gelijk verdeeld conform het ‘gemiddelde beeld’, zoals in Paragraaf 3.4 gegeven.

Tabel 23 - Kunststof, bijdrage per impactcategorie, alleen impactcategorieën met robuustheidsindicatie I en II, vier analyse-/weegmethoden

Impactcategorie	Kunststofproduct 1				Kunststofproduct 2				Kunststofproduct 3			
	Analysemethode + weegmethode				Analysemethode + weegmethode				Analysemethode + weegmethode			
	EN 15804+A2; monetaire weging - hoge prijs CO ₂	EN 15804+A2; monetaire weging - lage prijs CO ₂	EN 15804+A2; PEF- weging	Huidige bepalings- methode	EN 15804+A2; monetaire weging - hoge prijs CO ₂	EN 15804+A2; monetaire weging - lage prijs CO ₂	EN 15804+A2; PEF- weging	Huidige bepalings- methode	EN 15804+A2; monetaire weging - hoge prijs CO ₂	EN 15804+A2; monetaire weging - lage prijs CO ₂	EN 15804+A2; PEF- weging	Huidige bepalings- methode
Klimaatverandering	61%	49%	43%	49%	78%	68%	59%	44%	79%	69%	60%	54%
Ozonlaagaantasting	0%	0%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Straling	2%	3%	1%	N.v.t.	1%	1%	1%	N.v.t.	1%	1%	1%	N.v.t.
Smogvorming	4%	5%	11%	1%	3%	4%	8%	1%	3%	4%	9%	2%
Fijnstofvorming	27%	35%	23%	N.v.t.	14%	20%	13%	N.v.t.	13%	20%	12%	N.v.t.
Verzuring	1%	1%	10%	16%	1%	2%	11%	13%	1%	2%	11%	16%
Vermesting	0%	0%	1%	8%	0%	0%	1%	3%	0%	0%	1%	4%

3.12 Metalen

Tabel 24 bevat de resultaten bij weging van alle impactcategorieën.

Tabel 24 - Metalen, bijdrage per impactcategorie, vier analyse/weegmethoden

Impactcategorie	Staal, halfproduct 1				Staal, halfproduct 2				Aluminium halfproduct			
	Analysemethode + weegmethode				Analysemethode + weegmethode				Analysemethode + weegmethode			
	EN 15804+A2; monetaire weging - hoge prijs CO ₂	EN 15804+A2; monetaire weging - lage prijs CO ₂	EN 15804+A2; PEF- weging	Huidige bepalings- methode	EN 15804+A2; monetaire weging - hoge prijs CO ₂	EN 15804+A2; monetaire weging - lage prijs CO ₂	EN 15804+A2; PEF- weging	Huidige bepalings- methode	EN 15804+A2; monetaire weging - hoge prijs CO ₂	EN 15804+A2; monetaire weging - lage prijs CO ₂	EN 15804+A2; PEF- weging	Huidige bepalings- methode
Klimaatverandering	77%	66%	40%	59%	62%	50%	30%	44%	64%	51%	18%	30%
Ozonlaagaantasting	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,1%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Straling	0%	1%	0%	N.v.t.	1%	1%	1%	N.v.t.	0%	1%	0%	N.v.t.
Smogvorming	2%	2%	4%	1%	2%	2%	4%	1%	2%	3%	3%	1%
Fijnstofvorming	11%	15%	7%	N.v.t.	14%	18%	8%	N.v.t.	21%	29%	7%	N.v.t.
Humane toxiciteit	3%	4%	6%	22%	14%	19%	21%	32%	3%	4%	3%	49%
Verzuring	1%	1%	6%	11%	1%	1%	6%	12%	1%	2%	5%	13%
Vermesting	3%	4%	5%	4%	3%	4%	6%	5%	3%	4%	3%	3%
Ecotoxiciteit	1%	2%	10%	2%	1%	1%	5%	4%	2%	3%	9%	3%
Landgebruik	0,2%	0,3%	0,3%	N.v.t.	0,3%	0,4%	0,4%	N.v.t.	0,2%	0,3%	0,1%	N.v.t.
Waterschaarste	1%	2%	4%	N.v.t.	0%	0%	-1%	N.v.t.	1%	1%	1%	N.v.t.
Uitputting - fossiele energie	2%	3%	17%	1%	2%	3%	19%	1%	2%	2%	8%	1%
Uitputting - metalen/mineralen	0%	0%	0%	0%	0%	0%	2%	0%	0%	0%	43%	0%

Anders dan bij andere bouwproducten zien we wat hogere bijdragen voor ecotoxiciteit en humane toxiciteit, bij de nieuwe weegmethoden. Ook fijnstofvorming is wat dominanter dan bij de meeste andere bouwproducten. De achterliggende oorzaken bij staal kunnen we niet nader onderzoeken (vanwege de aard van de ontvangen LCI-dataset). Een vermoedelijke oorzaak is het gebruik van steenkool bij staalproductie.

Fijnstofvorming bij aluminium kunnen we traceren naar de aluminiumproductieprocessen, maar de daadwerkelijke oorzaak toont de Ecoinvent-database niet. Vermoedelijk spelen ook hier de energiedragers een rol.

Bij de PEF-weging van aluminium (de op één na rechterkolom) zien we echter een veruit dominante score voor uitputting van metalen/mineralen. Het overschaduwde de resultaten voor klimaatverandering, fijnstof en de toxiciteitsindicatoren. Staal kent daarentegen wel een lage beoordeling voor uitputting, ook bij PEF-weging. De hoge score voor aluminium blijkt te komen door zink, net als bij zonnepanelen. Zinkuitputting wordt in de PEF-analyse kennelijk hoog beoordeeld. En in combinatie met de PEF-weging leidt dat tot een dominante bijdrage aan de gewogen score.

We zouden verwachten dat landgebruik wat grotere bijdragen zouden hebben dan minder dan 1%. De ertsen komen immers uit mijnbouw voort.

Een ander opvallend resultaat is de negatieve bijdrage bij staalproduct #2 aan waterschaarste. Vreemd genoeg is er geen negatieve bijdrage aan waterverbruik te zien in de LCI die door de staalbranche is aangeleverd. De oorzaak lijkt te liggen in enkele karakteristieke typen waterverbruik die in de PEF-analysemethode (en dus de EN 15804-analysemethode) een negatieve schaarstewaarde toebedeeld krijgen (zie Figuur 7). Dit is heel vreemd en voor ons een reden om te adviseren om waterschaarste niet mee te nemen in de gewogen score.

Figuur 7 - Screenshot uit de analysemethode PEF/EN 15804+A2 voor waterschaarste: water in sommige landen krijgt een negatieve schaarstescore

Water, CL	007732-18-5	-80,1	m3 depriv. / m3
Water, RW	007732-18-5	-80,7	m3 depriv. / m3
Water, SN	007732-18-5	-81,8	m3 depriv. / m3
Water, IL	007732-18-5	-82	m3 depriv. / m3
Water, PS	007732-18-5	-82,2	m3 depriv. / m3
Water, UG	007732-18-5	-83,3	m3 depriv. / m3
Water, LB	007732-18-5	-85,1	m3 depriv. / m3
Water, AM	007732-18-5	-85,4	m3 depriv. / m3
Water, AZ	007732-18-5	-85,9	m3 depriv. / m3
Water, MA	007732-18-5	-86,4	m3 depriv. / m3
Water, MR	007732-18-5	-91,3	m3 depriv. / m3
Water, EG	007732-18-5	-98,4	m3 depriv. / m3
Water, AW	007732-18-5	-100	m3 depriv. / m3
Water, groundwater consumption	007732-18-5	0,042955	m3 depriv. / kg
Water, unspecified natural origin/kg	007732-18-5	0,04295	m3 depriv. / kg
Water, thermoelectric surface water consumption	007732-18-5	0,04295	m3 depriv. / kg
Water, thermoelectric groundwater consumption	007732-18-5	0,04295	m3 depriv. / kg

Tabel 25 bevat de resultaten bij weging van alleen de impactcategorieën met aanbevelingsniveau I en II. In dit geval wordt klimaatverandering een dominant thema, met name bij de weging met een hoge CO₂-prijs.

Tabel 25 - Metalen, bijdrage per impactcategorie, alleen impactcategorieën met robuustheidsindicatie I en II, vier analyse-/weegmethoden

Impactcategorie	Staal, halfproduct 1				Staal, halfproduct 2				Aluminium halfproduct			
	Analysemethode + weegmethode				Analysemethode + weegmethode				Analysemethode + weegmethode			
	EN 15804+A2; monetaire weging - hoge prijs CO ₂	EN 15804+A2; monetaire weging - lage prijs CO ₂	EN 15804+A2; PEF-weging	Huidige bepalings- methode	EN 15804+A2; monetaire weging - hoge prijs CO ₂	EN 15804+A2; monetaire weging - lage prijs CO ₂	EN 15804+A2; PEF-weging	Huidige bepalings- methode	EN 15804+A2; monetaire weging - hoge prijs CO ₂	EN 15804+A2; monetaire weging - lage prijs CO ₂	EN 15804+A2; PEF-weging	Huidige bepalings- methode
Klimaatverandering	83%	74%	65%	59%	75%	64%	56%	44%	69%	57%	49%	30%
Ozonlaagaantasting	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Straling	1%	1%	0%	N.v.t.	1%	2%	1%	N.v.t.	0%	1%	0%	N.v.t.
Smogvorming	2%	3%	6%	1%	2%	3%	7%	1%	2%	3%	7%	1%
Fijnstofvorming	11%	17%	11%	N.v.t.	17%	24%	15%	N.v.t.	23%	32%	20%	N.v.t.
Verzuring	1%	1%	9%	11%	1%	2%	10%	12%	1%	2%	14%	13%
Vermesting	0%	0%	2%	4%	0%	0%	3%	5%	0%	0%	2%	3%

3.13 Minerale wol

Tabel 26 bevat de resultaten bij weging van alle impactcategorieën; Tabel 27 bevat de resultaten bij weging van alleen de impactcategorieën met aanbevelingsniveau I en II.

Ten opzichte van het gemiddeld product heeft minerale wol een wat hogere bijdrage voor fijnstofvorming en vermesting. We kunnen de oorzaak niet achterhalen, omdat de details van de levenscyclusinformatie (LCI) niet zichtbaar zijn voor ons.

Tabel 26 - Minerale wol, bijdrage per impactcategorie, alle impactcategorieën, vier analyse-/weegmethoden

Impactcategorie	Minerale wol			
	Analysemethode + weegmethode			
	EN 15804+A2; monetaire weging - hoge prijs CO ₂	EN 15804+A2; monetaire weging - lage prijs CO ₂	EN 15804+A2; PEF-weging	Huidige bepalings- methode
Klimaatverandering	56%	44%	28%	43%
Ozonlaagaantasting	0,0%	0,0%	0,1%	0,0%
Straling	0%	0%	0%	N.v.t.
Smogvorming	2%	2%	4%	1%
Fijnstofvorming	26%	33%	16%	N.v.t.
Humane toxiciteit	2%	2%	4%	18%
Verzuring	2%	3%	13%	26%
Vermesting	7%	9%	10%	11%
Ecotoxiciteit	1%	1%	6%	1%
Landgebruik	3%	4%	4%	N.v.t.
Waterschaarste	0%	0%	1%	N.v.t.
Uitputting - fossiele energie	2%	2%	14%	2%
Uitputting - metalen/mineralen	0%	0%	1%	0%

Tabel 27 - Minerale wol, bijdrage per impactcategorie, alleen impactcategorieën met robuustheidsindicatie I en II, vier analyse-/weegmethoden

Impactcategorie	Minerale wol			
	Analysemethode + weegmethode			
	EN 15804+A2; monetaire weging - hoge prijs CO ₂	EN 15804+A2; monetaire weging - lage prijs CO ₂	EN 15804+A2; PEF-weging	Huidige bepalings- methode
Klimaatverandering	61%	48%	40%	43%
Ozonlaagaantasting	0%	0%	0%	0%
Straling	0%	1%	0%	N.v.t.
Smogvorming	2%	2%	5%	1%
Fijnstofvorming	28%	37%	22%	N.v.t.
Verzuring	2%	3%	18%	26%
Vermesting	0%	0%	1%	11%

3.14 Additionele noemenswaardige bevindingen

In softwareprogramma's zoals SimaPro zijn LCIA-methoden beschikbaar voor toepassing door LCA-onderzoekers. Zo ook de methode conform PEF ('EF 3.0 method') plus PEF-weging en de methode EN 15804+A2 plus PEF-weging. Deze zijn in de basis gelijk.

De EN 15804+A2-methode berekent als eerste stap de absolute waarden voor elke impact-indicator, inclusief de deelresultaten. In Figuur 8, met daarin een screenshot van de resultaten uit SimaPro, staat een voorbeeld van een biobased product. Te zien is dat de totale score voor klimaatverandering inclusief de biogene koolstof is. De deelscore voor '*climate change - biogenic*' is -770 kg CO₂-eq. Deze wordt meegenomen in de totale score.

Maar voor *cradle-to-gate*-analyses zou de methode de biogene koolstof niet mee moeten nemen (zie Paragraaf 3.2.3). Voor de PEF-weging hebben we daarom gebruikgemaakt van de analysemethode 'EF 3.0 method', die de biogene koolstof niet meeneemt in de weging.

Onze aanbeveling naar PRé Consultants (SimaPro) en SBK (NMD) is:

De EN 15804+A2-methode, zoals beschikbaar voor LCA-uitvoerders in software zoals SimaPro, zou twee varianten van de analysemethode moeten bevatten:

- een variant voor *cradle-to-grave*-analyses waarin biogene koolstof **wel** is inbegrepen;
- een variant voor *cradle-to-gate*-analyses waarin biogene koolstof **niet** is inbegrepen.

Figuur 8 - Voorbeeld biogene koolstof: absolute resultaten volgens EN 15804+A2

Impact category	Unit	Wood chips, dry, measured as dry mass
Climate change	kg CO2 eq	-643
Ozone depletion	kg CFC11 eq	1,88E-5
Ionising radiation	kBq U-235 eq	11,2
Photochemical ozone formation	kg NMVOC eq	1
Particulate matter	disease inc.	6,51E-5
Human toxicity, non-cancer	CTUh	4,8E-6
Human toxicity, cancer	CTUh	1,01E-6
Acidification	mol H+ eq	1,04
Eutrophication, freshwater	kg P eq	0,0108
Eutrophication, marine	kg N eq	0,258
Eutrophication, terrestrial	mol N eq	3,46
Ecotoxicity, freshwater	CTUe	5,81E3
Land use	Pt	4,86E4
Water use	m3 depriv.	125
Resource use, fossils	MJ	2,31E3
Resource use, minerals and metals	kg Sb eq	0,00247
Climate change - Fossil	kg CO2 eq	126
Climate change - Biogenic	kg CO2 eq	-770
Climate change - Land use and LU ch.	kg CO2 eq	0,924
Human toxicity, non-cancer - organic	CTUh	9,61E-8
Human toxicity, non-cancer - inorgan	CTUh	2,45E-6
Human toxicity, non-cancer - metals	CTUh	2,27E-6
Human toxicity, cancer - organics	CTUh	9,59E-7
Human toxicity, cancer - inorganics	CTUh	x
Human toxicity, cancer - metals	CTUh	5,1E-8
Ecotoxicity, freshwater - organics	CTUe	67,9
Ecotoxicity, freshwater - inorganics	CTUe	347
Ecotoxicity, freshwater - metals	CTUe	5,39E3

Resultaten

Deelresultaten

In de analysemethode EN 15804+A2, zoals nu is opgenomen in SimaPro, staat: *“The EN 15804 standard covers Environmental Product Declarations (EPDs) of Construction Products. The 2019 A2 revision of this standard has aligned their methodology with the EF 3.0 method, except for their approach on biogenic carbon. According to the EN 15804, biogenic carbon emissions cause the same amount of Climate Change as fossil carbon, but can be neutralized by removing this carbon from the atmosphere again.”*

4 Conclusies en aanbevelingen

4.1 Conclusies en aanbevelingen

Deze studie leidt tot de volgende conclusies en aanbevelingen:

Monetaire weging is mogelijk

De analyse in deze studie laat zien dat het goed mogelijk is om het Handboek Milieuprijzen te gebruiken voor een monetaire weegset die gebruikt kan worden bij de EN 15804+A2. Dit komt doordat het Handboek Milieuprijzen een waardering op stofniveau kent, en deze waardering op stofniveau is om te bouwen tot een gewogen waardering op milieu-impact-categorie, die gebruikt kan worden als monetaire weegset. Voor impactcategorieën die in het Handboek Milieuprijzen niet voorkwamen (zoals waterschaarste, uitputting abiotische grondstoffen en uitputting fossiele brandstoffen) kon er een waarde worden afgeleid uit bestaand onderzoek, of worden berekend aan de hand van preventiekosten. Daarmee concluderen we dat een monetaire weegset conform de EN 15804+A2 goed mogelijk is.

De vraag of een monetaire weegset ook wenselijk is, is niet behandeld in deze studie. Een voordeel van een monetaire weegset is dat er in Nederland aansluiting wordt gevonden bij andere beleidsonderdelen die reeds gebruik maken van milieuprijzen (zoals maatschappelijke kosten-batenanalyses of bij juridische besluitvormingstrajecten (zie ook Bijlage A). Een aandachtspunt hierbij is de vraag of er telkens met dezelfde prijzen moet worden gewogen of dat andere monetaire weegsets ook mogelijk zijn.¹⁶

Resultaten van de monetaire weegset op hoofdlijnen

Tabel 28 geeft de monetaire weegset weer op basis van milieuprijzen, die in dit onderzoek is ontwikkeld.

Tabel 28 - Voorstel aanpassing weegfactoren op basis van milieuprijzen

	Eenheid	Waarde
Klimaatverandering	€/tCO ₂	70/116
Ozonlaagaantasting	€/kg CFK ₁₁ -eq.	32
Straling	€/kg kBq U235-eq.	0,049
Smogvorming	€/kg NMVOC-eq.	1,22
Fijnstofvorming	€/kg disease incidence	549.750
Humane toxiciteit		
– Kankerverwekkend effect	€/CTUh	1.096.368
– Niet-kankerverwekkend	€/CTUh	147.588
Verzuring	€/Mol H ⁺ -eq.	0,39

¹⁶ Recent is wel een studie verschenen (Trinomics, 2020 forthcoming) die dit op Europese schaal heeft uitgevoerd. Ook is het JRC bezig om de mogelijkheden daartoe te verkennen.

	Eenheid	Waarde
Vermesting:		
– Zout water	€/kg N	3,28
– Zoet water	€/kg P-eq.	1,96
– Land	€/Mol N-eq.	0,36
Ecotoxiciteit		
– Aquatisch zoet water	€/CTUe	0,00013
– Aquatisch zeewater		N.v.t.
– Terrestrisch		N.v.t.
Landgebruik	Pt/m ² .jaar	0,000178
Waterschaarste	m ³ water-eq.	0,00506
Grondstofuitputting		
– Metalen en mineralen	€/kg Sb-eq.	0,30
– Energiedragers	€/MJ	€ 0.00033

Bij de toepassing van deze weegset is gekeken naar twee varianten:

1. Een hoge (€ 116/tCO₂) of lage (€ 70/tCO₂) prijs voor klimaatverandering, samenhangende met beleidsonzekerheid over het voorgenomen of vastgestelde beleid, moet als uitgangspunt worden genomen (zie ook hieronder).
2. Een complete set en een beperkte set waarin alleen de impactcategorieën met een aanbevelingsniveau I en II van de PEF-systematiek is meegenomen. Dit laatste behelst dat alleen de effecten op klimaatverandering, ozonlaagaantasting, fijnstofvorming, smogvorming, vermisting en verzuring worden meegenomen. Dit zijn ook de categorieën waarvoor de volledige systematiek van het Handboek Milieuprijzen kon worden gebruikt en de bijbehorende weegfactoren zijn dus aan een grotere mate van wetenschappelijke zekerheid gebonden.

We hebben vervolgens voor een gemiddelde van alle producten in deze studie gekeken wat de relatieve verschillen zijn voor de monetaire weging in vergelijking met:

- a De huidige bepalingmethode met MKI-scores.
- b De PEF-weging zoals voorgesteld in PRé Consultants (2020).

Bij weging volgens **de huidige bepalingmethode** zien we de hoogste bijdragen door klimaatverandering gevolgd door humane toxiciteit en verzuring. Tezamen maken deze drie groepen meer dan 85% van de totale score uit, waarbij klimaatverandering voor 47% meetelt en humane toxiciteit voor 26%. Bij toepassing van EN 15804 is er spreiding over meer impactcategorieën en treden er verschuivingen op.

Bij **de monetaire weging met milieuprijzen** wordt klimaatverandering nog dominanter, vooral bij de hoge CO₂-prijzen waarbij bijna 60% van de totale score wordt verklaard door impacts op het thema klimaatverandering. Daarnaast is fijnstofvorming een belangrijke categorie die niet in de huidige bepalingmethode zit. Humane toxiciteit, ecotoxiciteit en verzuring spelen nauwelijks een rol. Van de nieuwe impactcategorieën is, naast fijnstofvorming, ook landgebruik relevant, die 7-8% van de impacts bepaald.

Bij de EN 15804+A2 met de **PEF-weging** wordt klimaatverandering veel minder dominant (23% van de totale score), maar spelen de uitputtingsthema's juist een grote rol. Uitputting van grondstoffen draagt in zijn totaliteit voor 36% mee in de totaalscore, waarvan 20% door de uitputting van mineralen en 16% door de uitputting van fossiele grondstoffen. Ook waterschaarste wordt een belangrijk thema (8%).

Een discussiepunt is of de PEF-weging niet tot eenzelfde CO₂-score leidt als de oude bepalingsmethode, indien klimaatverandering plus uitputting fossiele brandstoffen tegelijkertijd wordt meegenomen. Tezamen leidt dit tot een totaalscore van 39%. Tot op zekere hoogte is het zo dat daarmee het belang om fossiele brandstoffen te verminderen wordt vergroot. Maar er wordt daarbij geen onderscheid gemaakt naar soort fossiele brandstof. Fossiele brandstoffen die per MJ veel CO₂ uitstoten, zoals steenkool of cokes, kennen daarbij een relatief voordeel in de PEF-methode ten opzichte van weging met milieuprijzen. Daarnaast is de totale score van 39% ook nog steeds significant minder dan de 48 tot 59% die bij de weging met milieuprijzen wordt bereikt. Bij de PEF-weging wordt daarnaast uitputting van metalen/mineralen een belangrijk thema.

Welke impactcategorieën wel/niet meenemen in de weging?

Bovenstaande analyse is gebaseerd op het meenemen van alle impactcategorieën. Dit is echter niet de enige mogelijkheid.

Wij zien vier mogelijkheden om het aantal impactcategorieën te bepalen:

1. Alle impactcategorieën.
2. Alle impactcategorieën met uitzondering van waterschaarste.
3. Alleen de impactcategorieën met robuustheidsindicatie I en II.
4. Weging met alleen de kernindicatoren van EN1580+A2.

Optie 4, weging van alleen de kernindicatoren van EN1580+A2, raden we niet aan, want deze bevat geen fijnstofvorming (robuustheidsindicatie I), maar wel waterschaarste en grondstofuitputting (fossiele energiedragers en mineralen/metalen) met robuustheidsindicatie III. Daardoor worden verschillende maten van onzekerheid samengevoegd, wat de analyse minder robuust maakt. Tegelijkertijd is deze optie minder allesomvattend dan Optie 1. Tot slot bleek uit de analyse in Hoofdstuk 3 dat waterschaarste mogelijk tot vreemde resultaten leidt.

Optie 1, alle impactcategorieën, is qua compleetheid te prefereren, maar leidt ook tot problemen, met name op het gebied van waterschaarste bij sommige materialen. Als waterschaarste wordt opgenomen in de weging, dan is ons advies aan alle betrokkenen om bij (nieuw) LCA-onderzoek, waarbij de EN 15804+A2-methode wordt toegepast, erg goed op te letten op de resultaten voor waterschaarste bij modelleren van drinkwater en energie: selecteer zoveel mogelijk het daadwerkelijke land waar het water is opgepompt en de energie is opgewekt.

Optie 2 en 3 kennen dit nadeel niet, omdat waterschaarste daar buiten beschouwing wordt gelaten. Als wetenschappelijke zekerheid (over bepalingsmethoden en weegfactoren) heel belangrijk is, kan Optie 3 aantrekkelijk zijn.

Keuze voor de hoge of lage variant van klimaatprijzen

Voor klimaatverandering wordt er in deze studie voorgesteld om voorlopig met twee prijspaden te werken: € 70/tCO₂ als een onderwaarde, overeenstemmend met de aanbevelingen van de Werkgroep Discontovoet uit 2015 voor gebruik CO₂-prijzen in kostenbatenanalyses, en € 116/tCO₂ als bovenwaarde, overeenstemmend met de tweegraden-doelstellingen.

Als er een keuze tussen deze twee waarden moet worden gemaakt, zou het onze aanbeveling zijn om daarin de bovenwaarde van € 116 te nemen, omdat het beleidsdoel van -40% reductie, waarop de waarde van € 70/tCO₂ is gebaseerd, verouderd is.

4.2 Opmerkingen terzijde van het onderzoek

Vanuit LCA-oogpunt komen drie aanbevelingen ten aanzien van de verdere uitrol van de EN 15804+A2 in de Bepalingsmethode 'Milieuprestatie bouwwerken' naar voren, die hier als 'bijvangst' van deze studie worden vermeld:

1. Uit de effectstudie blijkt dat de Ecoinvent 2-datasets niet goed compatibel zijn met de EN 15804+A2 voorgeschreven analysemethoden, in ieder geval niet voor waterschaarste en landgebruik. Bij uitvoer van nieuwe LCA's zouden Ecoinvent 2-datasets niet moeten worden toegestaan in de modellering.
2. LCA-softwareproducenten zouden twee varianten van de analysemethode moeten opnemen in hun programma:
 - een variant voor *cradle-to-grave*-analyses waarin biogene koolstof **wel** is inbegrepen;
 - een variant voor *cradle-to-gate*-analyses waarin biogene koolstof **niet** is inbegrepen.
3. Voor de Stichting Nationale Milieudatabase: verduidelijk hoe de regels in de Bepalingsmethode Milieuprestatie Bouwwerken ten aanzien van biogene koolstof moet worden toegepast, alsook de LCIA-methode voor *cradle-to-gate*- en *cradle-to-cradle*-analyses.

5 Bibliografie

- Aalbers, R., Renes, G. & Romijn, G., 2016. *WLO-klimaatscenario's en de waardering van CO₂-uitstoot in MKBA's. Opgesteld op verzoek van de Begeleidingscommissie werkwijzer MKBA milieubeleid.*, Den Haag: Centraal Planbureau (CPB); Planbureau voor de Leefomgeving (CPB).
- ACM, 2013. *Analyse van de Autoriteit Consument en Markt met betrekking tot de voorgenomen afspraak tot sluiting van 80er jaren kolencentrales in het kader van het SER Energieakkoord.* [Online]
Available at: https://www.acm.nl/sites/default/files/old_publication/publicaties/12033_acm-notitie-sluiting-kolencentrales.pdf
[Geopend 2020].
- Arcadis & CE Delft, 2018. *Life @ Urban Roofs. MKBA multifunctionele daken*, Arnhem: Arcadis Nederland B.V..
- Cao, V. & Margni, M., 2015. Aggregated indicator to assess land use impacts in life cycle assessment (LCA) based on the economic value of ecosystem services. *Journal of Cleaner Production*, Issue 94, pp. 56-66.
- CDP, 2017. *Putting a price on carbon : Integrating climate risk into business planning.* [Online]
Available at: <https://b8f65cb373b1b7b15feb-c70d8ead6ced550b4d987d7c03fcd1d.ssl.cf3.rackcdn.com/cms/reports/documents/000/002/738/original/Putting-a-price-on-carbon-CDP-Report-2017.pdf?1507739326>
[Geopend 2020].
- CE Delft, 2002. *Update schaduw prijzen, financiële waardering van milieu-emissies op basis van Nederlandse overheidsdoelen*, Delft: sn
- CE Delft, 2010. *Handboek Schaduw prijzen: Waardering en weging van emissies en milieueffecten*, Delft: CE Delft.
- CE Delft, 2013. *Inzetten op meer recycling. Een maatschappelijke kosten-batenanalyse*, Delft: CE Delft.
- CE Delft, 2017a. *Handboek Milieuprijzen 2017 : Methodische onderbouwing van kengetallen gebruikt voor waardering van emissies en milieu-impacts*, 2017: CE Delft.
- CE Delft, 2017b. *Werkwijzer voor MKBAs op het gebied van milieu*, Delft: CE Delft.
- CE Delft, 2018a. *Economische- en Duurzaamheidseffecten Vliegbelasting*, Delft: CE Delft.
- CE Delft, 2018b. *Environmental Prices Handbook, EU 28 version*, Delft: CE Delft.
- CE Delft, 2018c. *De echte prijs van vlees*, Delft: CE Delft.
- CE Delft, 2018c. *MKBA Warmtenet zeeland*, Delft: CE Delft.
- CE Delft, 2020. *CO₂-beprijzing bij inkopen en aanbesteden door provincies. Met focus op Catering, Meubilair en Textiel*, Delft: CE Delft.
- Kenian, K., 2019. *Calculate the costs of pollution in SimaPro with Environmental Prices.* [Online]
Available at: <https://simapro.com/2019/calculate-the-costs-of-pollutionin-simapro-with-environmental-prices/>
[Geopend 2020].
- CPB ; PBL, 2013. *Algemene leidraad voor maatschappelijke kosten-batenanalyse*, Den Haag: Centraal Planbureau (CPB); Planbureau voor de Leefomgeving (CPB).
- CPB, 2017. *Cost-benefit analysis for flood risk management and water governance in the Netherlands: an overview of one century*, Den Haag: Centraal Planbureau (CPB).
- De Laurentiis, V., 2019. Soil quality index: Exploring options for a comprehensive assessment of land use impacts in LCA. *Journal of Cleaner Production*, pp. 63-74.



EC ; JRC ; IES, 2010. *International Reference Life Cycle Data System (ILCD) Handbook : General guide for Life Cycle Assessment, Detailed Guidance*, Luxembourg: Publications Office of the European Union.

ECN, 2016. *MKBA Tracé 2 Warmtenet Nijmegen*, Petten: ECN.

Ecorys, 2019. *MKBA N266/N275 Nederweert*, Rotterdam: Ecorys.

EIB, 2016. *MKBA wetsvoorstel kwaliteitsborging voor het bouwen*, Amsterdam: Economisch Instituut voor de Bouw (EIB).

Eurostat, 2020. *HICP (2015 = 100) - annual data (average index and rate of change)[prc_hicp_aind]*. [Online]
Available at:
https://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=prc_hicp_aind&lang=en
[Geopend 6 augustus 2020].

Fantke & Bijster, 2018. *USEtox 2.0 documentation*, Denmark: USEtox® International Center.

Fantke, P. e. a., 2019. Health impacts of fine particulate matter. In: *Global Guidance For Life Cycle Impact Assessment Indicators: Volume 1, SETAC, Lifecycle initiative*. sl:sn

Fazio, S. et al., 2018. *Supporting information to the characterisation factors of recommended EF Life Cycle Impact Assessment method*, Ispra: European Commission.

Fraunhofer, 2016. *LANCA® Characterization Factors for Life Cycle Impact Assessment, Version 2.0*, Stuttgart: Fraunhofer Verlag.

GHDx, 2017. *Global Health Data Exchange*. [Online]
Available at: <http://ghdx.healthdata.org/>
[Geopend 31 augustus 2020].

Goedkoop, M. et al., 2009. *ReCiPe 2008, A life cycle impact assessment method which comprises harmonised category indicators at the midpoint and the endpoint level, First edition (version 1.08)*, Ministerie van Volkshuisvesting en Milieubeheer (VROM), Ruimte en Milieu: Den Haag.

Goedkoop, M. et al., 2013. *R. ReCiPe 2008, A life cycle impact assessment method which comprises harmonised category indicators at the midpoint and the endpoint level; First edition (version 1.08) Report I: Characterisation*, Den Haag: Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer (VROM).

Gradus, R., van Koppen, R., Dijkgraaf, E. & Nillesen, P., 2016. *A cost-effectiveness analysis for incineration or recycling of Dutch household plastics*, Rotterdam: Tinbergen Institute.

Guinée, J. et al., 2002. *Handbook on life cycle assessment. Operational guide to the ISO standards..* Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.

Huijbregts, M. S. Z. E. P. e. a., 2017. ReCiPe 2016: A harmonised life cycle impact assessment method at midpoint and endpoint level.. *Int. J. Life Cycle Assess* 22, pp. 138-147.

Huijbregts & Rombouts, 2005. Human-Toxicological Effect and Damage Factors of Carcinogenic and Noncarcinogenic Chemicals for Life Cycle Impact Assessment. *Integrated Environmental Assessment and Management*, 1(3), p. 181-244.

Humbert, S. e. a., 2012. *Impact 2002+: User Guide. Draft version Q2.21*, sl: sn

Huysegoms, L., Rousseau, S. & Cappuyn, V., 2018. Friends or foes? Monetized Life Cycle Assessment and Cost-Benefit Analysis of the site remediation of a former gas plant. *Science of the Total Environment*, 619-620(April), pp. 258-271.

Keijzer, E., 2017. Environmental impact of Funerals. Life cycle assessments of activities after life. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, Volume 22, pp. 715-730.

Kuik, O. et al., 2008. *Report on the monetary valuation of energy related impacts on land use, D.3.2. CASES Cost Assessment of Sustainable Energy Systems, updated July 2008*, Amsterdam : Institute for Environmental Studies (IVM), VU University Amsterdam.

Luengo-Fernandez, R. & Leal, J., 2013. Economic burden of cancer across the European Union: a population-based cost analysis. *the Lancet Oncology*, Nov, 14(12), pp. 1165-74.



Murray, C. J. L. & Lopez, A. D., 1996. *The Global Burden of Disease : : a comprehensive assessment of mortality and disability from diseases, injuries, and risk factors in 1990 and projected to 2020 : summary*. Geneva: World Health Organisation (WHO).

Navigant, 2018. *Eindrapportage Expertnetwerk Schaduwprijzen 2018*, Den Haag: Rijkswaterstaat.

NEEDS, 2008. *NEEDS deliverable 6.7 Final report on the monetary valuation of mortality and morbidity risks from air pollution. Priority 6.1 (...) Sub-priority 6.1.3.2.5.: Socio-economic tools and concepts for energy strategy*, Brussels: European Commission.

NEN, 2019. *NEN-EN 15804+A2; Duurzaamheid van bouwwerken - Milieuverklaringen van producten - Basisregels voor de productgroep bouwproducten*, Delft: Koninklijk Nederlands Normalisatie-instituut (NEN).

NVRD, 2016. *Benchmark Huishoudelijk Afval Peiljaar 2014*, Arnhem: NVRD.

OVAM, 2017. *Annex: Monetisation of the MMG method (update 2017)*, Mechelen: OVAM.

Pacyna, J. M., 2016. 7.3 Review of empirical evidence on monetary valuation of health impacts. In: *Environmental Determinants of Human Health*. sl:Springer, pp. 142-145.

PBL, 2017. *Milieuschade in Nederland*, Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving (PBL).

PIANOo, 2019. *Inkopen met de Milieukostenindicator (MKI)*, Den Haag: PIANOo Expertisecentrum Aanbesteden, Rijksdienst voor Ondernemend Nederland .

Posch, M. et al., 2008. The role of atmospheric dispersion models and ecosystem sensitivity in the determination of characterisation factors for acidifying and eutrophying emissions in LCIA. *International Journal of Life Cycle Assessment*, Volume 13(6), pp. 477-486.

PRé Consultants, 2020. *Heroriëntatie weegfactoren milieueffecten van Gebouwen en GWW-werken; Inventarisatie van de opties voor de weegfactoren bij de implementatie van herziene EN15804 [2019] in de bepalingmethode milieuprestatie gebouwen en GWW-werken*, Amersfoort: PRé Sustainability.

Rabl, A., Spadaro, J. & Holland, M., 2014. *How Much Is Clean Air Worth?: Calculating the Benefits of Pollution Control*. Cambridge: Cambridge University Press.

Rijksoverheid, 2017. *Kamerbrief van S. Dijkzwa van 4 september 2017 m.b.t. Werkwijzer MKBA's op het gebied van milieu, kamerstuknr. 28 663, nr.70*, Den Haag: Tweede Kamer der Staten Generaal.

Rosenbaum, R. K., 2008. USEtox—the UNEP-SETAC toxicity model: recommended characterisation factors for human toxicity and freshwater ecotoxicity in life cycle impact assessment. *Int J Life Cycle Assess*, Issue 13, p. 532-546.

Sala, S., Cerutti, A. & Pant, R., 2018. *Development of a weighting approach for the Environmental Footprint*, Luxemburg: Publications Office of the European Union.

Sanyé-Mengual, E., Oliver-Solà, J., Montero, J. I. & Rieradevall, J., 2015. An environmental and economic life cycle assessment of rooftop greenhouse (RTG) implementation in Barcelona, Spain. Assessing new forms of urban agriculture from the greenhouse structure to the final product level. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, Volume 20, pp. 350-366.

SBK, 2014. *Bepalingmethode Milieuprestatie Gebouwen en GWW-werken*, Rijswijk: Stichting Bouwkwiteit (SBK).

Seppälä, J., Posch, M., Johansson, M. & Hettelingh, J.-P., 2006. Country-dependent Characterisation Factors for Acidification and Terrestrial Eutrophication Based on Accumulated Exceedance as an Impact Category Indicator. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 11(6), pp. 403-416.

SKAO, 2015. *Handboek CO2-Prestatieladder 3.0*, Utrecht: Stichting Klimaatvriendelijk Aanbesteden en Ondernemen (SKAO).

TNO, 2004. *Toxiciteit heeft z'n prijs: Schaduwprijzen voor (eco-)toxiciteit en uitputting*, Den Haag: Rijkswaterstaat.

Trinomics, 2020 forthcoming. *(draft) Final report External costs. Energy costs, taxes and the impact of government interventions on investments*, draft version 8 may 2020, not published: Trinomics.



TSMC, 2018. *TSMC 2018 : Environmental Profit and Loss (EP&L)*. [Online]
Available at:
https://csr.tsmc.com/download/csr/TSMC_DJSI_Impact_Valuation_2018_Public_Disclosure_e.pdf
[Geopend 2020].

VMM, 2013. *Milieurapport Vlaanderen MIRA : Themabeschrijving Fotochemische luchtverontreiniging*, Mechelen: Vlaamse Milieumaatschappij (VMM).

Wernet, G. et al., 2016. The ecoinvent database version 3 (part I). *International Journal of Life Cycle Assessment*, Volume 21(9), p. 1218-1230.

WHO, 2006. *The Global Burden of Disease: 2004 update*, Geneva: World Health Organization.

WHO, 2013. *Health risks of air pollution in Europe - HRAPIE project. Recommendations for concentration-response functions for cost-benefit analysis of particulate matter, ozone and nitrogen dioxide.*, Geneva: World Health Organization (WHO).

A Toepassing milieuprijzen

Milieuprijzen zijn kengetallen die de maatschappelijke schade van milieuvervuiling aan gezondheid, ecosystemen en gebouwen bepalen en uitdrukken in euro's per eenheid vervuilende stof. Daarmee geven deze prijzen het welvaartsverlies weer dat optreedt als er één extra eenheid van een vervuilende stof in het milieu terechtkomt.

Milieuprijzen worden ook wel 'schaduw prijzen' of 'echte prijzen' genoemd. In dit stuk zullen we steeds de term 'milieuprijzen' hanteren, die CE Delft sinds 2017 hanteert voor het waarderen van de schade aan emissies.

Door de jaren heen is het gebruik van milieuprijzen sterk toegenomen, zowel binnen de wetenschap, de overheid als het bedrijfsleven. Enerzijds gaat het om prioriteitstelling bij het nemen van (interne) beleidsbeslissingen. Anderzijds om (extern) te communiceren over de milieuprestaties van eigen activiteiten, al dan niet in vergelijking met anderen.

Concreet kan men in de praktijk drie gebruikssituaties onderscheiden:

1. Investeringsbeslissingen, beleidsafwegingen of aankoopbeslissingen.
2. Milieukundig analyses.
3. MVO en Benchmarking en indicatoren.

In het eerste geval is het doel van schaduw prijzen primair waardering: een manier om de milieueffecten te vergelijken met andere financiële grootheden om zo tot een integrale afweging te komen van alle effecten die een rol spelen bij een beslissing.

In het tweede en derde geval is het doel vooral milieukundige weging: een manier om de diverse geïdentificeerde milieueffecten onderling met elkaar te vergelijken.

1. Investeringsbeslissingen, beleidsafwegingen of aankoopbeslissingen.

Milieuprijzen zijn een manier om de maatschappelijke waarde van (vermeden) milieueffecten mee te nemen bij tal van economische afwegingen. Ze kunnen worden toegepast bij:

— Inkoop en aanbesteding

Inkoop en aanbesteding kan ook een belangrijk toepassingsgebied zijn van milieuprijzen. Hierbij wordt, bijvoorbeeld, het effect op klimaatverandering door producten of diensten meegewogen bij de aanbesteding door er een prijs aan te hangen. Deze prijs kan vervolgens worden opgeteld bij de financiële kosten van het ingekochte product of dienst om zo de klimaatinclusieve maatschappelijke kosten van de aanbesteding te bepalen. Steeds meer bedrijven maken gebruik van een MilieuKosten Indicator bij aanbestedingen. In de GWW-sector zijn dit (via DuboCalc) bijvoorbeeld Rijkswaterstaat en ProRail. Ook andere duurzaamheidstools, zoals GPR, GreenCalc en BREEAM, maken gebruik van MKI-gegevens om te komen tot een score (PIANOo, 2019). Specifiek op het gebied van CO₂ zijn er de afgelopen jaren veel ontwikkelingen. Steeds meer bedrijven maken melding van het gebruik van CO₂-prijzen in hun interne bedrijfsvoering. Wereldwijd hebben al meer dan 1.300 bedrijven en organisaties gerapporteerd dat zij werken met een interne CO₂-prijs in 2017 (CDP, 2017). Interne CO₂-beprijzing is daarom een groeiende business. Recentelijk is er substantieel onderzoek uitgevoerd naar de toepassing van CO₂-beprijzingen bij aanbestedingen van (decentrale) overheden, zie (CE Delft, 2020).

– **Investeringsbeslissingen**

Naast de rentabiliteit van investeringen kan ook gekeken worden naar bredere (maatschappelijke) neveneffecten, zoals milieuvervuiling. Door milieueffecten een prijs te geven, kunnen ze, naast financiële grootheden, worden meegenomen. De beleidsmaker kan vervolgens op basis van de *totale* effecten bepalen of de investering wel of niet welvaartverhogend werkt. Voorbeelden zijn mkba's uitgevoerd naar warmtenetten (ECN, 2016); (CE Delft, 2018c), tal van infrastructurele investeringen (Ecorys, 2019) en duurzame daken (Arcadis & CE Delft, 2018).

– **Beleideffecten en beleidsafwegingen**

Ook bij beleideffecten en/of beleidsafwegingen kan men de gevolgen van het beleid op de milieu-impact doorrekenen met milieuprijzen. Met name als er verschillende varianten van de beleidsbeslissing op tafel liggen (zoals de vormgeving van een subsidie-regeling) kan het zinvol zijn om de effecten op het milieu te monetariseren en mee te wegen met andere financiële parameters, zoals de verwachte groei in de werkgelegenheid door het uitvoeren van een mkba. De minister van I&M heeft in de Tweede Kamer het gebruik van milieuprijzen bij mkba's met belangrijke milieueffecten aanbevolen.¹⁷ Voorbeelden van het gebruik van milieuprijzen in deze gevallen zijn bijvoorbeeld de evaluaties van vliegbelastingen (CE Delft, 2018a), recyclingbeleid (CE Delft, 2013), watermanagement (CPB, 2017) en kwaliteitsborging in de bouw (EIB, 2016). Een andere beleidsrelevante toepassing is de inschatting van de totale milieuschade in Nederland. Deze is met behulp van milieuprijzen voor 2015 op ruim € 31 miljard geschat (PBL, 2017). Ook de Autoriteit Consument en Markt gebruikt milieuprijzen om het milieu-belang te bepalen bij, onder meer, fusies of een toetsing van beleidsbeslissingen op het mededingingsrecht.¹⁸

2. Milieukundige analyses

Milieukundig onderzoek, zoals levenscyclusanalyse (LCA), brengt men de milieu-impact van activiteiten, producten of diensten in kaart. Bij LCA worden de effecten van producten over hun gehele levensduur beschouwd (productie, consumptie- en afvalfase). In de laatste stap van LCA wordt het resultaat berekend voor meerdere impactcategorieën. De Bepalingsmethode Milieuprestatie Bouwwerken schrijft een diverse set aan impactcategorieën voor, die vervolgens met milieuprijzen gewogen worden.

Milieuprijzen worden dus al jaren gebruikt bij LCA's in de bouw. DuboCalc gebruikt de milieuprijzen voor berekening van de resultaten. Maar ook in andere sectoren worden milieuprijzen toegepast als weegmethode, hoewel er ook andere weegmethoden bestaan en vaak in LCA een selectie wordt gemaakt van impactindicatoren, zoals klimaatverandering en fijnstofvorming, waarvan de resultaten ongewogen worden getoond.

In het LCA-softwareprogramma SimaPro zijn de milieuprijzen opgenomen die toepasbaar

¹⁷ “Om milieueffecten in Nederland te waarderen moeten prijzen worden gebruikt. Idealiter wordt per casus nagegaan wat de relevante prijzen zijn. Vaak stuit dit op praktische bezwaren. In dergelijke gevallen is aan te bevelen om gebruik te maken van kengetallen, die in de regel representatief zijn voor de marginale prijs van een gemiddeld effect in Nederland. Voor waardering van emissies en andere milieueffecten in Nederland kan gebruik worden gemaakt van de kengetallen die zijn opgenomen in het Handboek Milieuprijzen. Dat vergroot tevens de onderlinge vergelijkbaarheid van MKBA's. Op mijn verzoek is het Handboek Milieuprijzen onlangs door onderzoeksbureau CE Delft geactualiseerd en gepubliceerd op rijksoverheid.nl.”. Brief Van De Staatssecretaris Van Infrastructuur En Milieu aan de Voorzitter van de Tweede Kamer der Staten-Generaal, Den Haag, 4 september 2017, 28663 nr. 70 (Rijksoverheid, 2017).

¹⁸ Zie bijvoorbeeld: (ACM, 2013).

zijn op de veelgebruikte analysemethode 'ReCiPe' (Cenian, 2019). Zo zijn de milieuprijzen voor LCA-onderzoekers eenvoudig toe te passen.

Weging in LCA wordt voornamelijk toegepast bij vergelijkingen van producten wanneer men meerdere milieu-impactindicatoren berekent, maar daarna een gewogen score gewenst is om een conclusie te trekken over welke product een *over-all* lagere milieudruk heeft.

Voorbeelden uit de praktijk zijn:

- Diverse studies gepubliceerd in het int. Journal of Life Cycle Assessment of andere journals rapporteren resultaten gewogen met milieuprijzen. Zoals 'Life cycle assessment of funerals' (Keijzer, 2017) en 'An environmental and economic life cycle assessment of rooftop greenhouse implementation in Barcelona' (Sanyé-Mengual, et al., 2015) en Huysegoms et al. (2018).
- Vergelijking van vleesproducten, waarbij de milieudruk is inbegrepen in de prijs van vlees (CE Delft, 2018c).
- Aanbestedingsprocedures voor niet-bouwgerelateerde producten, waarbij de Bepalingsmethode Milieuprestatie Bouwwerken is gehanteerd.

3. MVO en benchmarking

Een bedrijf of organisatie staat niet alleen in de wereld, maar maakt onderdeel uit van de bredere samenleving. De laatste jaren is er een groeiende aandacht om de invloed van het bedrijf op hun omgeving in cijfers uit te drukken. Milieuprijzen kunnen behulpzaam zijn bij het kwantificeren van de invloed van het bedrijf op het milieu. In sommige gevallen is een milieujaarverslag verplicht door regelgeving vanuit de Europese of Nederlandse overheid (zoals bij het CO₂-emissiehandelssysteem EU ETS). Groeiende trend is echter dat bedrijven op vrijwillige basis hun emissies monitoren en rapporteren, bijvoorbeeld door een maatschappelijke winst- en verliesrekening op te stellen (NS doet dit sinds 2014). De jaarrekening van 2014, die de Kristalprijs heeft gewonnen voor het meest transparante jaarverslag, bevatte een doorrekening met milieuprijzen van CE Delft. Ook Philips heeft in de afgelopen twee jaar hun MVO-verslag doorgerekend met milieuprijzen van CE Delft (Philips, 2018; 2019). Gebruik van milieuprijzen is niet beperkt tot alleen Nederlandse bedrijven. Ook Novartis (2017) en Vodafone hebben hun jaarverslag doorgerekend met milieuprijzen van CE Delft, maar ook minder bekende bedrijven, zoals TSMC (TSMC, 2018). Ook is het Handboek Milieuprijzen onderdeel van de toolkit van de Natural Capital Coalition, die bedrijven moet helpen bij het opstellen van berekeningen over hun maatschappelijke impact, zoals Environmental Profit and Loss Accounts. De milieuprestaties van bedrijven of organisaties kunnen ook onderling vergeleken worden. Dit gebeurt bijvoorbeeld bij de Milieubarometer voor het Midden- en Kleinbedrijf van Stichting Stimular.

B Toelichting ontwikkeling nieuwe waarden

B.1 Inleiding

Het doel is uiteindelijk om te komen tot een weegset, in overeenstemming met de uitgangspunten van de PEF-methodiek. Figuur 9 komt uit Sala et al. (2018) en geeft op hoofdlijnen een overzicht van de impactcategorieën, de achterliggende karakterisatiemodellen, de eenheden en het 'niveau van aanbeveling' (zie Hoofdstuk 2 voor toelichting).

Figuur 9 - Impactcategorieën volgens de PEF-methodiek, met niveau van aanbeveling

Impact category	Model	Unit	LCIA method level of recommendation
Climate change	IPCC, 2013	kg CO ₂ eq	I
Ozone depletion	World Meteorological Organisation (WMO), 1999	kg CFC-11 eq	I
Human toxicity, cancer	USEtox (Rosenbaum et al., 2008)	CTUh	III/interim*
Human toxicity, non-cancer	USEtox (Rosenbaum et al., 2008)	CTUh	III/interim*
Particulate matter	Fantke et al., 2016	disease incidences	I
Ionising radiation	Frischknecht et al., 2000	kBq U-235 eq.	II
Photochemical ozone formation	Van Zelm et al., 2008, as applied in ReCiPe, 2008	kg NMVOC eq.	II
Acidification	Posch et al., 2008	mol H ⁺ eq	II
Eutrophication, terrestrial	Posch et al., 2008	mol N eq	II
Eutrophication, freshwater	Struijs et al., 2009	kg P eq	II
Eutrophication, marine	Struijs et al., 2009	kg N eq	II
Land use	Soil quality index (based on LANCA, Bos et al., 2016)	pt	III
Ecotoxicity freshwater	USEtox (Rosenbaum et al., 2008)	CTUe	III/interim*
Water use	AWARE 100 (based on Boulay et al., 2018)	m ³ water eq of deprived water	III
Resource use (fossils)	ADP fossils (van Oers et al., 2002)	MJ	III
Resource use (mineral and metals)	ADP ultimate reserve (van Oers et al., 2002)	kg Sb eq	III

In dit hoofdstuk geven we in detail aan hoe we tot de weegset voor deze indicatoren (zie ook Tabel 5 uit Hoofdstuk 2) zijn gekomen. We lopen per paragraaf een milieuthema af, startend met klimaatverandering in Paragraaf B.2., gaande tot grondstofverbruik in Paragraaf B.13.

Bij een goed begrip van de materie in deze paragrafen is het aanbevelingswaardig om ook het Handboek Milieuprijzen (EU-28-versie) erop na te slaan, omdat daar meer achtergronden worden gegeven over *het waarom* van een bepaalde waardering. Aangezien dat handboek 176 bladzijden beslaat, is het niet doenlijk om hier voor elk thema alles te herhalen. De hoofdlijnen van dit handboek staan wel vermeld in de huidige paragrafen.

B.2 Klimaatverandering - *Global warming potential*

Klimaatverandering, ook wel broeikasgaseffect genoemd, representeert de uitstoot van alle broeikasgassen in CO₂-equivalenten. Broeikasgassen zijn gassen die bijdragen aan het verhogen van de temperatuur op aarde, doordat zij de warmte van zonlicht, teruggedraagt door het aardoppervlak, tegenhouden en in de atmosfeer vasthouden. Het bekendste en meest uitgestoten broeikasgas is CO₂, ofwel koolstofdioxide, dat vrijkomt bij verbranding van fossiele brandstoffen (bijvoorbeeld voor energie voor productieprocessen of als transportbrandstof). Enkele andere belangrijke broeikasgassen zijn methaan (CH₄), distikstofmonoxide (N₂O) en fluorkoolwaterstoffen (HFC's) en zwavelhexafluoride (SF₆). De mate waarop een broeikasgas bijdraagt aan temperatuursverhoging verschilt per broeikasgas en wordt onderzocht door het IPCC. De totale uitstoot van broeikasgassen wordt weergegeven in CO₂-equivalenten, door het effect op het klimaat van de diverse broeikasgassen te relateren aan het effect van CO₂ over 100 jaar.

De huidige milieuprijs in de MKI voor klimaatverandering is gebaseerd op de milieuprijs die CE Delft in 2002 had berekend voor beleidsdoelstellingen in 2010 (Kyotoprotocol). Deze schaduwprijs bedroeg toen € 50/tCO₂.

In het Handboek Milieuprijzen (CE Delft, 2017a) zijn de prijzen voor klimaatverandering ook gebaseerd op preventiekosten. Dit is omdat het Nederlandse kabinet, door accordering van de aanbevelingen van de Werkgroep Discontovoet eind 2015, gekozen heeft om de CO₂-prijzen te baseren op prijspaden uit de WLO-scenario's. De WLO-scenario's geven voor twee scenario's (Laag en Hoog) en een beleidsvariant (tweegradenscenario) diverse prijzen voor CO₂, variërend van € 12/tCO₂ in Laag tot € 300/tCO₂ in het tweegradenscenario (exclusief btw). Dit zijn prijzen voor het jaar 2015. Alle reële prijzen stijgen met 3,5% per jaar, omdat doelstellingen over de tijd heen scherper worden, conform de notitie van het CPB/PBL (Aalbers, et al., 2016) over de interpretatie van de WLO-scenario's als prijspaden voor CO₂. Deze onder- en bovenwaarden in de twee varianten (huidig en tweegradenbeleid) moeten verplicht worden gebruikt in mkba's.

Tabel 29 geeft de verschillende CO₂-prijzen volgens drie dimensies: scenario, jaartal en range (onder, centraal, boven). Deze tabel laat zien dat er een zeer grote verscheidenheid aan CO₂-prijzen kan bestaan.

Tabel 29 - Milieuprijzen op het thema klimaatverandering, in €/t CO₂-emissie (exclusief btw) in het Handboek Milieuprijzen

	2015	2030	2050
Huidig beleid			
Onder	12	20	40
Centraal	48	80	160
Boven	48	80	160
Tweegradenbeleid			
Onder	60	100	200
Centraal	80	130	260
Boven	300	500	1.000

Bron: (CE Delft, 2017a).

De vraag is: welke prijs is het meest geschikt om te gebruiken als milieuprijs voor klimaatverandering als weegfactor? Hierbij zijn twee vraagstukken van belang:

1. Moet men uitgaan van het huidige beleid, of van het tweegradenbeleid?¹⁹
2. Moet men uitgaan van 2015 of van een ander jaar?

Er zijn hier diverse overwegingen te geven. Overwegingen voor de keuze voor het tweegradenbeleid zijn:

- Dit is het formele uitgangspunt van het kabinetsbeleid.
- De beleidsdoelstelling ‘huidig beleid’ is gebaseerd op het Nederlandse kabinetsbeleid uit 2015 dat conform het Europese beleid voor 2030 was (-40% reductie). Het huidige kabinet gaat echter uit van een ambitieuzere doelstelling (-49%), en het Klimaatakkoord geeft invulling hieraan. Daarom lijkt de onderwaarde niet langer relevant voor de beleidsambitie.

Een overweging om uit te gaan van de ‘huidige beleidswaarden’ uit Tabel 29 is:

- Het kabinetsbesluit van de Werkgroep Discontovoet is nog steeds van kracht en niet herroepen sinds 2015.

Totdat het Nederlandse kabinet heeft besloten tot een herijking van de prijspaden uit de Werkgroep Discontovoet, zou ons advies zijn om uit te gaan van beide prijspaden voor CO₂. Mocht er een keuze worden gemaakt dan lijken ons de argumenten voor het tweegradenbeleidsprijsstraject sterker te zijn dan die voor het prijsstraject in het huidige beleid.

Daarnaast zouden de prijzen voor het jaar 2020 moeten worden opgesteld (in prijzen van het jaar 2019). De CO₂-prijs voor het basispad in het jaar 2020 is dan € 67/tCO₂ (prijzen zijn gesteld in het prijspeil van 2015). Dit is inclusief de jaarlijkse ophoging van 3,5% en btw, conform de systematiek uit het Handboek Milieuprijzen. Omgerekend naar het prijspeil van 2019 is dit € 70/tCO₂. Wij stellen voor om dit als weegfactor te gebruiken voor klimaatverandering.

Voor de variant stellen we voor om uit te gaan van € 110/tCO₂ in het jaar 2020. Dit komt overeen met de centrale waarde van € 80/tCO₂ uit Tabel 29, waarbij een jaarlijkse reële prijsstijging van 3,5% plus btw is toegevoegd. Omgerekend naar het prijspeil van 2019 is dit € 116/tCO₂.

B.3 Ozonlaagaantasting - *Ozone depletion*

De ozonlaag is een luchtlaag in de stratosfeer, op een afstand van 15 tot ongeveer 30 km van de aarde, waarin relatief veel ozon (O₃) aanwezig is. Ozon filtert een belangrijk deel van de schadelijke ultraviolette straling (UV) uit het invallende zonlicht en beschermt zo het leven op aarde. In de jaren '80 werd vastgesteld dat de ozonlaag in dikte afnam, waardoor de bescherming tegen UV-straling verminderde. Aantasting van de ozonlaag wordt veroorzaakt door CFC's, HFC's en halomethanen. Dit zijn stoffen die met name gebruikt worden (of werden) als vlamvertragers en koelvloeistoffen.

De huidige schaduwprijs in de MKI (monetaire weegfactor) voor ozonlaagaantasting bedraagt momenteel € 30/kg CFK₁₁-eq. en is gebaseerd op CE Delft (2002) die deze waarde vast heeft gesteld op basis van de verwijderingsbijdrage voor CFK-houdende koelkasten.

¹⁹ Beleid om de opwarming van de aarde te beperken tot 2°C verhoging. Dit is kostbaarder beleid dan het huidige beleid.

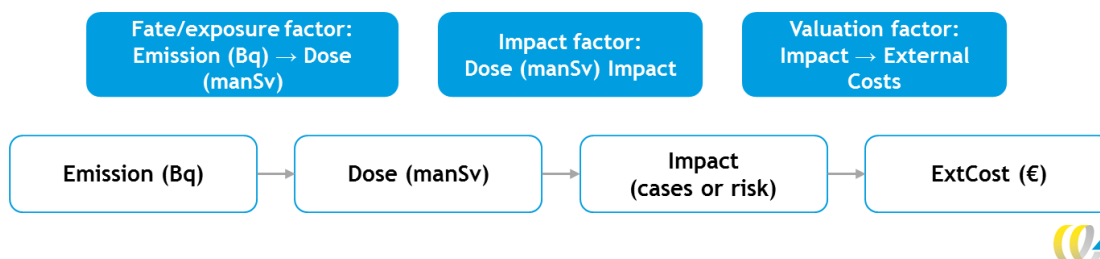
In het Handboek Milieuprijzen bedraagt de waardering voor de schade van ozonlaag-aantasting € 30,40/kg CFK₁₁-eq. voor de centrale waarde. Dit is dus min of meer gelijk aan de oude schaduwprijs. Aangepast aan de inflatie betekent dit dat de weegfactor (prijspeil 2019) gelijk is aan € 32/kg CFK₁₁-eq.

B.4 Straling - *ionizing radiation*

De milieu-indicator ioniserende straling beschrijft de hoeveelheid radioactiviteit die vrijkomt als gevolg van het gebruik van nucleaire brandstoffen. De hoeveelheid ioniserende straling als gevolg van radionuclide emissies wordt gemeten in Becquerel (Bq). Als levend weefsel wordt blootgesteld aan ioniserende straling, kan het DNA-schade lijden, wat leidt tot apoptose of genetische mutatie, wat uiteindelijk kan leiden tot de ontwikkeling van kanker alsmede erfelijke gebreken, doorgegeven aan volgende generaties.

De menselijke blootstelling aan straling in verband met emissies is afhankelijk van het medium waarin de radionuclide is gegenereerd (via water of via lucht). De hoeveelheid ioniserende straling als gevolg van radionuclide-emissies wordt gemeten in Becquerel (Bq), wat het verval van atoomkernen per seconde uitdrukt.

De benadering in het Handboek Milieuprijzen (CE Delft, 2017a) is volledig gebaseerd op (NEEDS, 2008). Hierin is de volgende vereenvoudigde aanpak gekozen om de externe kosten van radionuclidenuitstoot te berekenen.



De blootstellingsfactoren gebruikt in NEEDS zijn berekend met behulp van de methode die is beschreven in UNSCEAR (1993, 2000), waarbij radionuclide-uitstoot (In Bq) betrekking heeft op de 'equivalente dosis straling' op populatieniveau. Deze equivalente dosis wordt uitgedrukt in man-Sievert (manSv), die wordt berekend door de hoeveelheid geabsorbeerde straling te vermenigvuldigen (in J/kg) met een 'kwaliteitsfactor' die afhangt van het type straling (bijvoorbeeld fotonen vs. alfadeeltjes) en een factor waarbij rekening wordt gehouden met het blootgestelde deel van het lichaam en de duur en intensiteit van bestraling. De externe kosten per eenheid emissie wordt berekend door het vermenigvuldigen van de ziektespecifieke waarderingen met het verwachte aantal zieken door de straling, die afhangt van het type straling.

In het Handboek Schaduwrijzen (CE Delft, 2010) is de waarde uit NEEDS voor een aantal stoffen in €₂₀₀₀/kBq herrekend met de karakterisatiefactor voor uranium en een HCIP om de prijs uit te drukken in 2015 euro's per kg uranium. De waardering van deze effecten is gebaseerd op het aantal DALYs per kanker. Dit geeft het aantal verloren levensjaren door voortijdig overlijden ten gevolge van kanker, wat op 13 is gesteld op basis van (Humbert, 2012). Hierbij is een bovenwaarde van VOLY aangenomen van € 110.000 en een onderwaarde van € 55.000.

Voor niet-fatale kankergevallen is er een Cost of Illness (COI) gebruikt van € 480.000 (prijzen 2015). Daarmee komt de milieuprijs voor straling uit op € 0,046/kg kBq U235-eq.²⁰. Omgerekend naar prijspeil 2019 bedraagt de weegfactor € 0,049/kg kBq U235-eq.

De milieuprijs voor straling is normaliter niet relevant, tenzij er specifiek wordt gekeken naar producten waar de nucleaire industrie bij is betrokken, of naar specifieke landen waar veel nucleaire energie in de elektriciteitsmix wordt gebruikt.

B.5 Fijnstofvorming - *Respiratory inorganics*

Fijnstof, ook wel ‘aerosolen’ genoemd, is een mengsel van afzonderlijke deeltjes (vloeibare of vaste) met uiteenlopende samenstellingen en afmetingen. Het geheel aan deeltjes dat in de lucht blijft zweven valt onder de noemer ‘fijnstof’. Deze deeltjes kunnen volgens verschillende criteria opgedeeld worden, waarvan de meest belangrijke zijn (CE Delft, 2017a):

- Oorsprong (antropogeen of natuurlijk). Antropogene emissies zijn emissies veroorzaakt door menselijk handelen, zoals roet bij verbrandingsemissies, terwijl natuurlijke (biogene) emissies door natuurlijke processen worden veroorzaakt, zoals zeezout aan het strand.
- Afkomst (primaire of secundaire). Primaire deeltjes worden rechtstreeks uitgestoten in de atmosfeer door verschillende soorten bronnen. Secundaire deeltjes ontstaan in de atmosfeer door chemische reacties uit gasvormige componenten zoals ammoniak (NH_3), zwaveldioxide (SO_2), stikstofoxiden (NO_x), of organische verbindingen.
- Grootte of diameter, meestal onderscheiden in PM_{10} , $\text{PM}_{2,5}$ en PM_{10} , waarbij het gaat om deeltjes met een diameter kleiner dan respectievelijk 10, 2,5 of 1 μm . De kleine deeltjes zijn veel schadelijker dan de grotere deeltjes.
- Chemische samenstelling (er zijn honderden soorten ‘fijnstof’). Hoewel er aanwijzingen zijn dat de toxiciteit van deze deeltjes niet alleen van de diameter afhangt, maar ook van de chemische componenten, is dit nog steeds niet afdoende bewezen, behalve voor ‘black carbon’, dat schadelijker lijkt te zijn dan andere deeltjes.

De bronnen van antropogeen fijnstof zijn divers. Verbranding van brandstoffen is evenwel een belangrijke bron van fijnstof, waarbij fijne roetdeeltjes en gasvormige componenten (secundaire aerosolen) vrijkomen. Fijnstof dat veroorzaakt wordt door verbrandingsreacties behoort meestal tot de kleinste fracties van fijnstof. Andere bronnen van fijnstof zijn bijvoorbeeld het opwaaien van zand en vrijkomende deeltjes bij mechanische processen, zoals vermalen of vergruizen (graan, beton).

Afhankelijk van hun grootte worden de stofdeeltjes afgezet in de neus-, keel- en mondholte, longen of de longblaasjes. De kleinere deeltjes dringen het diepst door in de longen en zijn daarom schadelijker. Fijnstof verergert COPD en astma en kan hartaandoeningen veroorzaken (ritmestoornissen, ontstekingen) en is daarnaast ook een belangrijke doodsoorzaak in gebieden met slechte luchtkwaliteit.

²⁰ Voor NL ligt de prijs iets hoger, op € 0,047/kg kBq U235-eq. Het kleine verschil zijn afrondingsverschillen in de aanpassingen van Europese prijzen uit het jaar 2000. Omdat de bevolkingsgroei in Nederland iets groter is dan het Europese gemiddelde, is de waardering voor een emissie ten opzichte van het jaar 2000 ook iets hoger geworden.

De WHO heeft uitgebreid onderzoek gedaan naar de schadelijkheid van (diverse componenten van) fijnstof en heeft in 2013 richtlijnen opgesteld hoe die meegenomen dienen te worden in kosten-batenanalyses. CE Delft heeft in het Handboek Milieuprijzen (CE Delft, 2018b) de waardering van fijnstofemissies gebaseerd op de WHO (2013) richtlijnen voor concentratie-response functies.

In het Handboek Milieuprijzen (CE Delft, 2018b) is het milieuthema fijnstof uitgedrukt in PM₁₀-equivalenten. Hierbij is aan de hand van de ReCiPe-karakterisatiefactoren (update 2013, *unspecified*) een gewogen gemiddelde van de schadelijkheid van emissies van fijnstofveroorzakende stoffen bepaald.

In de EN 15804+A2-bepalingsmethode wordt een update gegeven van de karakterisatiefactoren. Deze worden niet langer uitgedrukt in kg PM₁₀-eq., maar in de eenheid 'disease incidence'. De berekening van deze indicator wordt toegelicht in Sala et al., (2020). De indicator gaat daarbij uit van het acceptabele niveau van vervuiling, zoals gedefinieerd in Vargas-Gonzalez et al. (2019) en de DALY impacts zoals gedefinieerd in (Fantke, 2019). Een probleem hierbij is evenwel dat deze methode is gestoeld op de oude (WHO, 2006) concentratie-response functies. In meer recent werk (WHO, 2013) zijn de drempelwaarden in vervuiling verlaagd of weggelaten. Hierdoor is de systematiek van karakterisatie niet in overeenstemming met de uitgangspunten in het Handboek Milieuprijzen en kan de methode ook niet worden gebruikt om direct een waardering voor de schadelijkheid af te leiden.

Wat wel kan, is dezelfde routine volgen in het Handboek Milieuprijzen, waarbij voor alle stoffen die uniek karakteriseren op dit thema (PM_{2.5}, NO_x, SO₂ en NH₃) de waardering per stof door effecten op fijnstofvorming uit het Handboek Milieuprijzen wordt gehaald en deze waardering wordt gewogen met de gemiddelde emissies in Europa. Tabel 30 laat deze rekensom zien. Hierbij worden allereerst de schadekosten van individuele stoffen op het thema 'fijnstofvorming' uit het Handboek Milieuprijzen gehaald. Vervolgens wordt de karakterisatiefactor uit de ILCD-methode weergegeven als (2) en de emissies in Europa van deze stoffen (3). Door nu de milieukosten met de emissies te vermenigvuldigen, verkrijgt men de totale kosten in de EU-28 (deze bedragen € 223 miljard). Ook valt te berekenen dat dit tot bijna 410.000 ziektegevallen leidt (disease incidence). De kosten per disease incidence is dus gelijk aan € 521.585 in het prijspeil van 2015. In het prijspeil van 2019 wordt dit € 549.750.

Tabel 30 - Berekening van de waarde voor de midpointindicator disease incidence/kg in prijzen 2015

	Milieukosten EU-28 (1)*	Karakterisatie- factor (2)**	Emissie in EU-28 (2015) (3)***	Kosten (1)*(3)	Disease (2)*(3)	Gemiddelde (=4/5)
	€/kg	Disease inc/kg	Kg	€ mio	Disease_inc	€ mio/disease_inc
PM _{2.5}	38.74	0.0002385	1.28E+09	49691	305946	
SO ₂	10.68	0.0000080	6.58E+09	70312	52646	
NO _x	8.68^	0.0000016	7.75E+09	67257	12401	
NH ₃	13.20	0.0000210	2.78E+09	36681	58353	
Totaal				223.941	429.347	0.521585

* Deze waarde is afkomstig uit de berekeningen van CE Delft voor het Handboek Milieuprijzen EU-28.

** Bron: "Unspecified" factor uit SimaPro, gebaseerd op Fantke et al., 2016.

*** Eurostat.

^ Deze waarde is exclusief de chronische mortaliteitseffecten van NO_x. De waarde in het Handboek Milieuprijzen (CE Delft, 2018b, p. tab.29), is *inclusief* de chronische mortaliteitseffecten.

Bedacht moet worden dat bij deze rekensom gebruik is gemaakt van een ‘unspecified’ karakterisatiefactor voor fijnstofvorming. Als er in de LCIA gebruik wordt gemaakt van een karakterisatiefactor voor fijnstofvorming gespecificeerd naar bevolkingsdichtheid en schoorsteenhoogte, zou de waardering anders kunnen worden. Gevoeligheidsanalyse laat zien dat de waardering voor fijnstofvorming met een gespecificeerde karakterisatiefactor tot een factor 2 lager kan uitvallen (dit komt omdat men bij ‘unspecified’ uitgaat van het worstcasescenario, wat in feite een emissie op grondniveau is). Een vluchtige inspectie van de aanwezige LCIA's uit Hoofdstuk 3 liet echter zien dat er op dit moment nog geen eenduidige vaststelling is van de manier van karakteriseren op fijnstofvorming voor de diverse materialen. Daarom is de huidige waardering aan te raden op dit moment.

B.6 Smogvorming - *Photochemical ozone formation*

Smogvorming, ook wel fotochemische luchtverontreiniging of fotochemische oxidantvorming genoemd, is de verontreiniging van de lagere luchtlagen (troposfeer) met chemische stoffen zoals ozon (O_3), peroxyacetylnitraat (PAN), stikstofdioxide (NO_2), waterstofperoxide (H_2O_2) en andere stoffen die een oxiderende werking hebben. De oxiderende werking is schadelijk voor mensen, planten en materialen: het heeft een negatieve invloed op de long- en hartfuncties, vermindert de opbrengst van gewassen en verweert sommige materialen zoals verf.

Ozon wordt niet rechtstreeks uitgestoten, maar ontstaat in aanwezigheid van stikstofoxiden (NO_x) en vluchtige organische stoffen (VOS) onder invloed van zonlicht. Ook koolstofmonoxide en methaan spelen een rol in ozonvorming. De smogvormende emissies worden dus onder andere veroorzaakt door verbranding van fossiele brandstoffen.

Het verband tussen de hoeveelheid ozon die wordt gevormd en de aanvankelijk aanwezige concentraties van NO_x en VOS zijn absoluut niet evenredig (VMM, 2013). In dichtbevolkte gebieden zoals België en Nederland, is er relatief meer NO_x aanwezig. Dit betekent dat een reductie van ozon hier vooral door een reductie van NMVOS bewerkstelligd kan worden. In dunbevolkte gebieden in Zuid- of Oost-Europa is dat precies andersom. Op Europese schaal gaan de oude en de nieuwe ReCiPe (Goedkoop, et al., 2009); (Huijbregts, 2017) ervan uit dat de schadelijkheid van NO_x en NMVOC aan ozonvorming gelijk is.

In het Handboek Milieuprijzen is een waardering voor de midpointindicator kg NMVOC-eq. afgeleid aan de hand van een met emissie gewogen impact op EU-28-niveau.²¹ De methodiek daarvoor komt overeen met de methode voor fijnstofvorming (zie Paragraaf B.5). Nadere bestudering leert dat de milieukundige informatie waarmee deze prijs is afgeleid precies dezelfde is als in de EN 15804+A2 gebruikt. Daarom kan de prijs van €₂₀₁₅1,15/kg NMVOC voor dit midpoint direct worden toegepast in de nieuwe berekening. Na correctie voor inflatie betekent dit dat de weegfactor uitkomt op € 1,22/kg NMVOC in het prijspeil van 2019.

Bedacht moet worden dat chronische mortaliteitseffecten van NO_x , zoals beschreven in WHO (2013) niet worden meegenomen bij de bepaling van de externe kosten van smogvorming. De reden is dat het karakterisatiemodel dat gebruikt is in de PEF-methodiek van voor 2013 is, toen deze effecten niet werden meegenomen. Daarom is dit effect niet meegenomen bij de bepaling van de weegfactor.²²

²¹ De methode van emissiegewogen impact is uitgelegd in Paragraaf 3.5 over fijnstofvorming.

²² Indien men de weegfactoren wil gebruiken als ‘externe kosten’, zou men ervoor kunnen kiezen om aanvullend hierop een extra kostenpost mee te nemen voor NO_x -emissies alleen, van € 3,49 per kg NO_x .

B.7 Humane toxiciteit - *Human health effects (cancer and non-cancer)*

Humane toxiciteit betreft stoffen die tot gezondheidsschade kunnen leiden bij de mens en die primair toxisch van aard zijn. Het gaat hierbij om zware metalen, gechloreerde koolwaterstoffen, dioxine, pesticiden en biociden en verbindingen uit de chemische industrie.

Voor milieueffecten op menselijke gezondheid wordt onderscheid gemaakt tussen kanker-verwekkende stoffen en andere effecten. Voorheen werden deze impacts in ReCiPe gekwantificeerd via DALY (disability adjusted life years). In de EP-methodiek is, analoog aan de International Reference Life Cycle Data System (EC ; JRC ; IES, 2010), CTUh als karakterisatiefactor genomen. CTUh staat voor 'comparative toxic units for human' en geeft de geschatte toename in morbiditeit aan in aantal cases per kg stof. Hierbij wordt evenveel gewicht toegekend aan kanker en niet-kanker, wegens gebrek aan preciezer inzicht op dit punt (Rosenbaum, 2008).

Wat betreft kankergevallen, zijn er twee typen kosten verbonden aan een CTUh:

- a Kosten van ziekte, Cost of Illness (COI), onderverdeeld in:
 - kosten gezondheidszorg;
 - verlies van productiviteit bij patiënt en familie;
 - menselijk lijden en pijn tijdens ziekteproces.²³
- b Lagere levensverwachting voor de patiënt.

Voor de COI gaan we, overeenkomstig (CE Delft, 2017a), uit van een verlies van € 480.000 per kankergeval. De levensverwachting neemt af met 8 jaar per CTUh in Europa. Dit is het verlies in Years of Life Lost (YOLL), bepaald volgens de meest aangehaalde methodiek van (Huijbregts & Rombouts, 2005), maar dan met recentere data (GHDx, 2017). De monetaire waarde die samenhangt met een verlies van een levensjaar in EU-28 is € 70.000 (CE Delft, 2018b). Voor kankerverwekkende stoffen komt de totale waardering daarmee uit op $480.000 + (8 * 70.000) = 1.040.000$ €/CTUh. Omgerekend naar prijspeil 2019 is dit 1.096.368 €/CTUh.

Voor niet-kankergevallen is de inschatting een verlies van 2,0 DALY per CTUh, waarbij de impact op ziekteperiode (Years of Life Disabled, YLD) en, indien van toepassing, verloren levensjaren (YOLL) zijn opgeteld. Hiermee komt de waardering voor niet-kankerverwekkende stoffen uit op $2 * 70.000 = 140.000$ €/CTUh.²⁴ In prijspeil 2019 is dit 147.588 €/CTUh.

B.8 Verzuring - *Acidification*

Verzuring treedt op als een stof H^+ -ionen afgeeft aan de omgeving. Gevolgen van verzuring op land zijn sterfte van bossen (kale bomen door 'zure regen'), verminderde plantengroei, afname van bodemleven (schimmels, regenwormen) en vogelsterfte door afname van kalk in de eierschalen en botten van jonge vogels. Verzuring van zoet water leidt tot biodiversiteitsverlies: vissterfte en sterfte van andere waterfauna. Verzurende stoffen hebben lange

²³ Hierbij wordt vaak gesproken over een 'cancer premium': er zou een hogere betalingsbereidheid kunnen zijn om overlijden door kanker te vermijden ten opzichte van overlijden door andere oorzaken. De literatuur over dit onderwerp laat een gemengd beeld zien. Toch lijkt er de laatste jaren voor gekozen te worden geen premium te hanteren (zie bijvoorbeeld (OVAM, 2017; Pacyna, 2016)).

²⁴ In Rosenbaum (2008), OVAM (2017) en Trinomics (2020 forthcoming) wordt uitgegaan van een verlies van 11,5 DALY per CTUh voor kankergevallen en 2,7 DALY voor niet-kankergevallen (Fantke & Bijster, 2018) overeenkomstig (Huijbregts & Rombouts, 2005). Dit is het verlies in levensverwachting (YOLL) en ziekteperiode (Years of Life Disabled, YLD) samen. Hieraan ten grondslag ligt Global Burden of Disease data uit 1990 (Murray & Lopez, 1996). Gekeken is naar wereldwijde effecten.

verblijftijden in de atmosfeer en kunnen daardoor over lange afstanden getransporteerd worden.

In de Product Environmental Footprinting methode worden vijf stoffen geïdentificeerd die verzurende werking hebben op de bodem en zoet water, wanneer zij zijn uitgestoten in de lucht en neerslaan op land of water (Fazio, et al., 2018). Hun verzurende werking, uitgedrukt in mol H⁺-equivalenten is weergegeven in Tabel 31.

Tabel 31 - Verzurende stoffen en hun karakterisatiefactor per mol H⁺-equivalent

Stof	Karakterisatiefactor in de EF-methode, naar (Posch, et al., 2008) Mol H ⁺ -equivalent
Zwavedioxide (SO ₂)	1,31
Zwaveltrioxide (SO ₃)	1,05
Stikstofdioxide (NO ₂)	0,74
Stikstofoxide (NO)	1,13
Ammoniak (NH ₃)	3,02

Van SO₂, NO_x en NH₃ zijn schadeprijzen bekend. Deze gebruiken we als basis om de milieuprijs te berekenen. De stikstofhoudende stoffen (NO_x en NH₃) leiden ook tot vermisting. In het Handboek Milieuprijzen is de waardering voor beide effecten gelijk, omdat de effecten van verzuring en vermisting in de onderliggende systematiek van (NEEDS, 2008) niet valt te onderscheiden. Voor de berekening moeten we evenwel een toedeling maken. We gaan hierbij uit van een veronderstelling dat bij de vaststelling van de schade van deze stikstofhoudende stoffen 25% onder het thema 'verzuring' valt en 75% onder het thema 'vermisting'. De precieze toedeling maakt in de praktijk niets uit: zolang zowel het thema 'verzuring' als 'vermisting' wordt meegenomen in de LCA, is de totale schadelijkheid van de emissies correct vertegenwoordigd. Alleen als men één van de thema's niet meeneemt, ontstaat er een miscalculatie.

De totale effecten kunnen worden berekend door Tabel 32, die op eenzelfde wijze als bij fijnstofvorming is vormgegeven. Door de totale kosten van de emissie in de EU-28 te delen door de totale zure depositie in Mol H⁺, verkrijgt men een waardering voor de karakterisatiefactor Mol H⁺. Deze bedraagt de € 0,37/Mol H⁺. In het prijspeil van 2019 wordt dit nog € 0,02 hoger. Daarmee komt de waarde voor verzuring uit op € 0,39/Mol H⁺.

Tabel 32 - Verzurende stoffen en hun karakterisatiefactor per mol H⁺-equivalent

	Milieukosten EU-28 (1)*	Karakterisatie- factor (2)**	Emissie in EU-28 (2015) (3)***	Kosten (1)*(3)	Depositie Mol H ⁺ (2)*(3)	Gemiddelde (=4/5)
	€/kg	Mol H ⁺ /kg	Kg	€ mio	1.000t	€/Mol H ⁺
SO ₂	0,16	1,31	2,78E+09	455	3.640	
NO _x	0,39	0,74	7,75E+09	3.058	5.736	
NH ₃	1,09	3,02	4,01E+09	4.355	12.106	
Totaal				7.869	21.482	0,37

* Deze waarde is afkomstig uit de berekeningen van CE Delft voor het Handboek Milieuprijzen EU-28.

** Bron: JRC, 2018.

*** Eurostat.

B.9 Vermesting - *Eutrophication*

Vermesting ontstaat door verontreiniging van de lucht met de stoffen ammoniak en stikstofoxiden. Momenteel is vermisting een onderwerp van debat in Nederland: het stikstofdebat. Landbouw, verkeer en de industrie zijn de belangrijkste bronnen van vermestende stoffen.

EF onderscheidt drie varianten die afzonderlijk worden berekend:

- vermesting van zoet water (kg P-eq.);
- vermesting van zeewater (kg N-eq.);
- vermesting op land (mol N-eq.).

Om weging te kunnen uitvoeren, is voor deze drie varianten een afzonderlijke milieuprijs benodigd.

Zoet en zout water

De huidige milieuprijs (monetaire weegfactor) voor vermesting van water is € 9/kg PO₄-eq. (fosfaat). Deze waarde was gebaseerd op CE Delft (2002), die deze waarde berekend had aan de hand van de toen geldende waterzuiveringsheffingen.

In het Handboek Milieuprijzen (2017a) zijn er twee afzonderlijke waarden voor vermesting berekend, voor zoet water en zout water. Voor vermesting van zoet water zijn de effecten op biodiversiteit berekend aan de hand van Goedkoop et al. (2013) en gewaardeerd met een aangepaste berekening uit Kuik et al., (2008). De karakterisatiefactor is hier P-totaal. Voor vermesting van zout water is gebruikgemaakt van de waterzuiveringsheffing, herberekend naar N-totaal.

De resulterende waarden zijn (in prijspeil 2019):

- vermesting van zoet water: € 3,28/kg N (EU-28);
- vermesting van zout water: € 1,96/kg P-eq. (EU-28).

Deze waarden zijn lager dan de huidige weegfactor in de MKI, vooral voor fosfor. Dit komt omdat de waarde op basis van preventiekosten in 2002 nog een stuk hoger lag dan nu.

Land

Voor vermesting op land is er in het Handboek Milieuprijzen geen directe milieuprijs bepaald, maar is deze samengevoegd met verzuring. Dit komt enerzijds doordat effecten op land twee tegengestelde effecten geven. Allereerst is er het feit dat vermesting van land de biodiversiteit aantast. In veel Nederlandse natuurgebieden zie je tegenwoordig een overdaad aan brandnetels en bramen: planten die gedijen bij een hoog niveau van nitraat in de bodem. Dit leidt tot aantasting van de biodiversiteit en daarom tot schade aan de Nederlandse natuur. Aan de andere kant kennen vermestende emissies ook opbrengsten, in de vorm van hogere gewasopbrengsten. Dit leidt tot een uitsparing van de kosten aan kunstmest. Een tweede complicerende factor is dat de stoffen die vermesting veroorzaken (NH₃ en NO_x) ook een effect hebben op verzuring. In het Handboek Milieuprijzen is daarom besloten om beide effecten samen te nemen en de waardering op te nemen onder het thema verzuring. De milieuprijs die daar is berekend, geeft dus ook de effecten op vermesting weer.

Voor NO_x en NH₃ gingen we er bij verzuring van uit dat 25% van de totale schade van die stoffen op de biodiversiteit voor rekening van verzuring komt. Daarom moet er bij de eutrofiering op land van uit worden gegaan dat 75% van de schadelijke effecten wordt

veroorzaakt door het thema ‘vermesting’. De bijbehorende milieuprijs wordt op identieke wijze bepaald als bij de thema’s fijnstofvorming en verzuring. Tabel 33 toont de berekening.

Tabel 33 - Vermestende stoffen en hun karakterisatiefactor per mol N-equivalent

	Milieukosten EU-28 (1)*	Karakterisatie- factor (2)**	Emissie in EU-28 (2015) (3)***	Kosten (1)*(3)	Mol N (2)*(3)	Gemiddelde (=4/5)
	€/kg	Mol N/kg	Kg	€ mio	1.000t	€/Mol N
NO _x	€ 1,58	4,26	7,75E+09	12.233	33.018	
NH ₃	€ 4,35	13,47	4,01E+09	17.422	53.995	
Totaal	€ 0,34			29.654	87.014	0,34

* Deze waarde is afkomstig uit de berekeningen van CE Delft voor het Handboek Milieuprijzen EU-28.

** Bron: JRC, 2018.

*** Eurostat.

Door de totale kosten van de emissie in de EU-28 te delen door de totale vermestende depositie in Mol N, verkrijgt men een waardering voor de karakterisatiefactor Mol N. Deze bedraagt de € 0,34/Mol N. In het prijspeil van 2019 wordt dit nog € 0,02 hoger, te weten € 0,36/Mol N.

B.10 Ecotoxiciteit, zoet water - *Ecotoxicity, freshwater*

Ecotoxiciteit geeft de impact weer van toxische stoffen op aquatische milieus en de ecosystemen die hiermee samenhangen. De belangrijkste toxische stoffen zijn de zware metalen koper, nikkel en zink.

Voorheen werd de impact uitgedrukt in termen van ‘Potentially disappeared fraction’ biodiversiteit per m³ per jaar per kg stof (PDFm³/year/kg) met de stof dichlorobenzene (1,4 DB-eq.) als referentie. Nu wordt gekeken naar de Comparative Toxic Units for ecosystems (CTUe). Deze geeft een inschatting van ‘Potentially Affected Fraction’ (PAFm³/day/kg).

De monetaire waardering van een CTUe hebben we als volgt bepaald:

- Berekening van de gewogen gemiddelde impact op basis van ReCiPe (2008) door de milieu-impact van ruim 30 individuele stoffen²⁵ op dit thema te vermenigvuldigen met hun emissies (in 2015)²⁶ en de bijbehorende EU-28-milieuprijs van € 0,0361/1,4 DB-eq.
- Berekening van de gewogen impact in termen van totale CTUe op basis van diezelfde individuele stoffen.
- Delen van (a) door (b), zodat een impliciete milieuprijs in termen van €/CTUe resulteert. Uitkomst is een monetaire waarde van € 0,000123/CTUe (prijspeil 2015). In prijspeil 2019 is dit € 0,00013/CTUe.

²⁵ Onder andere benzeen, formaldehyde, naftaleen, pyreen, trichlooretheen, fluoreen en zware metalen zoals nikkel, lood, barium en chroom.

²⁶ Dit zijn Nederlandse emissies, want voor EU-28 zijn deze gegevens niet beschikbaar.

B.11 Landgebruik - *Land use*

Landgebruik geeft de impact weer door gebruik van diverse soorten landoppervlakte ('occupation') en veranderingen in landgebruik ('transformation') als gevolg van landbouw, wegnnet, bebouwing, etc. Hierbij zijn vier indicatoren²⁷ samengevoegd tot één Soil Quality Index (Pt per m² per jaar) (Fraunhofer, 2016).

Directe waardering van deze index is moeilijk omdat interpretatie van het aantal punten lastig is; normalisatie is een complex proces, zie (De Laurentiis, 2019). (Trinomics, 2020 forthcoming) heeft, in overleg met JRC en op basis van (Cao & Margni, 2015), een eerste inschatting gemaakt voor de waardering van Pt landgebruik ('occupation') door de onderliggende impacts te waarderen. De prijs is € 0.000175/Pt (centrale waarde, prijspeil 2018). Voor veranderingen in landgebruik is nog geen waardering beschikbaar.

Complicerende factor bij het waarderen van de onderliggende vier impactfactoren is dat ze elkaar mogelijk onderling beïnvloeden en bovendien niet altijd leiden tot externe kosten omdat ze (deels) geïnternaliseerd zijn in marktprijzen. Bijvoorbeeld bij productie van land is de waarde van alternatieve aanwending van grond deels meegenomen in de marktprijs (bijv. graanproductie): de generatie van biodiversiteit is daarentegen wel extra en verlies daarvan leidt tot externe kosten.

Een andere mogelijkheid om tot een weegfactor te komen is het afleiden van een impliciete waardering door voor een aantal veelvoorkomende bouwmaterialen de 'wisselkoers' te bepalen tussen hun fysieke impact op landgebruik in termen van species_yr (waarvoor we ook een milieuprijs hebben) en de fysieke impact in termen van Soil Quality Index. Hiermee kunnen we de milieuprijs omrekenen naar €/Pt/m²*jaar. Nadelen van deze methode zijn echter dat:

- De 'wisselkoers' afhankelijk is van de bouwmaterialen die je doorrekenen. Als we andere materialen nemen, kan de 'wisselkoers' veranderen.
- Inzicht in de productieketens ontbreekt om de omvang van het gebruik van de betreffende bouwmaterialen in Nederland in te schatten. Dit is nodig om de impacts te wegen, anders telt een m² asfalt en een PVC-buis telt even zwaar mee in het bepalen van de waardering, terwijl de een meer toegepast zal worden dan de ander²⁸.

Gegeven bovenstaande, is ons advies om landgebruik wel mee te nemen met de op dit moment beschikbare waardering, wetende dat deze wel omgeven is door onzekerheid en in de toekomst aangepast zou kunnen worden op basis van nieuwe inzichten. Dit betekent dat we een waarde meenemen van € 0.000178/Pt (prijspeil 2019).

B.12 Waterschaarste - *Water scarcity*

Waterschaarste wordt uitgedrukt in termen van 'deprivation-weighted water consumption' (m³ water equivalents). Voor de waardering sluiten we aan bij (Trinomics, 2020 forthcoming): € 0,00499/m³ water-eq. (centrale waarde, prijspeil 2018). In prijspeil 2019 is dit € 0,00506/m³ water-eq.

²⁷ Te weten: effect op het gebied van erosieweerstand (kg soil), mechanische filtratie (m³ water), regeneratie van grondwater (m³ grondwater) en biotische productie (kg).

²⁸ Om dit te voorkomen, wordt bij ecotoxiciteit gewogen met aantal emissies.

In tegenstelling tot de waarden gerapporteerd in (OVAM, 2017) voor verschillende geografische locaties, hoeft de huidige waardering niet aangepast te worden naar herkomst van het water (landen/regio's), omdat dit wordt meegenomen via de impact assessment zelf (karakterisatie).

B.13 Grondstofverbruik - *Resource use*

Het verbruik van grondstoffen draagt bij aan het ontstaan van schaarste. De EF-methode onderscheidt twee varianten die afzonderlijk worden berekend:

- verbruik van energiedragers (MJ);
- verbruik van mineralen en metalen (kg Sb-eq.).

Om weging te kunnen uitvoeren, is voor beide een milieuprijs benodigd.

Mineralen en metalen

Voorzieningszekerheid van grondstoffen wordt over het algemeen gezien als een belangrijke maatschappelijke waarde. De vraag die in het Handboek Milieuprijzen werd gesteld, is of grondstofuitputting, naast mogelijke milieuschade die reeds in een LCA verwerkt is, ook nog additioneel tot welvaartskosten kan leiden. Schaarste is immers een normaal economisch fenomeen en het feit dat een goed schaars is, is juist een economisch teken dat aan het goed een waarde wordt toegekend. Niet-schaarse goederen kennen geen prijs.

Besparingen op energie en grondstoffen kennen baten voor bedrijven of consumenten die deze besparingen doorvoeren. De vraag in het Handboek is of er daarnaast nog additionele maatschappelijke baten zijn te identificeren. In het Handboek worden verschillende routes onderzocht. De conclusie is dat er externe baten aan grondstofbesparing verbonden kunnen zijn (anders dan milieubaten), maar dat deze niet konden worden gekwantificeerd middels betalingsbereidheid of economische schade.

Tekstbox 5 - Externe baten van grondstofbesparing

Het idee van externe baten is dat door op het gebruik van grondstoffen (inclusief water en energie) te besparen, er een totale maatschappelijke besparing ontstaat die groter is dan de prijs van bespaarde grondstoffen.

Dat kan, vanuit de economische theorie, onder één van de volgende condities het geval zijn (CE Delft, 2017b):

1. Er is geen efficiënte marktwerking in grondstoffenmarkten en *rent-seeking behaviour* leidt ertoe dat abiotische grondstoffen te snel worden uitgeput.
2. Leveringszekerheid: er kunnen externe kosten verbonden zijn aan leveringszekerheid door de schokken die abrupte levering van grondstoffen in de economie veroorzaken.
3. Milieuvervuiling bij winning: hier kunnen externe kosten aan verbonden zijn, die niet in de prijs van de grondstof terechtkomen.
4. Voorzorgprincipes of rentmeesterschap kunnen tot gevolg hebben dat burgers een betalingsbereidheid tonen voor het besparen van grondstoffen en natuurlijke hulpbronnen boven op de marktwaaarde van de bespaarde grondstoffen, omdat zij het idee hebben dat toekomstige generaties daarmee beter af zijn en hun keuzemogelijkheden tussen natuurlijk en economisch kapitaal onaangetast blijven.

Niet onderzocht in het Handboek Milieuprijzen is de mogelijkheid om de waardering voor grondstofuitputting te baseren op preventiekosten – de marginale kosten van beleid om grondstoffen te besparen. Deze route is onder meer in CE Delft (2002) en TNO (2004) wel onderzocht, al leidde dit niet tot een waarde in deze studie. Voor een herijking hebben we

aanvullend onderzoek gedaan naar de mogelijkheid om een milieuprijs voor grondstoffen af te leiden van het huidige beleid, door middel van preventiekosten.

In de preventiekostenmethodiek wordt gekeken naar de kosten van de duurste maatregel om kwantitatieve beleidsdoelstellingen te halen. Zoals aangegeven in Paragraaf 2.2, leidt de preventiekostenmethodiek slechts in uitzonderlijke gevallen tot de juiste waardering voor de maatschappelijke schade – namelijk als de overheid het beleid precies afstemt op de maatschappelijke preferenties van de burgers. In andere gevallen moet de preventiekostenbenadering worden gezien als een proxy voor de schadekosten. Dit laatste geval onderzoeken we in deze studie, waarbij we kijken of de preventiekostenmethodiek kan leiden tot een proxy voor de uitputting van grondstoffen.

De methodiek bestaat uit drie stappen:

1. Identificatie van de duurste maatregel in het Nederlandse beleidsdomein om grondstoffen te besparen. Het moet hierbij gaan om maatregelen om aan kwantitatieve beleidsdoelstellingen te voldoen.²⁹
2. Berekeningen via LCA hoeveel grondstoffen er worden bespaard met het extra recyclen van plasticafval ten opzichte van het nieuw maken van dit plastic.
3. Toedeling en bepaling, waarbij de kosten die moeten worden gemaakt om plastic grondstoffen uit te sparen, worden toegedeeld aan het thema grondstofuitputting.

Hierna worden de resultaten van elke stap op hoofdlijnen gepresenteerd. Argumentatie en uitgebreidere analyse is te vinden in Bijlage A.

Zoals in Bijlage A beredeneerd, vormt het recyclen van plastic huishoudelijk afval vermoedelijk de duurste maatregel waarvoor een kwantitatieve doelstelling is afgesproken binnen het Nederlandse grondstoffen- en afvalbeleid. De additionele kosten van het recyclen van een kg extra plastic bestaan uit inzamelingskosten, verwerkingskosten minus de opbrengsten van het eindmateriaal.

De additionele kosten ten opzichte van het inzamelen en verbranden van afval (de gangbare route) liggen (vermoedelijk) tussen de € 225-€ 500/kg plastic, met als middenwaarde € 350/kg plastic.

Zoals in Bijlage A wordt geredeneerd, zijn dit niet de kosten voor het beleid voor grondstofuitputting, omdat het beleid rondom circulaire economie een bredere doelstelling kent dan uitputting alleen.

De baten op de andere terreinen zijn gekwantificeerd met de Bepalingsmethode Milieuprestatie Bouwwerken en de nieuwe milieuprijzen. Deze laten zien dat de bespaarde milieuwinst op andere terreinen ruim € 340/kg gerecycled plastic bedraagt.

Gerecycled plastic kan worden gebruikt voor diverse toepassingen, waardoor ruwe grondstoffen worden uitgespaard. Het gaat hierbij om een combinatie van hoogwaardige (bijvoorbeeld PET) en laagwaardige toepassingen (bijvoorbeeld bermoplaatsjes). In Bijlage A is aan de hand van een levenscyclusanalyse bepaald hoeveel grondstoffen er worden uitgespaard. Het gaat hierbij om een nettoberekening, waarbij de bespaarde grondstoffen zijn bepaald door te kijken naar de inzet van grondstoffen bij het produceren van primaire materialen en daar de grondstoffen die gebruikt worden voor recycling vanaf te trekken. Het blijkt hierbij, bijvoorbeeld, dat het recyclen van 1 kg plastic netto 0,56 kg aardolie

²⁹ Preventiekosten kunnen alleen goed worden bepaald bij kwantitatieve beleidsdoelstellingen. Kwalitatieve beleidsdoelstellingen (zoals 'beter beheer schaarse grondstoffen') kunnen niet in concrete technische en organisatorische maatregelen worden vertaald en voor het bepalen van de kosten zijn dergelijke concrete maatregelen nodig.

bespaart. Alle bespaarde grondstoffen zijn vervolgens vertaald in kg antimoonequivalenten aan de hand van de CML-karakterisatiefactoren. Het blijkt dat 1 kg plastic recycelen ruim 21 gram antimoonequivalenten uitspaart.

Door de nettokosten te delen door de bespaarde antimoonequivalenten volgt een finale prijs voor het thema 'grondstofuitputting'. Deze is sterk afhankelijk van de uiteindelijke kosten van de marginale maatregel van het plastic recycelen. Als deze € 350/ton plastic bedraagt, is de milieuprijs voor grondstofuitputting gelijk aan, afgerond, € 0,30/kg Sb-eq. Wij stellen voor om deze waarde te gebruiken bij de aanpassing van de waardering voor grondstofuitputting.

Energiedragers

Zoals in vorige sectie werd toegelicht, bespaart kunststofrecycling ruwe grondstoffen. Daaronder vallen ook energiedragende ruwe grondstoffen, zoals aardolie, aardgas, steenkool en uranium.

We hebben berekend hoeveel energie er feitelijk wordt bespaard door de verwerking van brongescheiden huishoudelijke kunststofverpakkingen aan de hand van Ecoinvent 3 met de EF-methode. Uitgaande van de € 350/t kunststof recyclingpercentage (zie ook Bijlage C), komen we tot een reductie op energiedragers over de gehele keten van 42,7 MJ voor recycling van 1 t plastic. Tegelijkertijd bespaart een ton plastic 0,068 kg antimoon-equivalenten voor metalen en mineralen en levert een bijdrage van € 630/t plastic op aan vermeden milieukosten, waarbij alle milieu-impacts gewogen zijn met de Nederlandse milieuprijzen uit het Handboek Milieuprijzen. Hieruit volgt dat recycling waarschijnlijk meer oplevert dan dat het maatschappelijk kost. Als we er, arbitrair, van uitgaan dat de helft van de opbrengsten aan vermeden milieukosten zou toevallen aan de recycling-doelstelling, blijft een netto-batenpost over van recycling van € 35/t plastic. Als we dit omrekenen naar antimoonequivalenten, komen we uiteindelijk uit op een milieuprijs van € 0,000330 per vermeden MJ.

C Uitputting van grondstoffen

C.1 Methodiek

De methodiek bestaat uit het bepalen van de preventiekosten van de beleidsdoelstellingen en deze te relateren aan de midpoint-equivalentiefactor: antimoon. We bepalen eerst de beleidscontext, waarbij we vooral kijken naar de recyclingdoelstellingen (Paragraaf C.2). Vervolgens bepalen we de kosten om aan deze doelstellingen te voldoen (Paragraaf C.3). Dan kijken we naar de besparingen over de keten heen, die gerealiseerd worden met deze doelstellingen (Paragraaf C.4) en bediscussiëren we of alle kosten aan het thema 'uitputting' moeten worden toegerekend, of dat er een toedeling moet worden gemaakt (Paragraaf C.5). De resultaten van de berekeningen zijn te vinden in Hoofdstuk 3. Deze bijlage is bedoeld om achtergronden bij de berekeningen toe te lichten.

C.2 Recyclingdoelstellingen

Volgens de visie van de rijksoverheid, officieel geuit in het **Rijksbrede programma Circulaire Economie**, zou het gebruik van grondstoffen in 2050 geen schadelijke effecten moeten hebben op het milieu. Om deze visie te halen, zou Nederland in 2050 een 100% circulaire economie moeten hebben. Dit zou onder andere gerealiseerd kunnen worden door grondstoffen efficiënt in te zetten en door hergebruik.

Een tussenstap om het doel in 2050 te realiseren, is om samen met maatschappelijke partners in 2030 een tussendoelstelling te realiseren van 50% minder gebruik van primaire grondstoffen (mineraal, fossiel en metalen). Dit zal door middel van drie strategische doelen behaald worden: grondstoffen in ketens hoogwaardig benutten; nieuwe grondstoffen duurzaam produceren of uit hernieuwbare of algemeen beschikbare bronnen halen; en nieuwe productiemethodes bedenken om milieuvriendelijke ketens te ontwerpen.

Voor de volgende prioriteiten is er een veranderbeleid opgericht: biomassa en voedsel, kunststoffen, maakindustrie, bouw, en consumptiegoederen, alhoewel dit beleid zich niet vertaalt in concrete doelen (bijvoorbeeld reductie gebruik van materiaal x met y % in 2030). Voor recycling zijn wel concrete kwantificeerbare doelstellingen beschikbaar.

Een belangrijk onderdeel van de ambitie om tot een circulaire economie te komen, is de Raamovereenkomst Verpakkingen 2013-2022, waar afspraken zijn gemaakt over recyclingdoelstellingen en rolverdeling. De recycledoelstellingen zijn oplopend: kunststof verpakkingen hadden bijvoorbeeld een recyclingtarget van 43% in 2013, terwijl dat in 2022 52% zal zijn. Zoals in Tabel 34 te zien, waren de meeste recyclingdoelstellingen voor 2022 reeds in 2015 behaald. Alleen voor glas- en kunststofverpakkingen moeten nog additionele inspanningen worden geleverd om de doelstellingen in 2022 te halen.³⁰

³⁰ Het achterliggende kabinetsdoel voor een hoger recyclingpercentage is om het huishoudelijk restafval naar 100 kg per inwoner in 2020 te brengen (Rijksoverheid, 2017). In 2014 was dit 222 kg, terwijl het in 2013 232 kg was, een lichte daling dus (NVRD, 2016). In vijf jaar tijd moet het huishoudelijk restafval per inwoner meer dan gehalveerd worden.

Tabel 34 - EU- en Nederlandse doelstellingen in 2015 voor verschillende verpakkingen en recycling-percentages

Verpakking	Doelstelling EU 2025	Doelstelling EU 2030	Doelstelling NL 2015	Doelstelling NL 2022	Recycling % 2015	Vershil recycling 2015 met NL-doelstelling 2022 (%-punt)
Glas	75%	85%	90%	90%	83%	-7
Papier en karton	75%	85%	75%	75%	85%	10
Kunststof	55%		45%	52%	51%	-1
Metaal	75%	85%	85%	85%	95%	10
Hout	60%	75%	31%	45%	45%	0
Totaal recycling NL	60%	75%	70%	70%	72%	2

Bron: NEDVANG (2017), AFV (2016), (Rijksoverheid, 2017).

Daarom zijn alleen de kosten voor glas- en plasticinzameling relevant voor het bepalen van de preventiekosten.

C.3 Kosten van inzameling en verwerking van afval

In het rapport 'Benchmark Huishoudelijk Afval' van de NVRD en Rijkswaterstaat zijn er kosten geschat voor de inzameling en verwerking van diverse stromen afval. Deze kosten worden voor 2016 weergegeven in Tabel 35.

Tabel 35 - Inzamelings- en verwerkingskosten voor verschillende typen afval per ton in prijzen 2016

Afvalsoort	Kosten per ton € (2016)
Restafval algemeen (verbranding)	€ 166
Kunststofverpakkingen (recycling)	€ 391
Glasverpakkingen (recycling)	€ 58

Bron: (NVRD, 2016), cijfers 2014 aangepast aan inflatie.

Hieruit blijkt dat recycling van kunststofverpakkingen het duurste is, en daarom in aanmerking komt als duurste maatregel in de preventiekostenmethodiek. Er is echter veel onzekerheid over de daadwerkelijke kosten van het recyclen van plastic afval. De Benchmark van de NVRD (2016) voor 2014 raamt de totale inzamel- en verwerkingskosten (inclusief op- en overslag) op € 391 per ton (€ 2016). Dit bedrag is echter lager dan de vergoedingen die gemeenten ontvangen voor de kosten van gescheiden inzameling. Deze bedroeg € 817 per ton in 2015 en daalt geleidelijk naar € 656 per ton in 2019. Alhoewel het gaat om een vergoeding, geven deze bedragen mogelijk wel een indicatie van de kosten van kunststofinzameling en worden als zodanig ook gebruikt in de wetenschappelijke literatuur. Gradus et al. (2016) hanteren bijvoorbeeld een bedrag van € 670 per ton als de kosten van verzameling en verwerking van plasticafval.³¹

³¹ Daarnaast worden er op dit moment een aantal onderzoeken uitgevoerd naar kosten van plasticafvalscheiding, omdat dit politiek en maatschappelijk in de belangstelling staat. Hoewel deze onderzoeken nog niet openbaar zijn, en ook niet geciteerd mogen worden, komen de resultaten van deze studies overeen met de range die tussen de studie uit de (NVRD, 2016) en de studie van (Gradus, et al., 2016) liggen.

De kosten van additionele recycling van kunststofafval dienen te worden afgetrokken van de bespaarde kosten op restafval. Gebruikmakend van de range die tussen NVRD (2016) en Gradus et al. (2016) ligt, zou dit uitkomen € 225 tot € 500 per ton. Dit zijn de preventie-kosten van het extra recyclen van afval. We werken in deze studie met € 225 als ondergrens, € 350 als gemiddelde en € 500 als bovengrens.

We merken hierbij op dat lopend onderzoek aan de ene kant waarschijnlijk gaat opleveren dat deze bovengrens meer aannemelijk is dan de ondergrens. Aan de andere kant is het zo dat het huidige systeem van bronscheiding waarschijnlijk duurder is dan een systeem van nascheiding (KplusV, 2017). Daarom nemen we in deze studie de midden- en bovenwaarde als uitgangspunten voor de berekeningen.

C.4 Bespaard grondstofverbruik

We hebben bepaald hoeveel ruwe grondstoffen worden bespaard door het recyclen van kunststofverpakkingen uit huishoudens. De recyclingroutes van kunststofverpakkingen uit huishoudens is door CE Delft onderzocht in (VA, 2011) en (KIDV, 2017) (update).

Op basis van de laatste inzichten wordt per ton ingezameld kunststofverpakkingsafval via bronscheiding 0,78 ton recycalaat geproduceerd. Dit recycalaat vermijdt virgin kunststof (door productie van monostroomrecyclaten (PP, PE, PET) en materialen als beton, hout en staal (door productie van mixed kunststofproducten, zoals bermpaaltjes). Het deel dat uitvalt bij sortering en verwerking, wordt verbrand, waarbij elektriciteit en warmte wordt opgewekt. Deze opgewekte energie vermijdt de opwekking van conventionele elektriciteit (gemiddelde NL-mix) en warmte (aardgas).

In het LCA-programma SimaPro hebben wij het model van de recycling van kunststofverpakkingen beschikbaar. Daarmee hebben we de totale hoeveelheid vermeden ruwe grondstoffen – inclusief energiedragers – bepaald. Uiteraard kosten de recyclestappen en het benodigde transport ook energie. Dit is inbegrepen in het model.

Om 1 kg recycalaat te produceren, is $1/0,78 = 1,28$ kg ingezameld kunststof nodig. De daardoor uitgespaarde ruwe grondstoffen en energiedragers zijn bepaald met SimaPro (inventaris).

Niet verbazingwekkend is dat vooral ruwe olie en andere energiedragers worden vermeden, aangezien primair kunststof een olieproduct is en door verbranding (van uitgevallen kunststof) conventionele energiedragers worden vermeden.

Tabel 36 - Uitkomsten berekeningen (selectie van) bespaarde grondstoffen

No.	Substance	Compartment	Unit	Recycling-processen PET-statiegeld Update 2015	PET (bottle grade) Plastics Europe	Totaal vermeden impact door productie van 1 kg recycalaat	Karakterisatie- factor CML abiotic depletion	Eenheid	Vermeden impact door recycalaatproductie (kg Sb-eq.)
144	Oil, crude	Raw	Kg	0,005791	1	0,994209	0,0201	Kg Sb-eq./kg	0,019984
64	Gas, natural, feedstock, 35 MJ per m ³	Raw	m ³	0	0,371	0,371	0,0187	Kg Sb-eq./m ³	0,006938
21	Coal, hard	Raw	Kg	0,030046	0,119	0,088954	0,0134	Kg Sb-eq./kg	0,001192
20	Coal, brown	Raw	Kg	0,018021	0,127	0,108979	0,00671	Kg Sb-eq./kg	0,000731
40	Energy, from uranium	Raw	MJ	0	3,21	3,21	6,36E-09	Kg Sb-eq./MJ	2,04E-08
265	Uranium	Raw	Kg	5,39E-07	6,78E-06	6,24E-06	0,00287	Kg Sb-eq./kg	1,79E-08
185	Sulfur	Raw	Kg	9,17E-08	0,000046	4,59E-05	0,000193	Kg Sb-eq./kg	8,86E-09
106	Molybdenum, 0.11% in sulfide, Mo 0.41% and Cu 0.36% in crude ore	Raw	Kg	0	3,07E-07	3,07E-07	0,0178	Kg Sb-eq./kg	5,46E-09
149	Palladium, Pd 7.3E-4%, Pt 2.5E-4%, Rh 2.0E-5%, Ni 2.3E+0%, Cu 3.2E+0% in ore	Raw	Kg	9,74E-11	8,01E-09	7,91E-09	0,571	kg Sb eq./kg	4,52E-09

De uitkomst van deze berekening is dat het produceren van 1 kg kunststofgranulaat in totaal 21 gram antimoonequivalenten uitspaart (waarvan 11 gram ruwe aardolie, uitgedrukt in antimoonequivalenten).

C.5 Toedeling en bepaling milieuprijs

Vervolgens kan er een milieuprijs gebaseerd op preventiekosten voor een kg antimoon worden uitgerekend. Hierbij moet er echter ook een veronderstelling worden gemaakt over de intentie van het recyclingbeleid van de overheid. Er zijn namelijk twee mogelijkheden:

1. Recyclingbeleid wordt alleen ingezet om grondstoffen te besparen. Andere milieubeleidsdoelen, zoals klimaatbeleid, wordt niet ingevuld met beleid rondom recycling. In dit geval moeten de volledige preventiekosten worden toegedeeld aan het thema 'uitputting'.
2. Recyclingbeleid wordt ingezet voor milieubeleid in de breedte en vormt ook onderdeel van beleid om, bijvoorbeeld, klimaatdoelen te halen. In dit geval moeten de marginale preventiekosten worden verdeeld over de verschillende thema's.

Het is duidelijk dat de insteek uit het Rijksbrede programma Circulaire Economie de tweede mogelijkheid verkiest. Bij de noodzaak constateert het programma dat het groeiende verbruik van grondstoffen niet houdbaar is: "Naast een hogere milieudruk is ook sprake van toenemende aantasting en uitputting van het natuurlijk kapitaal, verlies aan biodiversiteit, dreigende grondstoffenuitputting en klimaatverandering." Daarom is het noodzakelijk om

de preventiekosten te verdelen over de diverse thema's om op die manier een zuivere schatting voor de additionele kosten op het thema grondstofuitputting te maken.

Daarom hebben wij ervoor gekozen om de totale milieuwinst die er op de andere terreinen wordt geboekt, aan de hand van de SBK-bepalingswijze met de milieuprijzen, af te trekken van de kosten van recycling. Op deze manier wordt uitsluitend het belang van het thema 'uitputting van grondstoffen' gemeten en worden de effecten van recycling op de andere thema's met milieuprijzen verdisconteerd. Tabel 37 geeft de resultaten hiervan.

Tabel 37 - Berekende milieuprijs thema 'uitputting'

Waarde	Kosten recycling kunststofafval in €/kg	Milieuwinst andere thema's in €/kg	Milieuprijs thema uitputting in €/kg Sb-eq.
Middenwaarde	€ 0,35	€ 0,34	€ 0,30
Bovenwaarde	€ 0,50	€ 0,34	€ 7,50

De laatste kolom uit deze tabel geeft de berekende milieuprijs weer. Dit zijn de nettokosten (kosten recycling - milieuwinst andere thema's) gedeeld door de bespaarde hoeveelheid antimoonequivalenten. Zoals uit deze tabel valt te zien, varieert de milieuprijs enorm, afhankelijk van de gekozen uitgangspunten. Als we ons concentreren op de midden- en bovenwaarden, dan kan de milieuprijs variëren van € 0,30/kg Sb-eq. tot € 7,50/kg Sb-eq. Er is geen goede manier om te bepalen wat de exacte prijs zal zijn. Echter, gegeven de huidige prijs van € 0,18/kg Sb-eq. bevelen wij conservatief aan om deze waarde naar boven bij te stellen tot € 0,30/kg Sb-eq.

D Capita Selecta

D.1 Onzekerheid

De bepaling van milieuprijzen is aan onzekerheid onderhevig. Er zijn drie factoren die bijdragen aan deze onzekerheid:

1. De verspreiding van emissies door het milieu is een onzekere factor. Ondanks het feit dat wetenschappers de afgelopen twintig jaar steeds meer modellen hebben ontwikkeld die de verspreiding redelijk goed kunnen beschrijven, is er altijd een mate van onzekerheid aan deze verspreiding verbonden.
2. De impacts die deze emissies hebben op de menselijke gezondheid en ecosystemen hebben is aan onzekerheid onderhevig. Hoewel er de laatste jaren steeds meer bewijs komt over de negatieve effecten van klassieke vormen van luchtvervuiling op de menselijke gezondheid, zijn de effecten van andere stoffen en impacts anders dan de menselijke gezondheid nog aan grote wetenschappelijke onzekerheid onderhevig.
3. De waardering van de impacts is aan onzekerheid onderhevig. Hoewel de literatuur tendeert naar een zeker evenwicht in de waardering (onder meer door grote meta-studies vanuit de OECD), is er altijd nog een factor 2 (menselijke gezondheid) tot een factor 4/5 (ecosysteemdiensten) verschil te vinden in waardering die door diverse studies wordt gerapporteerd.

We merken hierbij op dat ook bij de bepaling van de MKI-waarden de onzekerheid heel groot was; in feite veel groter dan nu. Hoewel de onzekerheid in de rapportage van TNO wel is benoemd (TNO, 2004), is daar bij de bepaling van de gewichten nooit meer rekening mee gehouden.

De onzekerheid is groter bij de additionele effecten en bij alle effecten op biodiversiteit (zoals verzuring). Het Handboek Milieuprijzen (CE Delft, 2017a) heeft daarin een 'voorzichtigheidsprincipe' gehanteerd, die een erg lage waardering aangaf als ondergrens in de waardering met de notie dat een preciezere waardering wellicht mogelijk zou zijn als meer onderzoek wordt verricht.

D.2 Waardering op endpointniveau

Op het endpointniveau zijn in het Handboek Milieuprijzen waarderingen opgenomen voor menselijke gezondheid (mortaliteit en morbiditeit), ecosysteemdiensten, schade aan gebouwen en materialen, grondstofuitputting en hinder (geluidshinder en visuele hinder). Deze waarderingen vormen de kern van het Handboek Milieuprijzen. Deze zijn gebaseerd op een review van de beschikbare literatuur. Tabel 38 geeft het overzicht van de gehanteerde waarderingen die zijn toegepast in dit handboek.

Tabel 38 - Gehanteerde waarderingsgetallen op endpointniveau

Effect	Indicator/aanpak	Waardering (onder-boven)
Menselijke gezondheid		
Mortaliteit	VOLY	€ 70.000
Morbiditeit	QALY**	€ 70.000
Verlies productiviteit	Werkdagen	€ 94
Ecosysteemdiensten		
Productieve ecosysteemdiensten *	Productiviteitsverlies landbouwgewassen (als proxy)	
Biodiversiteitsverlies	PDF	€ 0,08-0.65/PDF/m ²
Gebouwen, materialen en infrastructuur		
Materialen en gebouwen	Herstelkosten *	

* Betreft onvolledige kwantificering in het Handboek Milieuprijzen.

** Naast de QALY zijn ook andere kwantificeringen gebruikt, zoals verlies IQ-punten van € 17.500/verloren IQ-punt, COPD, € 240.000 per casus, cancer, cost of illness, € 420.000/casus, ziekenhuisopnames voor cardiovasculaire klachten of luchtwegklachten, € 2.850 per casus.

Afkortingen:

VOLY: Value of Life Years.

QALY: Quality Adjusted Life Years.

PDF: Potentially Disappeared Fraction.

E Klankbordgroep

De klankbordgroep die is betrokken bij dit onderzoek, bestaat uit de volgende personen en organisaties:

Persoon	Organisatie
Roger Loop	Bureau Leiding
Peter van der Mars	Metaalunie
Arie Mooiman	KNB (Koninklijke Nederlandse Bouwkeramiek)
Erik de Munck	Centrum Hout
Alexander Pastoors	BNA (Branchevereniging Nederlandse Architectenbureaus)
Henk Schuur	NVTB (Nederlandse Vereniging Toeleverende Bouwmaterialenindustrie)
Hans Spronken	Rockwool
Martin van der Vliet	MVO Nederland
Rob Wesel	Recticel
Ron Wesseling	Bouwend Nederland
Marjolein van der Klauw	Rijkswaterstaat
Reinier Guijt	Ministerie IenW
Jos Verlinden	Ministerie BZK
Erik Dekker	RIVM
Bert Nagtegaal	FME
Tom de Boer	Stichting Nationale Milieudatabase
Piet van Luijk	Stichting Nationale Milieudatabase
Agendaleden	
Esther 't Hoen	Ministerie van BZK
Bert Albers	Rijksvastgoedbedrijf
Mari van Dreumel	Ministerie van I&W
Gerwin Schweitzer	Rijkswaterstaat
Lisa Damen	VITO (België)