

TNO-rapport**TNO 2021 R11800****Onderzoek nadere duiding van de baten en lasten in module D van de Bepalingsmethode milieuprestatie bouwwerken****Circular Economy & Environment**Princetonlaan 6
3584 CB Utrecht
Postbus 80015
3508 TA Utrechtwww.tno.nl

T +31 88 866 42 56

Datum	19 oktober 2021
Auteur(s)	Fraanje, P.J. (TNO), Ewijk, H. van (SGS), Godoi Bizarro, D. (TNO), Keijzer, E.(TNO), Kraaijenbrink, R. (LBP Sight), Leeuwen, M. van (NIBE).
Aantal pagina's	67 (incl. bijlagen)
Aantal bijlagen	2
Opdrachtgever	Stichting NMD, Rijswijk
Projectnaam	Module D
Projectnummer	060.44827

Alle rechten voorbehouden.

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

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

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

© 2021 TNO

Samenvatting

In de Omgevingswet zijn bepalingen opgenomen om duurzaam bouwen te bevorderen. Bouwwerken dienen te voldoen aan een bepaalde milieuprestatie, uitgedrukt in een Milieu Kosten Indicator (MKI) en de hiervan afgeleide de Milieu Prestatie Gebouwen (MPG). Alle nieuwbouw in Nederland dient sinds 1 juli 2021 te voldoen aan een MPG die kleiner is dan € 0,80 per m² b.v.o.

MPG en MKI worden bepaald op basis van de Levens Cyclus Analyse (LCA) methode, vastgelegd in de Bepalingsmethode Milieuprestatie Bouwwerken en gebaseerd op de Europese norm EN 15804. De LCA voor bouwwerken bestaat uit vier levensfasen of modules: A winning en productie, B gebruik, C sloop/afvalfase en een module D recycling en hergebruik. De milieulasten of -baten van module D vallen buiten de systeemgrenzen van het bouwwerk, maar worden in Nederland wel verdisconteerd in de MKI of MPG score.

Uit ervaringen in de praktijk is gebleken dat de resultaten van de berekeningen van de milieu-impact in module D uiteenliepen door verschillen in aannames, interpretaties en de keuze van scenario's. Ook is opgemerkt dat gebruik van meer secundair materiaal in het kader van het streven naar een circulaire economie niet altijd volgens verwachting doorwerkt in een betere milieuprestatie. Dit roept vragen op en vraagt om nadere duiding van module D als onderdeel van de Bepalingsmethode. In opdracht van stichting NMD hebben TNO, SGS, NIBE en LBP Sight onderzoek gedaan naar module D voor de uiteenlopende producten van de bouwmaterialen asfalt, beton, hout en staal.

Uit dit onderzoek blijkt dat er voor asfalt, beton en hout beperkte mogelijkheden zijn om onderscheid te maken in de milieu-impact door het gebruik van meer secundaire grondstoffen in producten. Voor staal is er voor een van de onderzochte varianten wel een significant verschil.

Een nadere duiding van module D bij de Bepalingsmethode is gewenst. Voor alle bestudeerde materialen met hun producten geldt dat er ruimte is voor verschillen in interpretatie, keuze voor scenario's en afwijkingen in berekeningen van module D.

Nadere richtlijnen en instructies zijn nodig voor het declareren van aspecten die in de toekomst liggen, zoals de End-of-Life scenario's (EoL) omdat zij een grote impact hebben op de berekende milieuprestatie.

Het is aan te bevelen de forfaitaire EoL scenario's beter op de praktijk te laten aansluiten en regelmatig te vernieuwen. Een goede onderbouwing en aannemelijkheid van de EoL scenario's zijn hierbij belangrijk. Hiertoe zou een richtlijn kunnen worden opgesteld met criteria voor keuze van forfaitaire scenario's, inclusief een conservatieve terugvaloptie.

Het bepalen van een grondstoffenequivalent (GE) per productcategorie en het verder ontwikkelen van kwaliteitsfactoren (K) dragen bij aan de betrouwbaarheid en eenduidigheid van de bepaling van de milieu-impact in module D.

Aanbevolen wordt het aandeel module D expliciet zichtbaar te maken in de gewogen 1-puntscore (MKI/MPG). Module D dient in lijn met EN15804 apart te worden bepaald en richt zich op de potentiële milieueffecten buiten de systeemgrenzen van het product.

Inhoudsopgave

	Samenvatting.....	2
1	Inleiding	5
2	Asfalt.....	7
2.1	Beschrijving asfaltcases	7
2.2	Resultaten en contributieanalyse	12
2.3	Kwantitatieve duiding module D	14
2.4	Overige opmerkingen	15
2.5	Aanbevelingen voor vervolg module D onderzoek.....	17
3	Beton.....	18
3.1	Beschrijving betoncases	18
3.2	Vergelijking en toelichting betonnen varianten	22
3.3	Kwantitatieve duiding.....	25
3.4	Conclusies milieuprestatie betonproducten	26
3.5	Overige opmerkingen betonanalyse.....	27
3.6	Aanbevelingen n.a.v. betonanalyse	27
4	Hout.....	29
4.1	Beschrijving cases hout	29
4.2	Vergelijking en toelichting cases hout	31
4.3	Analyse houtcases	33
4.4	Kwantitatieve duiding.....	36
4.5	Aanbevelingen houtcases.....	36
5	Staal	39
5.1	Beschrijving cases staal	39
5.2	Vergelijking en toelichting varianten staal.....	44
5.3	Kwantitatieve duiding.....	52
5.4	Conclusies milieuprestatie varianten staal.....	53
5.5	Aanbevelingen n.a.v. de staalcase.....	54
6	Conclusies & aanbevelingen	55
6.1	Conclusies	55
6.2	Aanbevelingen	57
7	Referenties.....	60
8	Begrippenlijst	61
9	Ondertekening.....	62
10	Bijlage asfalt.....	63
11	Bijlage beton.....	64

1 Inleiding

Uit ervaringen in de praktijk blijkt dat de toepassing van module D in de Bepalingsmethode Milieuprestatie Bouwwerken niet op een gelijke wijze wordt uitgelegd. Zo is tijdens het opstellen van de Nederlandse PCR voor asfalt gesignaleerd dat de uitkomsten van de berekeningen van de milieu-impact uiteen liepen door interpretatieverschillen. Ook bij andere materialen is geconstateerd dat er met uiteenlopende aannames en scenario's wordt gewerkt. Dit roept vragen op en vraagt om nadere duiding van module D als onderdeel van de Bepalingsmethode.

Stichting Nationale Milieudatabase is beheerder van de Bepalingsmethode en de nationale Milieu Database (NMD) en opdrachtgever van dit onderzoek. Het doel van dit onderzoek is om nadere duiding te geven aan de toepassing van module D uit de Bepalingsmethode.

Het motief hierbij is om na te gaan of het gebruik van secundair materiaal, alsmede de verwerkingsscenario's eindeleven (EoL) bij hergebruik en recycling voor ieder product op dezelfde wijze wordt gewaardeerd.

Stichting Nationale Milieudatabase heeft TNO gevraagd om in samenwerking met een aantal andere onderzoeksbureaus (NIBE, LBP Sight en SGS) de nadere duiding van de baten en lasten in module D van de Bepalingsmethode voor vier categorieën bouwmaterialen te onderzoeken, voor asfalt, beton, hout en staal. Per materiaal zijn steeds minimaal drie verschillende producten doorgerekend, die verschillen qua verhouding primair-secundair materiaal.

De EN15804 (+A2) en de Bepalingsmethode vormen het kader voor dit onderzoek. De aanbevelingen dienen bij te dragen aan een gelijk speelveld (level playing field). Transparantie, objectiviteit, onderbouwing, verifieerbaarheid en eenduidigheid zijn belangrijke bakens voor dit onderzoek.

Module D is sinds 2019 een verplicht onderdeel van de EN 15804 (sectie 5.2) en dient apart te worden gedeclareerd. In module D zijn de baten en lasten opgenomen die buiten de systeemgrens van het beschouwde product (A t/m C) vallen: *any declared net benefits and loads from net flows leaving the product system that have passed the End-of-Waste state shall be included in module D, except those which have been allocated as co-products*. Het gaat dan met name om hergebruik en recycling. In de praktijk worden bijna altijd baten opgenomen in module D. De MKI en de MPG worden in de Nederlandse bepalingmethode over de levensfasen A t/m D berekend.

In april 2021 is een eerste opzet van dit onderzoek besproken met stichting NMD en gepresenteerd aan een klankbordcommissie. SGS heeft een drietal varianten doorgerekend voor beton, NIBE voor hout, LBP Sight voor staal en TNO voor asfalt. De analyse en de resultaten zijn onderling gereviewed. TNO heeft de bijdragen van de onderzoeksbureaus in dit concept-rapport samengevoegd. Dit conceptrapport wordt besproken met de stichting NMD en de klankbordcommissie. Na het verwerken van het commentaar zal een eindrapport met oplegnotitie worden opgesteld dat in de TIC van de stichting NMD zal worden geagendeerd.

De eerste hoofdstukken in dit rapport zijn een weerslag van de analyses van respectievelijk asfalt, beton, hout en staal en de eerste bevindingen per materiaalgroep. In hoofdstuk 6 zijn de conclusies en aanbevelingen opgenomen.

2 Asfalt

2.1 Beschrijving asfaltcases

Om de effecten van module D voor asfaltproducten te onderzoeken is ervoor gekozen om een asfalttoplaag als case study te gebruiken met vier varianten.

Inputvariabelen

- Gehalte secundair materiaal (asfaltgranulaat, 1 type)
- Benodigde hoeveelheid primair materiaal
- Hoge gehalten secundair materiaal worden in praktijk vaak gecombineerd met productie op lage temperatuur, maar omwille van de uniformiteit in de vergelijking is dit hier buiten beschouwing gelaten.

Outputvariabelen

- Voorgescreven aanpak volgens NL-PCR asfalt, met verdeling in twee grondstoffenequivalenten (puinachtig funderingsmateriaal en asfaltgranulaat) en vaste kwaliteitsverliesfactoren per materiaaltipe. Variatie in productsamenstelling (A1) leidt tot variatie in output (Module C/D).
- In theorie is er verschil mogelijk in Module D tussen mengsels die meer of minder asfaltgranulaat bevatten; dit is echter (conform PCR) buiten beschouwing gelaten, omdat verondersteld wordt dat al het asfalt vooralsnog grotendeels gerecycled wordt als uniforme stroom, waarbij geen onderscheid gemaakt wordt tussen de verschillende samenstellingen.

Specifieke uitgangspunten

De eerste variant is een AC Surf deklaag met 0% secundair materiaal inhoud, dat is tevens het referentiemengsel omdat dit de meest voorkomend asfalttoplaag in Nederland is. De andere varianten zijn AC Surf met een toenemende secundaire materiaalinhoud, namelijk: 30%, 60% en 90%. AC surf 0% PR en AC Surf 30% PR zijn twee van de brancherepresentatieve Nederlandse asfaltmengsels (TNO, 2020). PR staat voor Partiële Recycling. De varianten met 60% PR en 90% PR zijn extrapolaties daarvan waarbij een gelijk aandeel van bindmiddel, steenslag, zand en vulstof wordt aangehouden wat deels vervangen wordt door secundair materiaal. De extrapolaties met hoge aandelen secundair materiaal geven inzicht in de werking van module D.

Mengselsamenstelling (A1)

AC surf mengsels bevatten 5,8% bindmiddel (bitumen), 80% steenslag van verschillende graderingen, 9,2% zand en 4,9% vulstof. Voor de mengsels met secundaire materiaalinhoud vervangt asfaltgranulaat een deel van het primaire bitumen, -steenslag, -zand en vulstof.

Voor de fictieve varianten zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

Met 30% secundaire materiaalinzet, namelijk 300 kg per ton asfalt, wordt er 12 kg primair bitumen bespaard t.o.v. de AC surf 0% PR. Er is aangenomen dat deze hoeveelheid lineair toeneemt. Dat resulteert in een besparing van 2x12kg bij 60% PR en 3x12kg bij 90% PR.

De varianten AC Surf met 60% PR en 90% PR zijn gemodelleerd met proceskaarten uit de Nationale Milieudatabase v3.1 (o.b.v. Ecoinvent 3.5) en volgens de Nederlandse Asfalt PCR (PCR, 2020).

De samenstelling van alle beschouwde varianten is in Tabel 2.1 weergegeven in kilogram per ton asfalt.

Tabel 2.1 Mengselsamenstelling voor de referentie AC Surf en varianten met secundair materiaal inhoud. Materialen worden in kilogram per ton asfalt gegeven.

Materiaal (kg per ton)	Mengsels			
	AC surf 0% PR ¹	AC surf 30% PR ¹	AC surf 60% PR	AC surf 90% PR
Asfaltgranulaat	0	294	600	900
Bitumen	58	46	34	22
Brekerzand Bestone®	215	139	80	17
Brekerzand Morene	64	119	68	15
Eigen stof	16	9	2	0
Natuurlijk zand	92	0	0	0
Steenslag Bestone®	390	198	114	25
Steenslag Morene	116	168	97	21
Zwakke vulstof	49	27	5	0

End-of-Waste punt voor asfalt

Aan het einde van de levensduur van asfalt wordt het verwijderd door frees- en graafmachines (C1) en afgevoerd naar de asfaltcentrale (C2). Op de asfaltcentrale wordt het gesorteerd op samenstelling, kwaliteit en verder verwerkt voor inzet in een nieuwe mengsel. Bij het verwerkingsproces kan het asfaltgranulaat worden gebroken en gezeefd om fracties te sorteren. Daarna is het asfaltgranulaat gereed om te worden ingezet als secundair materiaal in nieuwe mengsels en kan het daardoor primair materiaal vervangen (C3). Een deel van het asfaltgranulaat is van te lage kwaliteit om opnieuw ingezet te worden in asfalt en wordt gerecycled als puinachtig funderingsmateriaal.

Het einde-afvalpunt van de outputstroom 'gefreest asfalt', kan aan de hand van het stappenplan in de Bepalingsmethode (bijlage IV) bepaald worden:

- *Stap 1: het voorwerp wordt gebruikelijk toegepast voor specifieke doelen*
Klopt: het gefreesde asfalt wordt grootschalig ingezet in nieuw asfalt of in funderingen.
- *Stap 2: er is een markt voor of er is vraag naar de stof of het voorwerp*
Klopt: er is vraag naar asfaltgranulaat en er is vraag naar wegfunderingsmateriaal.

- *Stap 3: de stof of het voorwerp voldoet aan de technische voorschriften voor de specifieke doelen en aan de voor producten geldende wetgeving en normen*
Klopt: er zijn normen voor (de kwaliteit van) asfaltgranulaat en er zijn eisen aan wegfunderingsmateriaal.
- *Stap 4: het gebruik van de stof of het voorwerp heeft over het geheel genomen geen ongunstige effecten voor het milieu of de menselijke gezondheid*
Klopt.

Daarmee kan gesteld worden dat de outputstroom het einde afvalpunt heeft bereikt zodra het losgefreesd is van de weg, afgevoerd en gesorteerd. Dat is in lijn met de NEN-EN 13108-8 (Asfaltgranulaat) dat het einde afval status definieert als: *"...het verwerkte site-gewonnen asfalt, geschikt en klaar om te worden gebruikt als bestanddeel materiaal voor asfalt, nadat het wordt getest, beoordeeld en geclassificeerd volgens deze norm. Opmerking 1: verwerking kan een of meer omvatten van frezen, pletten, zeven, mengen, enz..."*.

Modellering module D voor alle varianten:

Aan het eind van de levenscyclus komt al het asfalt beschikbaar als secundair materiaal; volgens de NL-PCR treden er geen verliezen op. Een deel (71%) van deze output kan opnieuw worden ingezet in asfalt in de vorm van asfaltgranulaat; het grondstoffenequivalent dat volgens de NL-PCR gehanteerd moet worden is een gemiddeld asfaltgranulaat wat bestaat uit de individuele grondstoffen. Het andere deel van de output (29%) is van te lage kwaliteit om opnieuw ingezet te kunnen worden; het grondstoffenequivalent daarvan is "secundair wegfunderingsmateriaal". In de volgende alinea's leggen we uit hoe de grondstoffenequivalenten bepaald worden.

Conform de NL-PCR zijn voor alle grondstoffen zowel de winning (A1) als het transport tot de asfaltcentrale (A2) van de grondstoffenequivalenten gedeclareerd in module D.

Module D – winning (A1)

Aan het eind van de levenscyclus komt asfaltgranulaat vrij. Dit granulaat is een mengsel van verschillende materialen. Om de grondstoffenequivalent van asfaltgranulaat te kunnen bepalen moet men naar meerdere primair materialen verwijzen. Deze primaire materialen moeten dezelfde zijn als die in A1 worden opgevoerd.

De NL PCR Asfalt v1 – Spreadsheet Module D laat zien welke materialen en in welke hoeveelheid zullen worden gedeclareerd als grondstoffenequivalenten om baten toe te rekenen aan een bepaald systeem afhankelijk van het type asfaltgranulaat. Het gaat om bitumen, steenslag/brekerszand, zand, secundair zand, en vulstof. De massa outputstroom van deze materialen zijn in tabel 2.2 weergegeven.

De hoeveelheid materiaal in module D wordt bepaald op basis van drie typen kwaliteitsfactoren zoals gedefinieerd in de asfalt PCR, namelijk:

- **Degradatie van materialen:** 10% van het bitumen gaat in de gebruiksfase verloren door erosie.

Dit verlies van primair en secundair bitumen treedt op in fase B1, maar werkt door in de massabalans en wordt bijgevolg geteld als last in Module D. Dit geldt voor zowel de deklagen als onderlagen. Er wordt voor de deklagen uitgegaan van 10% massaverlies van steenslag (deklagen) en voor de onderlaag van 5% massaverlies steenslag.

- **Kwaliteitsverlies van materialen:** 29% van het asfalt raakt grotendeels zijn technische eigenschappen kwijt en kan niet meer als dek- of tussenlaag worden gebruikt, dit aandeel lijkt op puinachtig funderings-materiaal. Voor steenslag geldt een kwaliteitscorrectiefactor van 10% op basis van het verschil in steenslagaandeel in een ton asfaltgranulaat en in een ton van de initiële AC Surf mengselsamenstelling. Voor zand en vulstof wordt er geen kwaliteitsverliesfactor toegepast, aangezien dat vanuit steenslag meer wordt aangevuld dan dat er verloren gaat. Steenslag wordt gerecycled als steenslag & zand, zand als zand & vulstof, vulstof blijft vulstof. Het gedeelte van het asfalt wat oorspronkelijk reeds uit secundair materiaal bestond (d.w.z. asfaltgranulaat in module A1) wat hiermee verloren gaat, dient als last gedeclareerd te worden in module D.
- **Functieverlies van materialen:** 4% van de bitumen verliest zijn functie als bindmiddel

In de praktijk wordt module D als volgt berekend:

29% van de outputstroom raakt zijn technische eigenschappen kwijt en kan niet meer als dek- of tussenlaag asfalt worden gebruikt maar wel als wegfundering. Wegfunderingen zijn standaard al gemaakt van secundaire materialen, bijgevolg kan de outputstroom alleen maar andere secundaire materialen met gelijke eigenschappen en kwaliteit vervangen bij wegfunderingen. Dus voor dit aandeel van de outputstroom wordt er geen baat en ook geen last toegerekend.

De overige 71% bevat secundaire materialen in hun eerste of tweede levenscyclus en wordt beschouwd als een mengsel van alle materialen die in A1 voorkomen, dat wil zeggen dat de materialen in A1 hun grondstoffenequivalenten zijn. De baten worden individueel berekend voor elke materiaal stroom.

Baten worden toegerekend aan de massa primaire materialen minus de verloren massa tijdens B1 en minus de overblijvend massa minus de functie en kwaliteitsverlies factoren. Hiervoor wordt de volgende vergelijking gebruikt:

$$\text{Baten (in massa-eenheid, per materiaal)} = \text{massa in A1} \times (1 - \text{verliesfactor vóór einde levensduur}) \times \text{fractie die naar dit G.E. gaat} \times (1 - \text{degradatiefactor}) \times (1 - \text{functieverliesfactor}) \times (1 - \text{kwaliteitsverliesfactor})$$

Lasten in module D zijn een gevolg van secundair-materiaalverlies dat niets meer kan vervangen in een volgende levenscyclus en wordt berekend voor elk materiaal volgens de volgende vergelijking:

$$\text{Lasten (in massa-eenheid, per materiaal)} = \{ \text{massa asfaltgranulaat in A1} \times (\text{verliesfactor vóór einde levensduur}) \} + \{ \text{massa asfaltgranulaat in A1} \times (\text{verliesfactor vóór einde levensduur}) \times \text{degradatiefactor} \times \text{functieverliesfactor} \times \text{kwaliteitsverliesfactor} \}$$

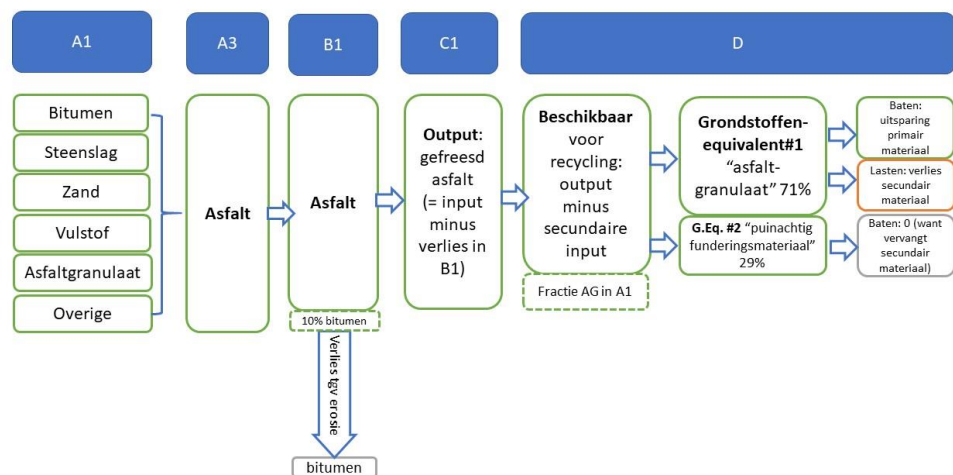
De netto impact is de som van alle lasten minus de som van alle baten.

De module D (A1) resultaten voor de vier varianten AC Surf zijn in tabel 2.2 weergegeven.

Tabel 2.2 Netto materiaal gegeven aan volgende toepassing in kg per ton AC Surf.

Grondstoffenequivalent	Materiaal (kg per ton)	AC surf 0% PR	AC surf 30% PR	AC surf 60% PR	AC surf 90% PR
Puinachtig funderingsmateriaal	Puinachtig funderingsmateriaal	288,3	288,2	288,1	287,9
Asfaltgranulaat	Bitumen	35,6	27,8	16,7	7,3
	Natuurlijk zand	65,3	0,0	0,0	0,0
	Steenslag en brekerzand Bestone	387,0	209,0	111,0	7,0
	Steenslag en brekerzand Morene	115,0	178,0	94,2	5,9
	Zwakke vulstof	34,8	19,2	3,6	0,0

In figuur 2.1 is het bovenstaande grafisch weergegeven in een stroomschema / massabalans.



Figuur 2.1 Stroomschema / massabalans levenscyclus asfalt.

Module D – transport (A2)

Het uitgespaarde transport van primaire materialen (uitsparing van module A2, gedeclareerd in module D) is berekend door het specifieke transport van elk materiaal in A1, zoals beschreven in module A2, te vermenigvuldigen met de uitgespaarde massa van dat materiaal berekend in module D (A1). Vervolgens zijn alle besparingen van materiaaltransporten bij elkaar opgeteld om tot de totale besparing van transport in module D te komen.

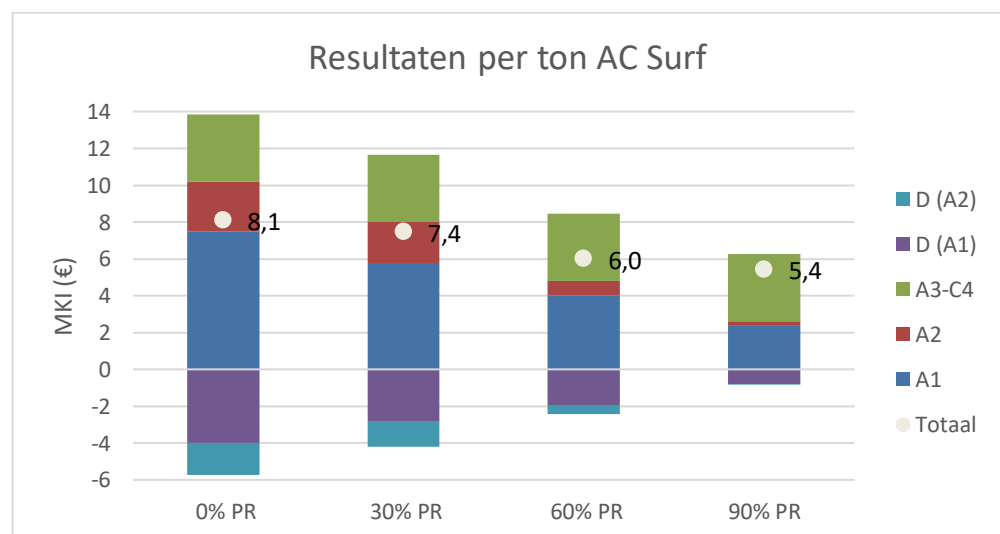
2.2 Resultaten en contributieanalyse

Een vergelijking van asfaltmengsels met verschillende percentages asfaltgranulaat, is weergegeven in Tabel 2.3. Het valt direct op dat de totaalimpact (over de hele levenscyclus) voor alle mengsels met asfaltgranulaat, lager is dan de totaalimpact van het mengsel dat 100% uit primaire materialen bestaat. De AC Surf 0% PR heeft weliswaar grotere milieubaten aan het einde van de levensduur (in module D), maar de grotere impact in de grondstoffenwinning- en -transportfase (A1 en A2) doet dit effect teniet.

Tabel 2.3 MKI resultaten in euro's per ton AC Surf en respectievelijke levensfasen.

MKI (€)	0% PR	30% PR	60% PR	90% PR
A1	7,5	5,8	4,0	2,4
A2	2,7	2,2	0,8	0,2
A3	3,6	3,6	3,6	3,6
A4	0,6	0,6	0,6	0,6
A5	0,3	0,3	0,3	0,3
B	0,1	0,1	0,1	0,1
C1	0,1	0,1	0,1	0,1
C2	0,6	0,6	0,6	0,6
C3	0,2	0,2	0,2	0,2
D (A1)	-4,0	-2,8	-2,0	-0,8
D (A2)	-1,7	-1,4	-0,4	0,0
Totaal	8,1	7,4	6,0	5,4

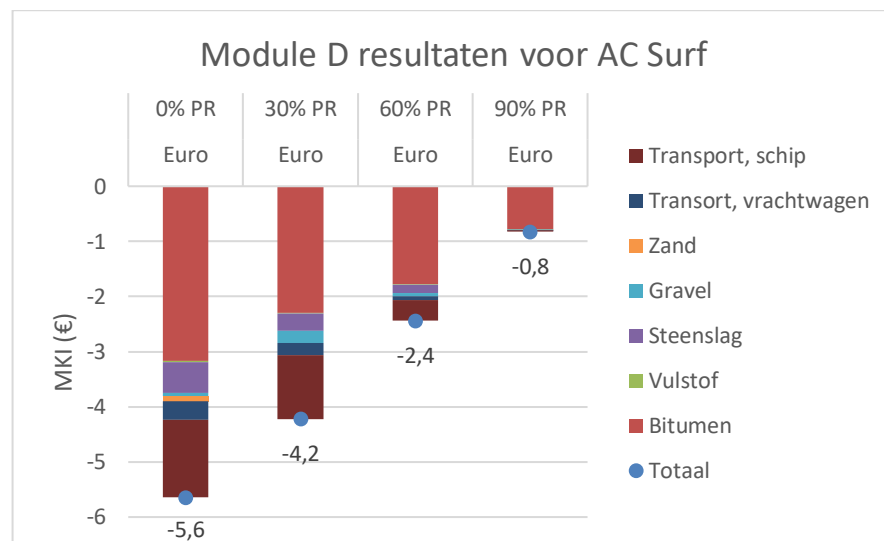
Levensfasen waarbij de inzet van secundair materiaal, niet aan de orde is, zijn weergegeven als A3-C4.



Figuur 2.2 MKI resultaten in euro's per ton AC Surf voor referentie en varianten.

Het valt op dat de verschillen over de hele levenscyclus relatief klein zijn voor mengsels met een aanzienlijke hoeveelheid asfaltgranulaat: een mengsel met 30% asfaltgranulaat heeft over de gehele levenscyclus slechts een 7 tot 15% lagere MKI dan het volledig primaire mengsel. Ook bij het mengsel met 60% asfaltgranulaat is het effect niet lineair: de totale MKI is slechts 26% lager dan het primaire mengsel en bij het mengsel met 90% asfaltgranulaat is de MKI slechts 33% lager.

Figuur 2.3 geeft de baten van module D per materiaal weer voor één ton AC surfmengsel door de inzet van secundair materiaal. Bitumen heeft veruit de grootste impact op de totale MKI-waarde. Daarnaast draagt steenslag relatief veel bij aan de MKI, zowel voor A1 als voor module D.



Figuur 2.3 Contributie aan module D; resultaten per materiaal en transport type voor 1 ton AC Surf.

Het steenslagtransport draagt het meeste bij aan de MKI, vanwege de grote afstand in combinatie met het hoge massa-aandeel. Zand draagt veel bij in het geval van AC Surf 0% PR. De baten van vermeden transportprocessen dragen tussen de 20 en 25% bij aan het totaal. Verder is de uitsparing van bitumen de grootste winst, rond de 40-50% van het totaal, afhankelijk van de hoeveelheid bitumen dat aanwezig is in het asfaltmengsel. De besparing van steenslag is significant lager; het milieuvoordeel van recycling is voor dit materiaal vooral te zien in de vermeden transportkilometers.

De voorgeschreven degradatie, kwaliteit- en functieverlies factoren in de NL-PCR asfalt leiden tot logische conclusies (hoe meer hergebruik, hoe lager de MKI), maar niet tot dermate grote winst als op basis van de materiaalreductie in de grondstoffenfase (A1) verwacht zou worden. Het effect in de grondstoffenfase wordt gedeeltelijk teniet gedaan door de wijze waarop recycling van secundaire materialen wordt berekend. Dat wil zeggen: het feit dat een hoge waarde wordt toegekend aan recycling van primaire materialen, terwijl de opvolgende recycling van secundaire materialen weinig waarde kent.

2.3 Kwantitatieve duiding module D

In deze paragraaf worden de varianten kwantitatief geduid. In onderstaande tabel is de milieu-impact voor de diverse varianten weergegeven per functionele eenheid, waarbij variant 0 als referentie dient:

Tabel 2.4 Milieu-impact over gehele levensduur in MKI(€) per functionele eenheid.

Varianten Asphalt		Totaal	%
0.	Asfaltdeklaag, AC Surf met 0% asfaltgranulaat inhoud	8,1	100%
1.	Asfaltdeklaag, AC Surf met 30% asfaltgranulaat inhoud	7,4	92%
2.	Asfaltdeklaag, AC Surf met 60% asfaltgranulaat inhoud	6,0	74%
3.	Asfaltdeklaag, AC Surf met 90% asfaltgranulaat inhoud	5,4	67%

In onderstaande tabel is de bijdrage van module A1-A3 en module D aan de absolute milieu-impact weergegeven op basis van totaal absolute module scores (variant 0 = referentie).

Tabel 2.5 Bijdrage van Module A1-3 en module D aan de absolute milieu-impact.

Varianten Asphalt		A1-A3	D
0.	Asfaltdeklaag, AC Surf met 0% asfaltgranulaat inhoud	56%	27% (baat)
1.	Asfaltdeklaag, AC Surf met 30% asfaltgranulaat inhoud	55%	24% (baat)
2.	Asfaltdeklaag, AC Surf met 60% asfaltgranulaat inhoud	51%	19% (baat)
3.	Asfaltdeklaag, AC Surf met 90% asfaltgranulaat inhoud	48%	9% (baat)

2.4 Overige opmerkingen

Naar aanleiding van dit onderzoek kunnen de volgende zaken worden opgemerkt:

Er worden baten toegerekend in module D terwijl onbekend is wat de toepassing is van het geproduceerde secundair materiaal is en de outputstroom in praktijk kan variëren. Volgens de bepalingsmethode worden de baten van module D berekend zonder te weten waarin het secundair materiaal uiteindelijk wordt toegepast. Dit betekent dat het kan gebeuren dat baten worden toegerekend zonder dat deze worden gerealiseerd. Zo kan het voorkomen dat een hoge kwaliteit asfaltgranulaat in werkelijkheid kan worden toegepast in tussenlagen en funderingen. Hierdoor zal de bonus die in module D berekend wordt, in de praktijk soms lager uitvallen. De bestaande methodiek schetst hierdoor soms een te rooskleurig beeld. Gezien de grote invloed van Module D op de totale MKI van asfalt, is het daarom van belang om regelmatig de aannames rondom eindelevensduurscenario's opnieuw te beoordelen en indien nodig de rekenregels (PCR) aan te passen.

Moment van functionele gelijkheid voor asfaltgranulaat

Het is niet duidelijk of vermeden transport ook zou moeten worden meegenomen in de berekeningen. In het geval van asfalt maakt dat een groot verschil voor de totale baten. In dit onderzoek is bij de einde-afval bepaling het outputmateriaal gedefinieerd als materiaal met eigenschappen die gelijk zijn aan de eigenschappen van de grondstoffen op het moment dat deze bij de asfaltcentrale worden opgeleverd (oftewel gelijk aan modules A1+A2).

Grondstoffenequivalent van asfaltgranulaat en kwaliteitsfactoren voor materialen

Asfaltgranulaat is een mengsel van grove en fijn steenslagfracties, fijnstof en (verouderde) bitumen. Primaire materialen kunnen in elke asfalttype worden toegepast, maar dit is niet het geval voor asfaltgranulaat. Wat is dan het grondstoffenequivalent van de outputstroom? Volgens de Nederlandse PCR voor asfalt moeten de grondstoffenequivalenten dezelfde materialen zijn als de materialen die in fase A1 gebruikt zijn, namelijk bitumen, steenslag/brekerszand, zand, secundair zand, en vulstof.

Dit is echter gebaseerd op de materialen die vermeden worden in een nieuw asfaltmengsel indien asfaltgranulaat wordt gebruikt in de volgende levenscyclus, en niet gebaseerd op de eigenschappen van de primaire materialen en de componenten van asfaltgranulaat, behalve bitumen. Secundair bitumen en secundaire steenslag is echter van een lagere kwaliteit dan die van de primaire grondstoffen daarom kunnen ze niet op dezelfde manier worden gebruikt als primaire materialen. Dit wordt gedeeltelijk opgelost door de toepassing van kwaliteitsfactoren. Deze kwaliteitsfactoren zijn op dit moment gebaseerd op ervaringen in de industrie met de toepassing van asfaltgranulaat en gedeeltelijk op basis van onderzoek in de praktijk. Deze methode is in lijn met de norm EN 15804 en de Bepalingsmethode. Idealiter zouden de kwaliteitsfactoren gebaseerd zijn op (meer) onderzoek, bijvoorbeeld op basis van labtesten of meerjarige praktijkmonsters.

Verder is het niet duidelijk hoe om te gaan met het polijsten van steen en de toename van fijnere fracties van steenslag. Het gevolg van dit proces is dat 1.000 kg asfaltgranulaat van één asfaltmengsel niet gebruikt kan worden om 1.000 kg van hetzelfde asfaltmengsel te produceren. De steenfracties zouden niet voldoen aan de technische eisen. Als gevolg van gebruik en sloopproces wordt het steenslag steeds kleiner/fijner. Hierdoor ontstaat wel een nuttig product wat opnieuw in asfalt ingezet kan worden (ook fijne steenslag is nodig in de asfaltproductie). Er is meer onderzoek nodig om ook voor dit kwaliteitsverlies een verliesfactor te ontwikkelen.

Kwaliteitsfactor voor lage kwaliteit materiaal

Bij het bepalen van de grondstoffenequivalenten speelt een grote onzekere factor: we weten dat circa 29% van de outputstroom niet in asfalt gerecycled wordt; de meest eenvoudige verklaring hiervoor is dat het grotendeels zijn technische eigenschappen kwijt is geraakt en niet meer (economisch rendabel) kan worden toegepast in nieuw asfalt, maar wat precies het achterliggende systeem is (en of hier bijvoorbeeld vooral technische of meer economische/praktische redenen aan ten grondslag liggen), is niet bekend. In dit onderzoek is, conform de PCR asfalt, verondersteld dat dit gedeelte van de outputstroom functioneel gelijk is aan puinachtig funderingsmateriaal en is dit gedefinieerd als het grondstoffenequivalent voor 29% van de outputstroom. Voor een goede beoordeling van de milieu-impact zou deze materiaalstroom nader in ogenschouw moeten worden genomen: zowel qua manier van modelleren in module D (eventueel met dezelfde grondstoffenequivalent als de rest van de outputstroom, maar gecorrigeerd met kwaliteitsfactoren), maar er dient ook aandacht besteed te worden aan de onderliggende drivers en beperkingen bij de asfaltrecycling, op basis waarvan kwaliteitsfactoren en grondstoffenequivalent (beter) bepaald kunnen worden.

Belasten van opwerkingsprocessen in C1 en C3

Bedrijven die hun sloop en verwerkingsprocessen willen verbeteren om een beter asfaltgranulaat te produceren dat gemakkelijker opnieuw kunnen worden ingezet op deklagen krijgen verhoudingsgewijs minder voordelen bij module D dan bedrijven die niet of nauwelijks werken aan verbetering van de kwaliteit. Bouwbedrijf BAM bijvoorbeeld produceert uit oud asfalt PA stone wat een hoge kwaliteit secundair materiaal oplevert waardoor het in nieuwe ZOAB deklagen kan worden toegepast. De bewerking leidt tot meer impact tijdens C1 en C3 ten opzichte van andere partijen die simpeler processen toepassen, terwijl alle bedrijven dezelfde baten bij module D krijgen. Er is nog geen kwaliteitsfactor die de baten goed kan toerekenen aan verschillende verwerkingsprocessen voor asfaltgranulaat.

Aannames over de toekomst

Als baten worden toegerekend aan asfaltgranulaat productie, betekent dat dat we aannames maken over hoe de secundaire materialen worden toegepast in de toekomst. Voor deklagen gaat het om levensduren van 6 tot 16 jaar en voor tussenlagen is er sprake van 25 jaar of zelfs meer. Uitspraken over periodes die ver in de toekomst liggen zijn heel onzeker en moeilijk te onderbouwen. Een gedeeltelijke oplossing hiervoor is om realistische scenario's in de specifieke PCR's op te nemen en regelmatig te updaten.

2.5 Aanbevelingen voor vervolg module D onderzoek

De volgende aanbevelingen kunnen worden gedaan:

- Er dienen afspraken gemaakt te worden of vermeden transport door de inzet van secundair materiaal wel of niet meegenomen moet worden in module D;
- Er zouden meer specifieke correctiefactoren kunnen worden ontwikkeld om het verschil in kwaliteit van (verouderde) bitumen en de toepasbaarheid van secundaire steenslag in bepaalde asfaltlagen (bijv. korrelgrootte, polijsting) mee te nemen in de beoordeling;
- De rekenregels zouden zo moeten worden ontwikkeld dat recyclingprocessen die een hogere kwaliteit secundair materiaal opleveren beter beloond worden.

3 Beton

3.1 Beschrijving betoncases

Allereerst is voor de betoncases op een rij gezet welke aspecten in het kader van dit onderzoek, dat zich op module D richt, in beeld gebracht zouden moeten worden. Er zijn input- en output-variabelen die invloed hebben op module D.

Inputvariabelen

- **Cement**
 - Producten met Portlandcement (CEM I).
 - Producten met Hoogovencement (CEM III)
(overigens beide primair en dus wellicht niet relevant in dit kader)
- **Grind**
 - 100% grind (primair).
 - 70% grind (primair) en 30% puingranulaat als grindvervanger (secundair)
- Overige inputvariabelen: zoals in betreffende cases, dus geen variatie.

Outputvariabelen (einde-levensduur)

- Grondstoffenequivalent (GE) bij materiaalrecycling
(bij standaardscenario einde leven: 95% funderingsmateriaal wegenbouw, 4% toeslagmateriaal in beton en 1% stort):
 - grind/zand voor alle materiaalrecycling (in Ecoinvent zijn de processen voor grind- en zandwinning gebaseerd op hetzelfde (Sand {RoW})| gravel and quarry operation | Cut-off, U): ze hebben dezelfde impact)
 - zandcement voor toepassing als funderingsmateriaal (zoals voorstel Betonhuis)
- Producthergebruik
- 'Laten zitten' aan einde levenscyclus (bijvoorbeeld funderingspalen)

Vervolgens is voor de betoncase het product betonpaal geselecteerd waarin deze aspecten aan bod komen, uitgezonderd producthergebruik (en hoogovencement). Producthergebruik wordt geïllustreerd aan de hand van betonstraatsteen. Bij de heipaal en straatsteen is uitgegaan van generieke data die in het kader van de NMD categorie 3 productkaarten afgelopen tijd werd opgesteld, waarvan de rapportages via NMD zijn gepubliceerd. Hierna worden ze beschreven.

Uitgangspunten

Bij start van het project is de afspraak gemaakt om alle data te baseren op Ecoinvent. Voor cement betekent dat in de betoncase de volgende aanpassingen van processen uit de NMD processendatabase naar Ecoinvent:

- CEM I (CEM I 52.5 R)
Cement, Portland {Europe without Switzerland}| market for
- CEM III/A (CEM III/A 52.5 N)
Cement, blast furnace slag 36-65% {Europe without Switzerland}| market for

Specifiek voor de betoncase is besloten om carbonatatie en wapeningsstaal buiten beschouwing laten. Het argument daarvoor bij staal is dat staal een eigen invloed heeft op module D en daarmee het resultaat van de betoncase minder helder maakt. Het argument bij carbonatatie is dat de wijze van implementatie nog onderwerp van discussie is waarop uiteindelijk PCR antwoord moeten geven gecombineerd met dat dit proces in zichzelf los staat van module D. Afhankelijk van of carbonatatie binnen de systeemgrens of daarbuiten wordt gedeclareerd kan het wel invloed hebben op module D, maar dan zou het de resultaten in de context van dit onderzoek vertroebelen.

Product: palen, betonpalen

Uitgangspunt zijn Betonpalen van 15m, 400 mm x 400 mm. Eenheid: deelproduct: 1 m1 Levensduur: >100 jaar (999). LCA Rapportage categorie 3 data Nationale Milieudatabase Hoofdstuk 41 Funderingsconstructies.

In bijlage 10 staat een tabel met de grondstoffen (halffabricaten), het transport en alle andere processen over de levenscyclus (modules A1 tot en met D) zoals in LCA Rapportage categorie 3 NMD opgenomen. Overeenkomstig de generieke afspraken binnen dit project en de besluiten specifiek voor de betoncase (zie onder uitgangspunten) zijn hierin die wijzigingen doorgevoerd. Staal is er dus uitgehaald en in de betonmortel is cement aangepast. Dit is binnen dit onderzoek de referentie (0-variant).

Varianten betonpalen

De volgende varianten zijn onderzocht, waarbij steeds de 0-variant als basis dient:

0. Funderingen, Palen, Beton met: 100% grind, 100% palen trekken, grondstoffenequivalent =grind
1. Funderingen, Palen, Beton met: 30% grindvervanger, 100% palen trekken, grondstoffenequivalent =grind
2. Funderingen, Palen, Beton met: 100% grind, 20% palen trekken, grondstoffenequivalent =grind
3. Funderingen, Palen, Beton met: 100% grind, 100% palen trekken, grondstoffenequivalent =Betonhuis

De verschillen in modellering van de varianten ten opzichte van de referentie zijn hierna beschreven.

Voor variant 1 is in modules A1-A3 in de betonmortel de 1100 kg grind per m³ beton uit Tabel vervangen door 770 kg grind en 330 kg betonpuingranulaat. Dat betonpuingranulaat (secundair materiaal) komt vrij van milieulast het systeem binnen. Het aandeel secundair in de betonmortel is daarmee (330 kg / 2382 kg =) 13,85%. Daarnaast is er voor de 330 kg puingranulaat transport over 50 km nieuw opgenomen. De andere aanpassing zit in module D waar de 52,8 kg die er aan secundair materiaal per meter paal in module A1 in gaat, wordt afgetrokken van wat netto wordt doorgegeven: 377 kg wordt in deze variant 324 kg.

Voor variant 2, waarin 20% van de palen worden getrokken in plaats van 100% in de referentie, bevat Tabel (in bijlage) de verschillen. Deze treden op vanaf module C1.

Voor variant 3, met grondstoffenequivalent zandcement voor funderingsmateriaal, is er alleen verschil in module D. In module D wordt voor de 95% funderingsmateriaal wegebouw die in het 0-scenario, net als de 4% grindvervanging in beton, vermeden grind-/zandwinning oplevert vervangen door zandcement met 3% vermeden cement.

Product: Straatwerk, Betonsteen

Uitgangspunt zijn straatstenen van beton (betonsteen) dikte 5 cm. Eenheid: 1 m². Levensduur: 25 jaar. LCA Rapportage categorie 3 data Nationale Milieudatabase, Hoofdstuk 83 Elementverhardingen.

De tabel in bijlage 10 bevat de grondstoffen (halffabricaten), het transport en alle andere processen over de levenscyclus (modules A1 tot en met D) zoals in LCA Rapportage categorie 3 NMD opgenomen. Overeenkomstig de generieke afspraken binnen dit project en de besluiten specifiek voor de betoncase (zie onder uitgangspunten) zijn hierin die wijzigingen doorgevoerd. In de betonmortel is cement dus aangepast. Binnen dit onderzoek is de referentie (0-variant) de straatsteen die wordt hergebruikt na 25 jaar overeenkomstig de LCA rapportage categorie 3 NMD. In deze 0-variant is aangenomen dat de 95% die voor producthergebruik in aanmerking komt dezelfde kwaliteit heeft als een nieuwe steen (kwaliteitsfactor K=1) waarmee de grondstoffenequivalent voor deze 95% gelijk is aan een nieuwe steen (zoals geproduceerd in A1-A3). Zie voor producthergebruik en de kwaliteitsfactor K ook het Wijzigingsblad (amendement 1 van 1-10-2020) bij Bepalingsmethode Milieuprestatie Bouwwerken vs. 1.0 (juli 2020).

De betonsteen wordt gebruikt om in te gaan op producthergebruik (PHG), de kwaliteitsfactor (K) en materiaalrecycling. De volgende varianten zijn bekeken.

Varianten betonsteen

De volgende varianten (met belangrijkste kenmerken) zijn onderzocht:

0. Betonsteen, met: 20% grindvervanger, 95% producthergebruik (kwaliteitsfactor K:1,0), 4% recycling (GE=grind).
1. Betonsteen, met: 20% grindvervanger, 95% producthergebruik (kwaliteitsfactor K:0,5), 4% recycling (GE=grind).
2. Betonsteen, met: 20% grindvervanger, 99% recycling (GE=grind).

De verschillen in modellering van de varianten ten opzichte van de referentie zijn hierna beschreven.

Voor variant 1 is verondersteld dat de kwaliteit van de her te gebruiken stenen minder is zodat ze na de volgende toepassing niet nogmaals kunnen worden hergebruikt. De kwaliteitsfactor is daarom op 0,5 gesteld. De enige aanpassing in de modellering is in module D gedaan: de grondstoffenequivalent is de helft van een nieuwe steen.

Voor variant 2, is verondersteld dat er geen producthergebruik plaatsvindt en dat 99% als puingranulaat beschikbaar komt voor een volgende toepassing.

De massabalans voor de bepaling van wat er in de 0-variant en variant 1 netto aan secundair materiaal wordt doorgegeven aan een volgende toepassing is opgenomen in 4.1 en voor variant 2 in tabel 4.2.

Tabel 3.1 Massabalans puingranulaat (secundair) 0-variant en variant 1, per m² steen.

		kg/m ²	Toelichting
IN	A1	6,5	6,5 kg puingranulaat per m ² steen
IN	A5	0,195	a.g.v. 3% verlies
UIT	D	6,2	puingranulaat dat uit het systeem gaat met 95% producthergebruik (dat wordt beloond door aftrek van hetzelfde product, met hetzelfde aandeel sec.)
UIT	D	8,8	Puingranulaat
UIT	netto	8,3	kg puingranulaat netto doorgegeven

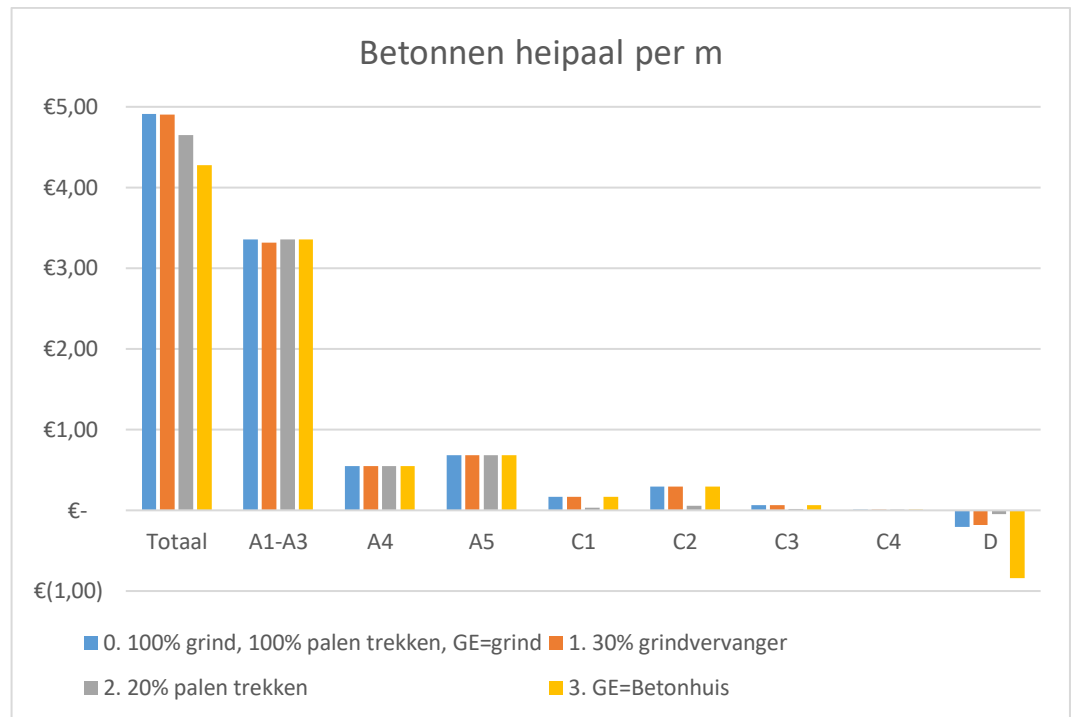
Tabel 3.2 Massabalans puingranulaat (secundair) variant 2, per m² steen.

		kg/m ²	Toelichting
IN	A1	6,5	6,5 kg puingranulaat per m ² steen
IN	A5	0,195	a.g.v. 3% verlies
UIT	D	0	Geen producthergebruik.
UIT	D	114	Puingranulaat
UIT	netto	107	kg puingranulaat netto doorgegeven

3.2 Vergelijking en toelichting betonnen varianten

Betonpaal

Figuur 3.1 laat voor de referentie (0-variant) en de 3 varianten de MKI-waarde zien.



Figuur 3.1 Vergelijking milieupact van de 0-variant en 3 andere varianten (in MKI), Totaal A-D en per module.

Bij Totaal is nauwelijks zichtbaar dat variant 1 een lagere MKI-waarde heeft, terwijl variant 2 en vooral 3 wel een lagere MKI-waarde laten zien. De bespreking per module geeft meer inzicht in de opbouw van de totale MKI-waarde.

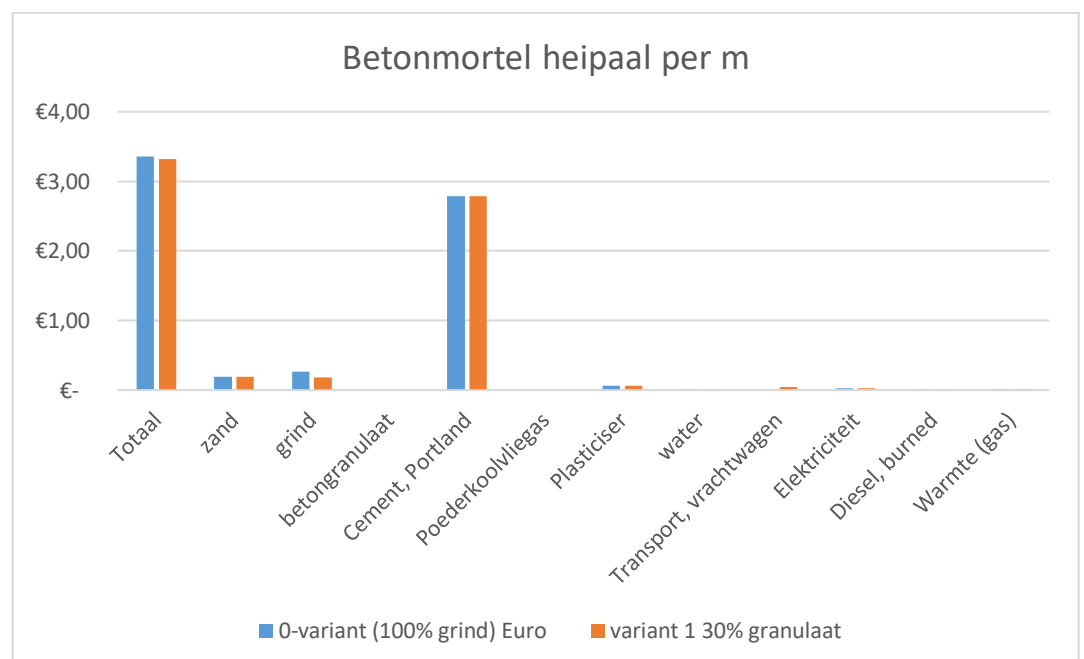
Modules A1-A3 bestaan uit de productie van betonmortel (0,16 m³ per meter heipaal).

Figuur 3.2 laat zien dat cementproductie dominant is. Bij grind is de 30% reductie zichtbaar. Figuur 3.2 kijkt bij productie, modules A1-A3, alleen variant 1 af van de overige doordat grind daar is vervangen door betonpuingranulaat. Bij modules A4 en A5 zijn er geen verschillen tussen de varianten. Bij modules C1, C2 en C3 is er alleen verschil bij variant 3 waar als einde-leven scenario slechts 20% van de palen wordt getrokken en de rest blijft zitten.

Bij module D is de lagere vermeden grindwinning zichtbaar in variant 1 vanwege de 30% puingranulaat die als grindvervanger in module A het systeem vrij van milieulast binnenkwam. Het laten zitten van 80% van de palen in variant 2 resulteert uiteraard in een hogere (lagere vermeden) impact in module D. Tenslotte is duidelijk zichtbaar bij variant 3 dat wanneer als grondstoffenequivalent zandcement wordt aangehouden in plaats van grind de vermeden milieu impact in module D hoger is.

Module D van de referentie en van variant 1 en 2 bestaat geheel uit de grondstoffenequivalent zand/grind (vermeden zand-/grindwinning): 388 kg in de referentie (- €0,21) en 334 kg in variant 1 (- €0,18) omdat er in module A1, en met 3% bouwverlies in A5, 54 kg betonpuingranulaat (secundair materiaal) het systeem binnenkwam. Module D van variant 2 bestaat uit iets meer dan 20% van die van de referentie (- €0,05) omdat 80% van de betonpalen niet wordt getrokken maar het bouwverlies wel 100% is meegerekend.

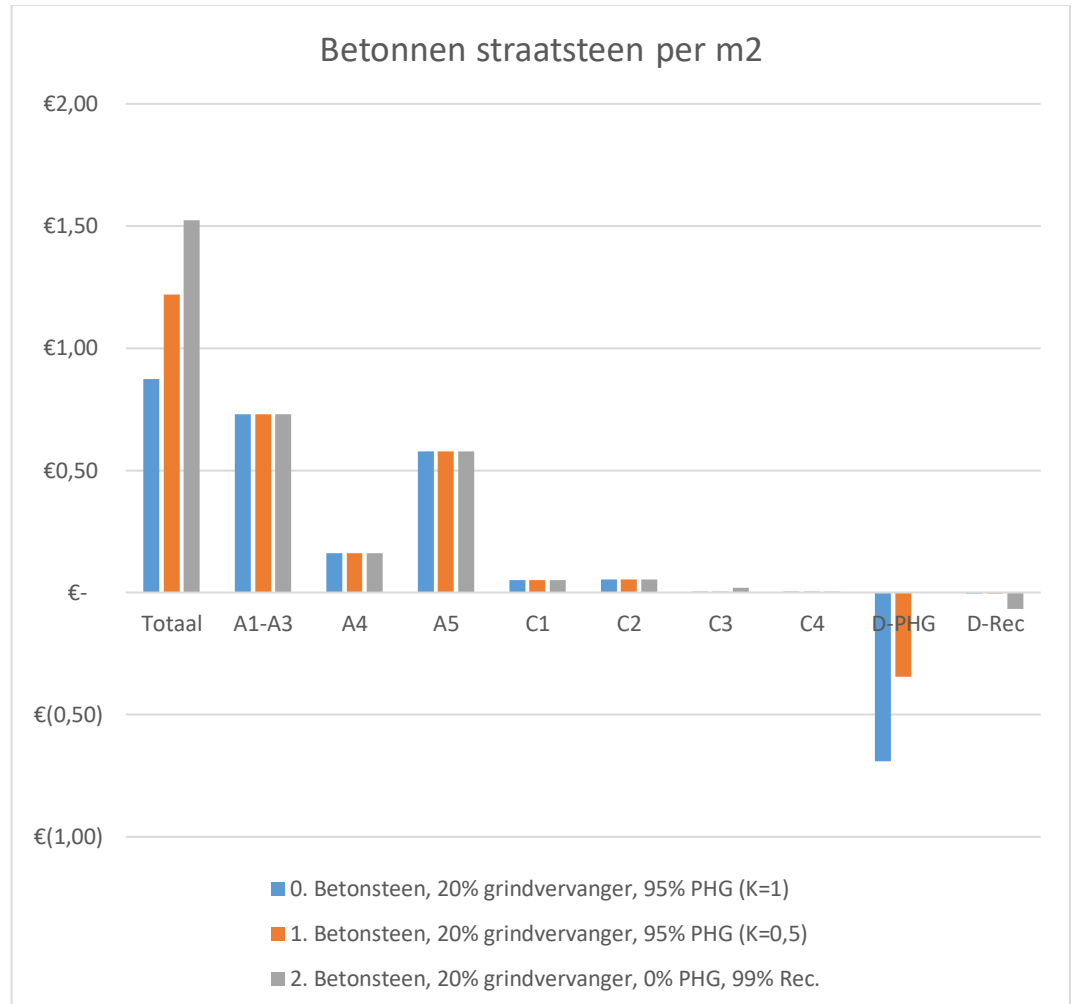
In module D van variant 3 (zandcement als grondstoffenequivalent voor toepassing als funderingsmateriaal) wordt van de totaal minus €0,82 99% bepaald door grondstoffenequivalent zandcement (76% door cement, 23% door zand) en 1% door grind. Daarbij is dezelfde cement aangehouden als in de productie (Portlandcement).



Figuur 3.2 Vergelijking milieupact van de 0-variant en variant 1 (MKI in €), Totaal A1-A3 en per onderdeel.

Betonsteen

Figuur 3.3 laat voor de referentie (0-variant) en de 3 varianten de MKI-waarde zien.



Figuur 3.3 Vergelijking milieu impact van de 0-variant en 2 andere varianten (in MKI), Totaal A-D en per module.

Modules A1-C4 zijn voor alle varianten gelijk, uitgezonderd dat bij variant 2 in C3 nog net zichtbaar is dat meer moet worden gebroken (100% in plaats van 5%) en dat er iets meer wordt gestort (1% van 95% die in het 0-scenario niet wordt gebroken; niet zichtbaar). Module D bepaalt hier dus het verschil in het totaal. Bij de betonsteen is onderscheid gemaakt in module D gerelateerd aan producthergebruik en module D gerelateerd aan materiaalrecycling (betonpuingranulaat).

Modules A1-A3 bestaan uit de productie van betonsteen (0,05 m3 betonmortel per m2 betonsteen; 111,5 kg) en hebben een MKI van € 0,73. In het 0-scenario wordt in module D minus € 0,69 bereikt door 95% producthergebruik met $K = 1$. In scenario 1, met als enig verschil K nu 0,5 is, bedraagt module D door hergebruik minus €0,35. In scenario 2 is geen sprake van hergebruik als steen en levert recycling in D minus €0,07.

3.3 Kwantitatieve duiding

Tabel 3.3 Milieu-impact over gehele levensduur in MKI(€) per functionele eenheid.

Varianten betonpalen		Totaal (€)	%
0.	Beton: 100% grind, 100% palen trekken, GE=grind	4,91	100%
1.	Beton 30% grindvervanger, 100% palen trekken, GE=grind	4,90	100%
2.	Beton: 100% grind, 20% palen trekken, GE=grind	4,65	95%
3.	Beton met: 100% grind, 100% palen trekken, GE=Betonhuis	4,28	87%

Varianten betonsteen		Totaal (€)	%
0.	Beton: 20% grindvervanger, 95% producthergebruik K=1,0, 4% recycling (GE=grind).	0,87	100%
1.	Beton: 20% grindvervanger, 95% producthergebruik K=0,5, 4% recycling (GE=grind).	1,22	140%
2.	Beton: 20% grindvervanger, 99% recycling (GE=grind).	1,52	174%

Tabel 3.4 Bijdrage van Module A1-3 en module D aan de absolute milieu-impact.

Varianten betonpalen		Bijdrage A1-A3	Bijdrage D
0.	Beton: 100% grind, 100% palen trekken, GE=grind	63%	4% baat
1.	Beton 30% grindvervanger, 100% palen trekken, GE=grind	63%	3% baat
2.	Beton: 100% grind, 20% palen trekken, GE=grind	71%	1% baat
3.	Beton met: 100% grind, 100% palen trekken, GE=Betonhuis	56%	14% baat

Varianten betonsteen		Bijdrage A1-A3	Bijdrage D
0.	Beton: 20% grindvervanger, 95% producthergebruik K=1,0, 4% recycling (GE=grind).	32%	31% baat
1.	Beton: 20% grindvervanger, 95% producthergebruik K=0,5, 4% recycling (GE=grind).	38%	18% baat
2.	Beton: 20% grindvervanger, 99% recycling (GE=grind).	44%	4% baat

3.4 Conclusies milieuprestatie betonproducten

Palen laten zitten (scenario 2) levert voordeel ten opzichte van 0-scenario (GE = grind/zand): de vermeden impact door het niet hoeven trekken en transporteren is groter dan het voordeel van vermeden zand-/grindwinning.

In module D kan ook een last in plaats van voordeel moeten worden gedeclareerd. Stel dat men grind voor 100% vervangt door puingranulaat (1100 kg per m³; 176 kg per m heipaal) en men trekt 20% van de palen (zoals in scenario 2) dan wordt 75,4 kg aan puingranulaat doorgegeven aan een volgende toepassing. Netto wordt er dan minus 100,6 kg doorgegeven en moet er dus milieuimpact voor grindwinning (GE = grind) worden toegerekend in module D.

Grind vervangen door puingranulaat loont niet of nauwelijks: de besparing op milieuimpact in module A1 - minder grindproductie - is (nagenoeg) gelijk aan het minder besparing in module D want er wordt netto evenveel minder doorgegeven aan een volgende toepassing en de grondstoffenequivalent is identiek aan het primair materiaal grind.

De keuze van een grondstoffenequivalent voor betonpuingranulaat toegepast in een fundering (zandcement of grind/zand) heeft aanzienlijke invloed op het resultaat.

De hoeveelheid materiaal die netto wordt doorgegeven aan een volgende toepassing (volgend productsysteem) en de kwaliteit ervan (grondstoffenequivalent, factor K) bepalen de impact van module D.

3.5 Overige opmerkingen betonanalyse

Is er sprake van inzet van secundaire brandstoffen bij cementproductie? Daarvan is nu niet uitgegaan, mede omdat het lastig is na te gaan. Er is sowieso nog discussie over hoe moet worden omgegaan met emissies bij inzet van brandstof uit afval bij cementproductie. Ecoinvent gaat hier bijvoorbeeld anders mee om dan dat we in Nederland gewoon waren. Bij voorkeur wordt dit ondubbelzinnig vastgelegd in een PCR van cement (die uiteraard niet strijdig is met de EN15804).

Bij de bepaling van de hoeveelheid secundair materiaal kunnen toeslagstoffen voor verwarring zorgen. Zijn bijvoorbeeld AVI-bodemassas en poederkoolvliegas (die vrij van milieulast in A1 het systeem binnenkomen secundaire materialen of co-producten? In deze studie zijn ze als co-producten beschouwd. Een PCR zou kunnen voorschrijven hoe ermee moet worden omgegaan. Wanneer je het beschouwd als "recovered from waste" dan moet het volgens EN15804 worden beschouwd als secundair materiaal. De voorbeelden uit de EN15804 geven hier geen duidelijkheid: 'Examples for secondary materials (to be measured at the system boundary) are recycled scrap metal, crushed concrete, glass cullet, recycled wood chips, recycled plastic'.

3.6 Aanbevelingen n.a.v. betonanalyse

Het raamwerk van EN15804, Bepalingsmethode en PCR laat nog ruimte voor arbitraire keuzes door de LCA-uitvoerder die het resultaat substantieel beïnvloeden. Een groot deel daarvan kan het best worden opgelost door aanvullende richtlijnen/instructies (in de norm, de PCR van cement/beton en mogelijk ook Bepalingsmethode). Daarnaast is het goed om voorbeelden uit te bereiden en overzichtelijk te presenteren per categorie (op de website van de NMD). Voorbeelden:

- Grondstoffenequivalent voor betonpuingranulaat.
Zie ook: www.vlca.nl/grondstoffenequivalent-betongranulaat-grind-of-steenslag.
 - Indien (zand)cement als grondstoffenequivalent wordt aangewezen dan is nadere specificatie van het cementtype (en eventuele samenhang met cement dat gebruikt werd voor productie van beton) noodzakelijk.
- Secundair materiaal en producthergebruik.
 - Hoe om te gaan met de berekening van de hoeveelheid puingranulaat (secundair materiaal) die netto wordt doorgegeven aan een volgende toepassing indien er ook sprake is van producthergebruik? Dit speelt in het bijzonder wanneer er sprake is van een kwaliteitsfactor $K < 1$.
- Kwaliteitsfactor (K) bij producthergebruik.
 - In het algemeen: hoe stel je K vast? Daarover is al gepubliceerd (zie Wijzigingsblad (amendement 1 van 1-10-2020) bij Bepalingsmethode Milieuprestatie Bouwwerken vs. 1.0 (juli 2020)). De ervaring is nog beperkt en keuzes zijn soms arbitrair.

Voorbeelden helpen. In relatie tot verwerking einde leven (recycling, stort) na laatste product (her-) gebruik. K heeft namelijk expliciet alleen invloed op module D. Bijvoorbeeld het toepassen van een hergebruikte betonsteen die met $K=0,5$ het systeem verliet, betekent in het volgende systeem dat in module A1 niets hoeft te worden toegerekend (vrij van milieulast komt de steen het systeem binnen). Maar er wordt aan product ook niets doorgegeven aan een daarop volgend systeem. Dat wat het systeem in A1 binnenkwam moet in module D met een factor 0,5 worden gewaardeerd (milieulast van halve productie). Dat de steen dan gebroken en gerecycled wordt zou in module C3 van die toepassing volledig moeten worden toegerekend omdat volgens EN15804 milieupact moet worden gedeclareerd in de module waar deze optreedt.

4 Hout

4.1 Beschrijving cases hout

Functionele eenheid

Er is gekozen voor een vurenhouten balk voor constructies. Een typische afmeting is 0,1x0,2x2,7 m. Deze balk geeft een gewicht van 25 kg en wordt veelvuldig toegepast in Houtskeletbouw (HSB).

Input variabelen

Om de invloed van hergebruikte grondstoffen te onderzoeken zijn twee inputs onderzocht:

- Primair hout (Vuren, Europees Naaldhout)
- Secundair hout (hergebruikt hout, ook Vuren, Europees Naaldhout, uit sloop)

Uitgangspunten

Bij de start van het project is afgesproken om alle data te baseren op EcoInvent 3.5. Voor Europees Naaldhout is het volgende EcoInvent proces aangehouden: Sawnwood, softwood, dried (u=10%), planed {RER}| production | Cut-off, U

Output variabelen

Eindelevensduur scenario's

Om de werking van module D te onderzoeken is gekozen om verschillende eindelevensduur scenario's te modelleren:

- Forfaitair scenario voor schoon hout, NMD ID 22 (5% stort, 80% verbranding, 10% recycling en 5% hergebruik)
- Scenario op basis van 100% verbranding
- Scenario op basis van 100% recycling
- Scenario op basis van 100% hergebruik

Grondstoffenequivalent

Voor het vurenhout is het moment waarop End-of-Waste wordt bereikt en het bijbehorende grondstoffenequivalenten als volgt bepaald:

In geval van **recycling** tot spaanders voor de productie van spaanplaat:

- Materiaal voor recycling: verspaand hout
- End-of-Waste
Het End-of-Waste punt is vastgesteld na het verspanen van het vrijgekomen sloophout tot spaanders
- Grondstoffenequivalent
Verspaand sloophout vervangt houtspaanders, hiervoor is het EcoInvent profiel "Wood chips, dry, measured as dry mass {RER}| three layered laminated board production | Cut-off, U"

In geval van **hergebruik** van het vurenhout als constructie hout (balk):

- Materiaal voor hergebruik: vurenhouten balk

- End-of-Waste
Het hout wordt na sloop geïnspecteerd, indien nodig bijgeschaafd en van spijkers of andere verontreinigingen ontdaan en bereikt dan het End-of-Waste punt
- Grondstoffenequivalent
Sawnwood, softwood, dried (u=10%), planed {RER}| production | Cut-off, U.

In geval van **verbranding** in een AVI voor terugwinning van elektriciteit en warmte wordt het in de Bepalingsmethode aangewezen profiel voor 'vermeden energiedrager' gebruikt (hernieuwbaar).

Overige uitgangspunten

Module A1-A3

Voor afval tijdens productie wordt een afvalpercentage van 5w% aangehouden. Voor het afval dat tijdens productie ontstaat wordt hetzelfde eindelevensduur scenario gehanteerd als voor het afval dat eindeleven ontstaat. Voor de aanvoer afstand van Europees Naaldhout is 600 km aangehouden. Voor de aanvoer afstand voor secundair hout is 50 km aangehouden.

Module A4-A5

Transport naar de bouwplaats 150 km
Montage vindt plaats zonder emissies (handwerk)
Afval op de bouwplaats, prefab product, 3w%

Module C1-C4

Demontage vindt plaats zonder emissies (handwerk)
Forfaitaire transport afstanden voor C2 zijn toegepast.

De processen voor afvalverwerking zijn gepresenteerd in Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Gehanteerde lasten voor afvalverwerking en stort (C3-C4).

Landfill

Waste wood, untreated {Europe without Switzerland}| treatment of waste wood, untreated, sanitary landfill | Cut-off, U

Incineration

Waste wood, untreated {CH}| treatment of, municipal incineration | Cut-off, U

Recycling

Wood chipping, industrial residual wood, stationary electric chipper {GLO}| market for | Cut-off, U

Recycling after end-of-waste point

n.a.

Re-use

Materials for re-use, no waste processing taken into account

Re-use after end-of-waste point

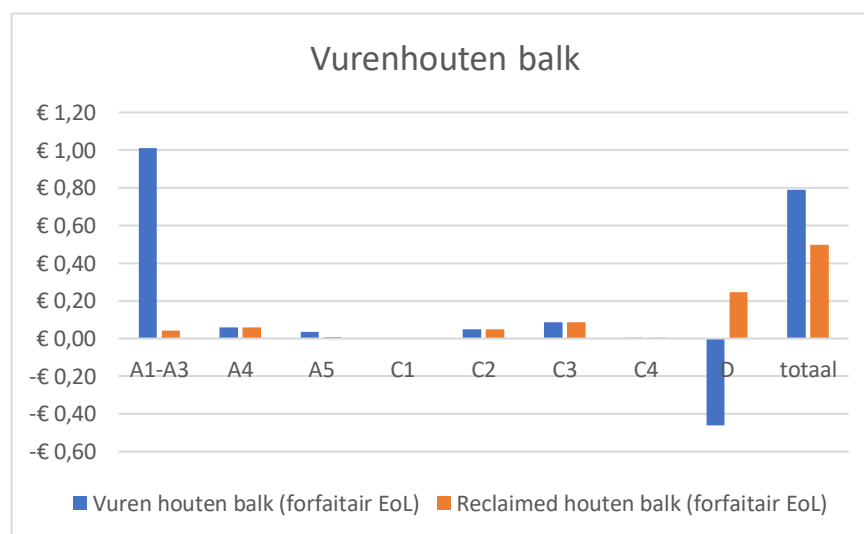
n.a.

4.2 Vergelijking en toelichting cases hout

Vergelijking primair en secundair hout als grondstof

Het eerste vergelijk dat we willen maken is dat tussen een houten balk van primair en een balk van secundair materiaal, beiden met gebruik van het forfaitaire eindelevensduur scenario. Dit zijn de situaties, die we nu in de praktijk het meest tegen komen. Figuur 4.1 laat de milieuprestatie voor beide producten zien. De balk uit secundair hout heeft een milieulast van 0 in module A1. Daarentegen gaat door het eindelevensduur scenario de houten balk grotendeels verloren en daarmee komt er in module D naast de baat voor energierugwinning ook een last door netto verlies van secundair materiaal. Het resultaat is uiteindelijk een last in module D.

Als we analyseren waar het verschil in milieulast tussen de primaire en secundaire houten balk vandaan komt dan zien we dat de milieuwinst van secundair hout door vermijden van productie van het primaire product (€ 0,744) vrijwel geheel weer verloren gaat door de last in module D door het netto verlies aan secundair materiaal (€ 0,65). Daarbij speelt ook mee dat het product uit secundair hout voor het aandeel recycling en hergebruik in het eindelevensduur scenario geen uitsparing in module D krijgt (€ 0,056). Het verschil in milieuprestatie tussen het primaire en het secundaire product komt uiteindelijk vooral uit de besparing op transport in module A2 (€ 0,213). Tabel 4.2 laat de verschillen per module nog eens zien.



Figuur 4.1 Vergelijking milieuprestatie, uitgedrukt in MKI-waarde, per module en totaal voor een vurenhouten balk uit primair of secundair hout (uit sloop).

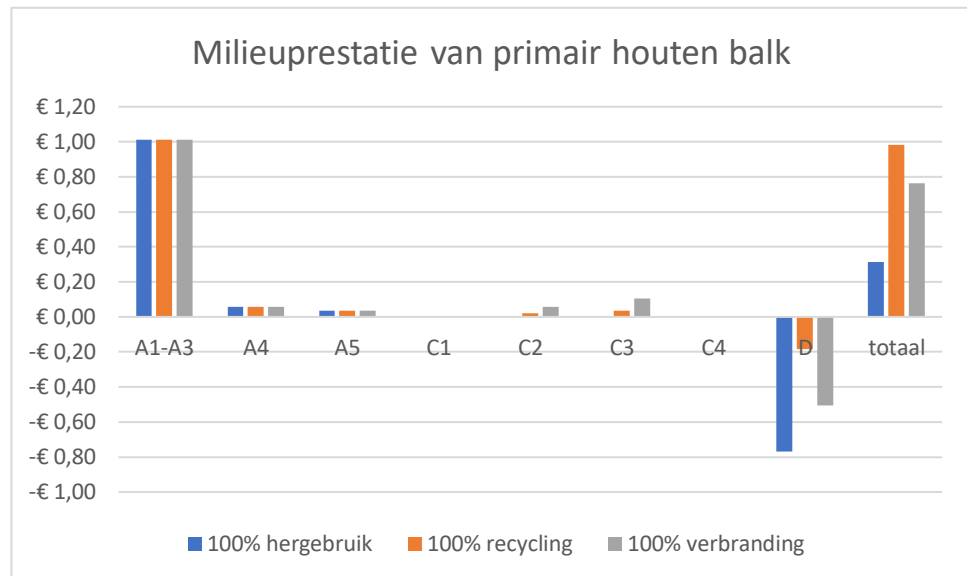
Tabel 4.2 Verschil in milieulast per module tussen primair hout en secundair hout.

	primair hout	secundair hout	verschil
A1	0,744	0	0,744
A2	0,233	0,02	0,213
A3	0,034	0,021	0,013
A4	€ 0,06	€ 0,06	0,000
A5	€ 0,04	€ 0,01	0,030
C1	€ 0,00	€ 0,00	0,000
C2	€ 0,05	€ 0,05	0,000
C3	€ 0,09	€ 0,09	0,000
C4	€ 0,01	€ 0,01	0,000
D energierugwinning	-€ 0,40	-€ 0,40	0,000
D verlies secundair materiaal	€ 0,00	€ 0,65	-0,652
D recycling	-€ 0,02	€ 0,00	-0,018
D hergebruik	-€ 0,04	€ 0,00	-0,038
Totaal	€ 0,79	€ 0,50	0,292

Vergelijking 100% scenario's voor primair hout

Een tweede interessant vergelijk om te maken is tussen de verschillende eindelevensduur scenario's toegepast op het product gemaakt uit primair hout. Welk scenario leidt tot de meeste milieuwinst als we kijken naar 100% verbranding, recycling en hergebruik? Figuur 4.2 laat het resultaat zien. De verschillen ontstaan niet zozeer in de modules C1-C4, maar met name in module D. De vermeden milieulast van de verschillende scenario's verschilt behoorlijk. Deze is het grootst bij hergebruik, waarbij de milieulast van het oorspronkelijke product wordt vermeden. Hierbij is in deze berekening geen kwaliteitsverlies aangenomen. In de praktijk kan dit er soms wel het geval zijn. De milieuwinst door verbranding in module D is aanzienlijk groter dan die van recycling. Daarbij moet wel worden meegerekend, dat verbranding ook een last kent in module C3. Maar in totaal leidt verbranding tot een betere milieuprestatie dan recycling (tot spaanders voor spaanplaat productie).

Figuur 4.2 Milieuprestatie van een primair houten balk, met verschillende eindelevensduur scenario's.



4.3 Analyse houtcases

Keuze van het grondstoffenequivalent

Bij de keuze van het grondstoffenequivalent bij een secundair materiaal hebben we nu gelet op technische gelijkwaardigheid en zo hebben we voor een secundaire houten balk als grondstoffenequivalent het milieuprofiel gekozen van een primaire houten balk.

Bij hergebruik als eindeleven scenario voor een primaire houten balk, wijzen we dit grondstoffenequivalent ook aan voor het bepalen van de vermeden milieulast als baat in module D. Met andere woorden: dit profiel wordt als milieukwaliteit doorgegeven naar een volgende cyclus en daarom lijkt dit het juiste grondstoffenequivalent om te hanteren voor hergebruik van een houten balk.

Gelijk aan deze redenering zou bij de grondstof houtspaanders, voor de productie van spaanplaat, het milieuprofiel houtspaanders als grondstoffenequivalent worden aangehouden en wordt dus dit profiel als milieukwaliteit doorgegeven naar de volgende cyclus.

Is er sprake van dubbeltelling bij onvoorzien hergebruik?

Als we twee cycli na elkaar beschouwen, waarbij hergebruik plaats vindt, terwijl dit niet gebruikelijk is, dan lijkt het erop dat er sprake kan zijn van dubbeltelling. Deze situatie komen we in de praktijk regelmatig tegen.

We beschouwen de volgende situatie:

- Cyclus 1 productie en gebruik van een houten balk voor constructieve toepassing, waarbij het forfaitaire eindeleven scenario is aangehouden in de LCA

- Cyclus 2: de houten balk wordt geoogst bij einde leven en na inspectie weer toegepast, waarbij het forfaitaire eindeleven scenario wederom wordt aangehouden in de LCA

Dit is een situatie die vandaag de dag kan voorkomen, want als de producent geen retoursysteem hanteert dient deze het forfaitaire eindeleven scenario uit de Bepalingsmethode aan te houden.

In deze situatie wordt in cyclus 1 vrijwel geen milieulast doorgegeven, want het eindeleven scenario gaat uit van 80% verbranding en slechts een klein deel recycling en hergebruik. Het product komt in de 2^e cyclus zonder milieulast binnen als grondstof, maar bij verbranding van deze grondstof op einde leven, wordt er een milieulast gerekend in module D voor netto verlies van secundair materiaal. Er wordt dus een last toegerekend, die eerder niet is doorgegeven. Daarbij wordt er in de 2^e cyclus weer verbranding toegerekend, die in de 1^e cyclus ook al was berekend. Hier is dus sprake van een dubbeltelling. Dat dit fout gaat komt doordat het hergebruik niet voorzien is en dus geen significant onderdeel uitmaakt van het forfaitaire eindeleven scenario.

Was het hergebruik voorzien of gebruikelijk geweest, dan was er andere situatie ontstaan. In dat geval zou hergebruik een significant onderdeel van het eindeleven scenario zijn en wordt er milieulast doorgegeven naar de volgende cyclus door de berekende uitsparing in module D. Vervolgens wordt er door het verlies (verbranding) in de 2^e cyclus een last in module D toegerekend, waardoor de milieulast niet verloren gaat en er ook geen sprake is van dubbeltelling.

In deze laatste situatie is er naar ons idee dan wel sprake van een onevenwichtigheid, omdat de hele milieulast van het primaire product wordt doorgegeven naar de 2^e cyclus. Hierdoor zou een primair product, dat geheel wordt hergebruikt (zonder kwaliteitsverlies), in theorie 0 milieulast in de 1^e cyclus hebben en volledige last in de 2^e cyclus. In theorie zou milieulast op deze manier oneindig kunnen worden doorgegeven naar toekomstige gebruikscycli.

Deze onevenwichtigheid is te voorkomen door het toekennen van een kwaliteitsfactor (K) aan het product dat wordt hergebruikt. Deze factor is onderdeel van de Bepalingsmethode en kan gebruikt worden om duidelijk te maken dat een product dat wordt hergebruikt wellicht niet meer de volledige kwaliteit heeft van het oorspronkelijke product. In ons geval zouden we kunnen stellen dat het product 1 keer kan worden hergebruikt (dat gebeurt feitelijk in onze casus). Omdat we in ons productsysteem vervolgens uitgaan dat het forfaitaire eindelevensduur scenario wordt gehanteerd is geen sprake meer van een verder hergebruik of recycling. Het product gaat dus in deze casus 2 gebruikscycli mee. In deze casus lijkt het dus terecht een kwaliteitsfactor te hanteren waarmee de kwaliteit over 2 cycli wordt verdeeld. Een voor de hand liggende keus lijkt $k=50\%$, waarmee de milieulast gelijk over beide cycli verdeeld zou worden.

Voor het bepalen van de kwaliteitsfactor zien wij nog een mogelijk andere overweging. Door 50% te hanteren wordt de milieulast gelijk over de twee cycli gehanteerd. Als we naar onze 2 gebruikscycli kijken, dan zien we wel een duidelijk verschil.

De eerste cyclus maakt gebruik van enkel primair materiaal en was in ons geval traditioneel gebruik van het product. De 2^e cyclus is anders dan gebruikelijk en gericht op circulair gebruik van het product. Het is ongebruikelijk (zie ook het feit dat het geen significant onderdeel uitmaakt van het forfaitaire eindelevensduur scenario), vraagt extra inspanning en is onderdeel van onze beoogde transitie naar een circulaire economie. Deze 2^e gebruikscyclus zouden we willen stimuleren.

Vanuit dat oogpunt zouden we voor een dergelijke situatie er ook voor kunnen kiezen een andere ratio te hanteren voor de verdeling van de milieulast over de twee gebruikscycli, bijvoorbeeld 80/20. Waarbij dan $K=20\%$. Hiermee zou dan enkel 20% uitsparing in module D van de eerste gebruikscyclus toegerekend worden en dien ten gevolge zou ook de last in module D in de 2^e cyclus slechts 20% bedragen van het primaire equivalent.

Milieulast in module D

Bij de toerekening van de milieulast door netto verlies van secundair materiaal vragen we ons af wat hier de milieutechnische onderbouwing bij is. Er gaat een materiaal verloren en om het systeem op niveau te houden (macroscopisch beschouwd) zal er een nieuwe grondstof moeten worden geproduceerd. De productie hiervan zal als milieulast worden berekend bij de productie voor het nieuwe product waar de productie voor zal plaats vinden. We missen de rationeel om dit dan als last in module D ook aan de LCA die we beschouwen toe te rekenen.

In de EN 15804 wordt geen toelichting gegeven. Het feit dat we een last toerekenen volgt enkel uit de opbouw van de rekenregels die in een Appendix zijn gegeven en die aangeven dat bij verlies de baat verandert in een last. In de tekst van de EN15804 wordt nergens gesproken over een mogelijke last in module D en wordt ook geen uitleg of duiding bij gegeven. Dit brengt de vraag op of een last toerekenen wel echt de bedoeling is geweest van de opstellers van de EN 15804.

De toerekening van de last in module D kan gezien worden als het eindpunt van milieulast, die wordt doorgegeven naar een volgende cyclus door recycling of hergebruik. Vanuit dit, meer rekenkundig perspectief, is er wel een logica in de toerekening van de milieulast. Met het toekennen van een uitsparing voor recycling en hergebruik van primaire materialen wordt er milieulast in mindering gebracht in het productsysteem dat wordt beschouwd. Deze milieulast wordt als het ware doorgegeven naar een volgende gebruikscyclus, buiten de systeemgrenzen van het beschouwde productsysteem. De enige manier om deze doorgegeven milieulast niet verloren te laten gaan in ons LCA model is dan de toerekening van een last in module D bij verlies van de secundaire materialen. (een andere keus had kunnen zijn de uitgespaarde milieulast toe te rekenen als milieulast aan de secundaire grondstof in module A1 van het volgende product systeem).

4.4 Kwantitatieve duiding

Een kwantitatieve samenvatting van de rekenresultaten is hieronder per product weergegeven. Voor de volledigheid wordt benoemd dat deze resultaten niet los van de context, zoals beschreven in de voorgaande hoofdstukken, beschouwd kan worden. Variant 0 is steeds de referentie.

Tabel 4.3 Milieu-impact over gehele levensduur in MKI(€) per functionele eenheid.

Varianten vurenhouten balk		Totaal (€)	%
0.	Hout: primair	0,79	100%
1.	Hout: secundair	0,50	63%
2.	Hout: primair, 100% recycling	0,98	125%
3.	Hout: primair, 100% verbranding	0,76	97%
4.	Hout: primair, 100% hergebruik	0,31	40%

Tabel 4.4 Bijdrage van Module A1-3 en module D aan de absolute milieu-impact.

Varianten vurenhouten balk		Bijdrage A1-A3	Bijdrage D
0.	Hout: primair	59%	27% baat
1.	Hout: secundair	8,2%	49% last
2.	Hout: primair, 100% recycling	75%	14% baat
3.	Hout: primair, 100% verbranding	57%	29% baat
4.	Hout: primair, 100% hergebruik	54%	41% baat

4.5 Aanbevelingen houtcases

De aanbeveling voor niet meenemen van de module D in de 1-puntscore MPG/MKI volgt weliswaar niet direct uit onze casus, maar heeft er wel direct verband mee. Waar de modules A, B en C allemaal gaan over het berekenen van waarneembare emissies e.d., is module D gebaseerd op onderbouwde inschattingen over uitsparingen van emissies door recycling, hergebruik of energietेरugwinning. Toekomstige effecten zijn evenwel door technologische en economische ontwikkelingen onzeker zodat het ons goed lijkt om de onderbouwing landelijk strak te reguleren. Dan wel te bezien hoe module D in de 1-puntscore MPG/MKI moet worden betrokken.

De casus met secundair hout als grondstof laat zien dat het toerekenen van een last bij netto verlies van secundaire grondstoffen ertoe leidt dat bij producten, met een groot aandeel verbranding in het forfaitaire eindelevensduur, gebruik van secundaire grondstoffen niet leidt tot een betere milieuprestatie (als de overige aspecten gelijk zouden zijn). Dit roept vragen op in de praktijk en verlaagt het draagvlak voor gebruik van LCA voor milieuprestatie berekening van circulaire producten op basis van secundair hout (en dit geldt waarschijnlijk ook bij kunststoffen).

Uit onze casus zien we 2 redenen dat dit gebeurt:

1. We hanteren een kwaliteitsfactor van 100% in onze casus. Als we een ander percentage hadden gehanteerd dan was minder milieulast naar de 2^e gebruikscyclus doorgegeven en dien ten gevolge ook een kleinere milieulast bij netto verlies van secundair materiaal toegerekend in de casus met secundair hout.
2. We hanteren het forfaitaire eindelevensduur scenario. Hierdoor krijgen we grotendeels verbranding toegerekend als eindelevensduur scenario en daarmee netto verlies van materiaal. In de geest van onze casus ligt een ander eindelevensduur scenario meer voor de hand (bijvoorbeeld nogmaals hergebruik of recycling of combinaties).

Dat in de praktijk vaak het forfaitaire eindelevensduur scenario wordt gehanteerd komt door de hardheid clause. Bij onvoldoende zekerheid dat een ander eindelevensduur scenario realistisch is hanteert men het forfaitaire scenario. Als verder hergebruik of recycling realistisch is, dan zou het goed zijn dat dit in de forfaitaire eindelevensduur scenario's wordt opgenomen. Dit zou de impact van de last bij netto verlies van secundaire materiaal minder uitgesproken groot laten zijn.

In module D worden verschillende effecten bepaald en enkel de som wordt gedeclareerd. Dit leidt ertoe dat de gebruiker geen inzicht krijgt in de onderliggende effecten en hun verhouding en daarmee is interpretatie van module D in de praktijk lastig.

- Forfaitaire eindelevensduur scenario's zijn een belangrijk onderdeel van de methode en hebben grote impact. Tot nu toe besteden we relatief weinig aandacht aan deze scenario's. Het is aan te bevelen deze scenario's beter op de praktijk te laten aansluiten en regelmatig te vernieuwen om ontwikkelingen in de markt te volgen. Als hergebruik of recycling van balkhout realistisch is, dan zou het goed zijn dat dit in de forfaitaire eindelevensduur scenario's wordt opgenomen.
- De kwaliteitsfactor K kan een rol spelen in het berekenen van de last in module D bij netto verlies van secundair materiaal. Dit is een nieuw inzicht dat mogelijk in een nader onderzoek beter kan worden uitgewerkt en in de Bepalingsmethode verdere toelichting kan krijgen.
- De kwaliteitsfactor K speelt een rol in de verdeling van milieulast over meerdere gebruikscycli. Dit aspect zal bij circulaire productsysteem een steeds belangrijkere rol gaan spelen en vraagt verdere uitwerking in de methode, zowel inhoudelijk als ook door middel van voorbeelden en mogelijk forfaitaire waarden voor bepaalde scenario's.

- Geef bij de resultaten van module D een onderverdeling van de onderliggende bijdragen, zodat de gebruiker inzicht krijgt in de bij elkaar opgetelde aspecten.

5 Staal

5.1 Beschrijving cases staal

In deze studie is de keuze gemaakt om voor drie verschillende producten twee specifieke varianten te beschouwen. Het gaat hierbij om de volgende functionele eenheden:

1 ton Damwand, warmgewalst staal, in permanente toepassing
1 ton Damwand, koud gevormd staal, in permanente toepassing

1 m Latei, staal, constructieprofiel + thermisch verzinkt, als onderdeel van een draag-/gevelconstructie
1 m Latei, staal, koud gewalst + thermisch verzinkt, als onderdeel van een draag-/gevelconstructie

1 stuk CV-ketel behuizing, thermisch verzinkt + gecoat staal, EoL scenario; staal, verzinkt
1 stuk CV-ketel behuizing, thermisch verzinkt + gecoat staal, EoL scenario; staal, licht

Per productgroep wordende gehanteerde uitgangspunten in de navolgende paragrafen toegelicht en onderbouwd.

Inputvariabelen

Staal wordt geproduceerd vanuit twee productieroutes. De 'hoogoven' route (oxystaal converter / BOF-staal) en de recycling route (elektrisch hoogoven / EAF-staal). Op basis van de beschikbare uitgangspunten van categorie 2 basisprofielen (Staalfederatie, 2020) is per halffabricaat de gemiddelde samenstelling van het toegepaste staal in deze studie gehanteerd:

- Stalen constructieprofielen
 - o 5,2% BOF-staal (21% input van staalschroot als secundair materiaal)
 - o 94,8% EAF-staal (100% input van staalschroot als secundair materiaal)
- Warmgewalst band- en plaatstaal
 - o 100% BOF-staal (21% input van staalschroot als secundair materiaal)
- Koudgewalst bandstaal
 - o 100% BOF-staal (21% input van staalschroot als secundair materiaal)

Het grote verschil in toepassing van secundair materiaal (staalschroot) per productie route wordt gebruikt om de invloed op module D te duiden bij de verschillende product varianten.

Outputvariabelen

End-of-Life scenario's

De volgende forfaitaire scenario's worden in deze studie toegepast bij het beschouwen van de verschillende product varianten:

ID	Stroom	Specificatie	Verlies	Laten zitten	Stort	AVI	Recycling	Hergebruik
47	staal, damwanden	permanente toepassing, incl. afroesting	45%	35%	0%	0%	58%	7%
48	staal, licht	o.a. profielen, platen, leidingen		0%	1%	0%	87%	12%
50	staal, zink / verzinkt staal	o.a. profielen, platen, zinklagen		0%	5%	0%	95%	0%

De significante verschillen tussen de verwerkingsroutes van in de scenario's wordt gebruikt om de invloed op module D te duiden bij de verschillen de product varianten.

End-of-Waste en grondstoffenequivalent

In de productvarianten worden drie materialen toegepast. Per materiaal is het moment waarop End-of-Waste wordt bereikt en de bijbehorende grondstoffenequivalent als volgt bepaald:

Staalschroot

- Secundair materiaal / Materiaal voor recycling:
 - o Staalschroot
- End-of-Waste:
 - o Het moment van End-of-Waste wordt bereikt nadat het staalschroot bij een recyclingbedrijf is gesorteerd overeenkomstig de criteria uit verordening (EU) Nr. 333/2011 .
- Grondstoffenequivalent:
 - o Staalschroot vervangt primaire ijzerdragers in een EAF. Het staal geproduceerd is functioneel gelijkwaardig staal geproduceerd vanuit de primaire productie route in de BOF (Worldsteel scrap LCI method, zie bijlage X).

Zink coating

- Materiaal voor recycling:
 - o Zink coating op staalschroot
- End-of-Waste:
 - o Het moment van End-of-Waste wordt bereikt nadat het staalschroot, waarop de zinklaag is aangebracht bij een recyclingbedrijf is gesorteerd overeenkomstig de criteria uit verordening (EU) Nr. 333/2011 .
- Grondstoffenequivalent:
 - o Zink wordt als Waeltz oxides teruggewonnen uit EAF stof. De equivalent van de teruggewonnen zink is overeenkomstig 'Zink concentraat' als input voor high grade zink productie (68% yield).

Organische coating

- Materiaal voor recycling:
 - o Organische coating op staalschroot
- End-of-Waste:

- Het moment van End-of-Waste wordt bereikt nadat het staalschroot, waarop de coating is aangebracht bij een recyclingbedrijf is gesorteerd overeenkomstig de criteria uit verordening (EU) Nr. 333/2011 .
- Grondstoffenequivalent:
 - Er is geen sprake van terugwinning bij recycling van staalschroot. De coating verbrand en komt volledig als emissie vrij. Dit is een last in module D (na End-of-Waste)

Specifieke uitgangspunten per productvariant

In deze paragraaf worden de uitgangspunten per variant beschreven. De decomposities van de levenscyclus die per variant is opgesteld zijn in bijlage I opgenomen.

Damwand in permanente toepassing

Producteenheid: per 1 ton

Module A1-3

- Variant 1 Damwand, warmgewalst staal
 - geproduceerd in integrale staalfabriek
 - 5,2% BOF-staal
 - 94,8% EAF staal
 - Productieproces: Warmwalsen productiestaal (Section bar rolling).
- Variant 2 Damwand, koud gevormd staal
 - geproduceerd in integrale staalfabriek
 - 100% BOF-staal
 - Productieproces: Koudwalsen plaatstaal (Sheet, rolling). Formeel betreft een product welke als warmgewalst staal de staal fabriek verlaat en aansluitend bij een productiebedrijf koud wordt gezet. Wegens gebrek aan specifieke data is het proces dat representatief is voor koudwalsen gehanteerd. Dit is hiermee, bij benadering, de integrale variant van beide losse productieprocessen.
- Het staal schroot dat als productie afval vrijkomt wordt 'closed-loop' verrekend met de netto input van staal in module A1-3.

Module A4 – A5

- Forfaitaire transportafstand van 150 km gehanteerd
- 3% bouwafval behorend bij prefab producten (Forfaitair)
- Montage van 2 ton damwanden per uur en een diesel verbruik van 30 liter/uur van het materieel. Deze uitgangspunten zijn gehanteerd in een eerdere studie naar damwanden¹.

Module C1 – C4

- Demontage bij gebrek aan gegevens overeenkomstig de montage fase
- Forfaitaire einde levensduur scenario, versie November 2020: Staal, damwanden in permanente toepassing: (45% verlies (afroesting), 35% laten zitten, 58% recycling, en 7% hergebruik).

Latei als onderdeel van een draag-/gevelconstructie

Producteenheid: per 1 strekkende meter

Module A1-3

- Variant 1 Latei, staal, constructieprofiel + thermisch verzinkt
 - o geproduceerd in integrale staalfabriek
 - o 5,2% BOF-staal
 - o 94,8% EAF staal
 - o Productieproces: Warmwalsen productiestaal (Section bar rolling).
 - o Afmetingen: 100 x 100 x 10 mm (15,3 kg/m)
 - o Thermisch verzinkt met een gemiddelde deklaagmassa van 610 g/m²²
- Variant 2 Latei, staal, koud gewalst + thermisch verzinkt
 - o 100% BOF-staal
 - o Productieproces: Koudwalsen plaatstaal (Sheet, rolling). Formeel betreft een product welke als koudgewalst bandstaal (breedte op maat geleverd) de staal fabriek verlaat en aansluitend bij een productiebedrijf koud wordt gewalst tot het de juiste vorm heeft bereikt. Wegens gebrek aan specifieke data is het proces dat representatief is voor koudwalsen gehanteerd. In de praktijk zal dit een kleine onderschatting zijn van de werkelijke input vanwege het energie verbruik tijdens het koud walsen. Echter binnen de context en het doel van deze studie wordt dit als acceptabel beschouwd.
 - o Afmetingen: 90 x 120 x 3 mm (5,1 kg/m)
 - o Thermisch verzinkt met een gemiddelde deklaagmassa van 505 g/m²³
- Het staal schroot dat als productie afval vrijkomt wordt 'closed-loop' verrekend met de netto input van staal in module A1-3.

Module A4 – A5

- Forfaitaire transportafstand van 150 km gehanteerd
- 3% bouwafval behorend bij prefab producten (Forfaitair)
- Montage vindt plaats met handgereedschap.

Module C1 – C4

- Demontage vindt plaats met handgereedschap.
- Forfaitaire einde levensduur scenario, versie November 2020: Staal, zink / verzinkt staal: (5% stort en, 95% recycling).
 - o Bij de afweging is rekening gehouden dat voor het warmgewalste constructieprofiel, van variant 1, ook het forfaitaire scenario "staal, constructieprofielen" representatief is. We hebben in de context van deze studie besloten om voor deze varianten het forfaitaire scenario niet te variëren. De invloed van een afwijkende forfaitaire keuze wordt bij de CV-ketels beoordeeld.

CV-ketel behuizing als onderdeel van een installatie

Producteenheid: per stuk

Module A1-3

- CV-ketel behuizing
 - o 100% BOF-staal
 - o Productieproces: Koudwalsen plaatstaal (Sheet, rolling). Formeel betreft een product welke als koudgewalst bandstaal (breedte op maat geleverd) de staal fabriek verlaat en aansluitend bij een productiebedrijf koud wordt gewalst en verwerkt tot het de juiste vorm heeft bereikt. Wegens gebrek aan specifieke data is het proces dat representatief is voor koudwalsen gehanteerd en zijn geen aanvullende bewerkingen beschouwd. In de praktijk zal dit een onderschatting zijn van de werkelijke input vanwege het energie verbruik tijdens het verdere verwerken. Echter binnen de context en het doel van deze studie wordt dit als acceptabel beschouwd.
 - o Gewicht: 11,0 kg/stuk
 - o Thermisch verzinkt, HDG Z100, met een gemiddelde deklaagmassa van 100 g/m²
 - o Organische PE coating, 2-zijdig, 25 µm dikte.
- Het staal schroot dat als productie afval vrijkomt wordt 'closed-loop' verrekend met de netto input van staal in module A1-3.

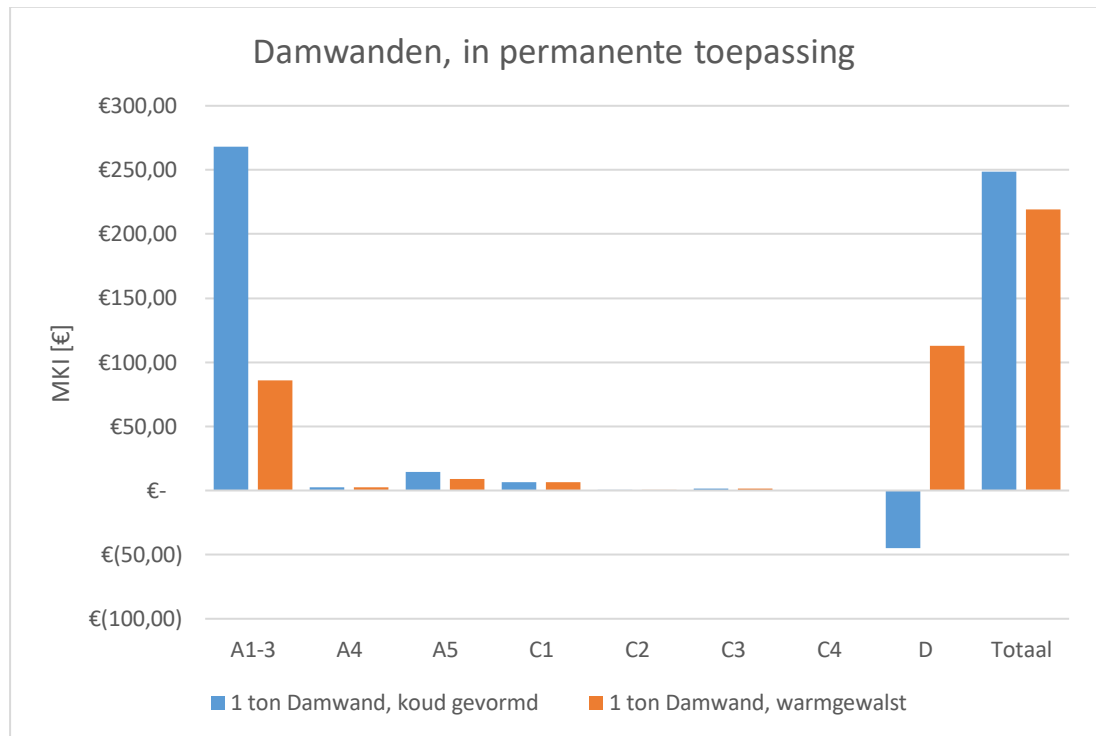
Module A4 – A5

- Forfaitaire transportafstand van 150 km gehanteerd
- 3% bouwafval behorend bij prefab producten (Forfaitair)
- Montage vindt plaats met handgereedschap.

Module C1 – C4

- Demontage vindt plaats met handgereedschap.
- Variant 1 CV-ketel behuizing, thermisch verzinkt + gecoat staal, EoL scenario; staal, verzinkt
 - o Forfaitaire einde levensduur scenario, versie November 2020: Staal, zink / verzinkt staal: (5% stort en, 95% recycling).
- Variant 2 CV-ketel behuizing, thermisch verzinkt + gecoat staal, EoL scenario; staal, licht
 - o Forfaitaire einde levensduur scenario, versie November 2020: Staal, licht: (1% stort, 87% recycling en 12% hergebruik).

5.2 Vergelijking en toelichting varianten staal



Figuur 5.1 Vergelijking milieu impact van de twee varianten damwanden (in MKI), per module A-D en Totaal.

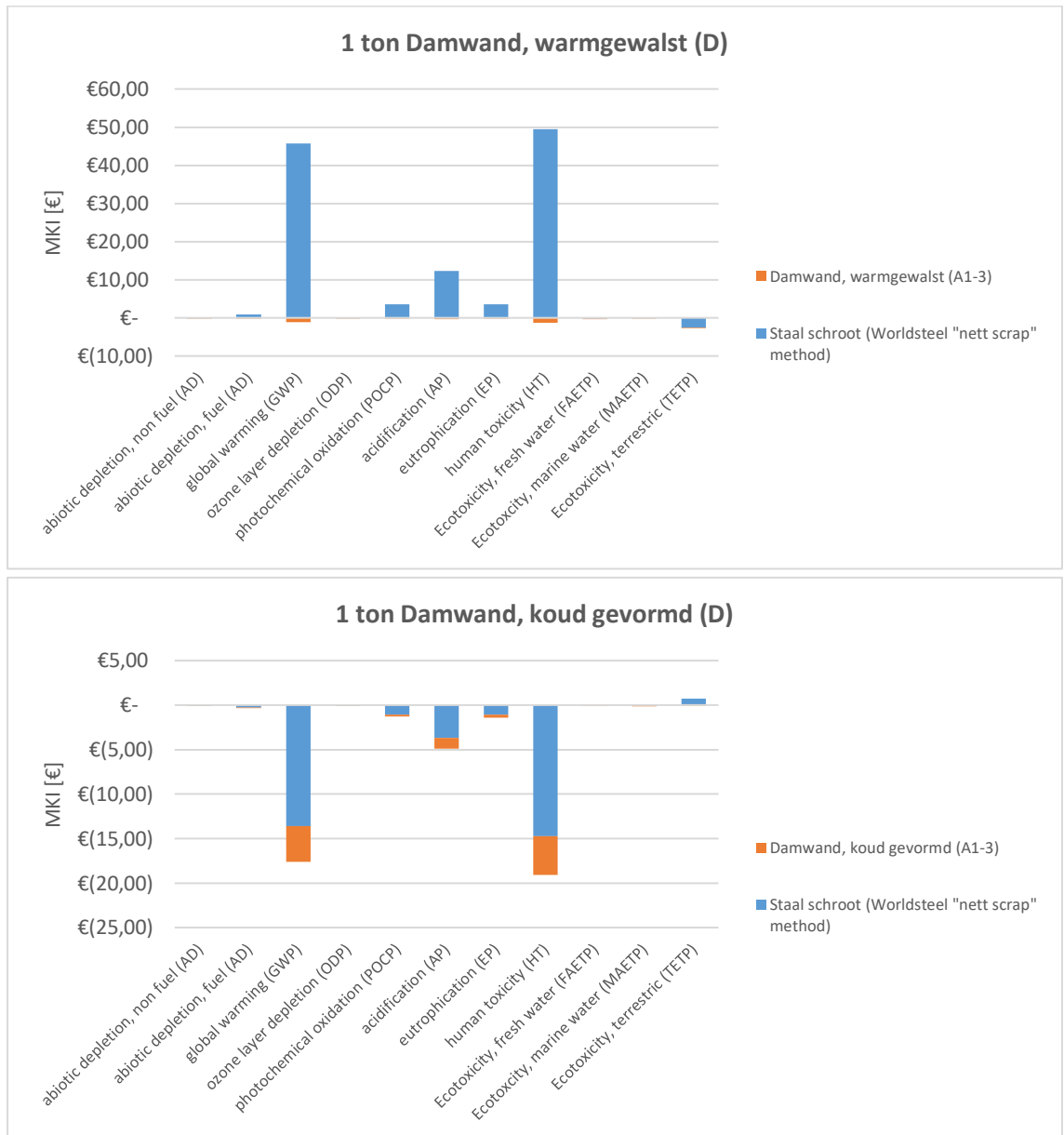
De resultaten in de grafiek laten zien dat over de gehele levenscyclus de warmgewalste damwanden (geproduceerd uit voornamelijk staalschroot) een circa 12% lagere MKI hebben dan de koud gevormde damwanden (geproduceerd uit voornamelijk primair staal).

Grote verschillen zijn te zien in de verdeling van de milieu impact over module A en D. Zo heeft de warmgewalste damwand in de productiefase een MKI die circa 68% lager is dan de koud gevormde damwanden. Echter omdat er netto secundair materiaal verloren gaat in het productsysteem resulteert module D in een milieulast in plaats van milieubaten bij de koud gevormde damwanden. Het netto verschil over de gehele levenscyclus is hiermee niet zo groot.

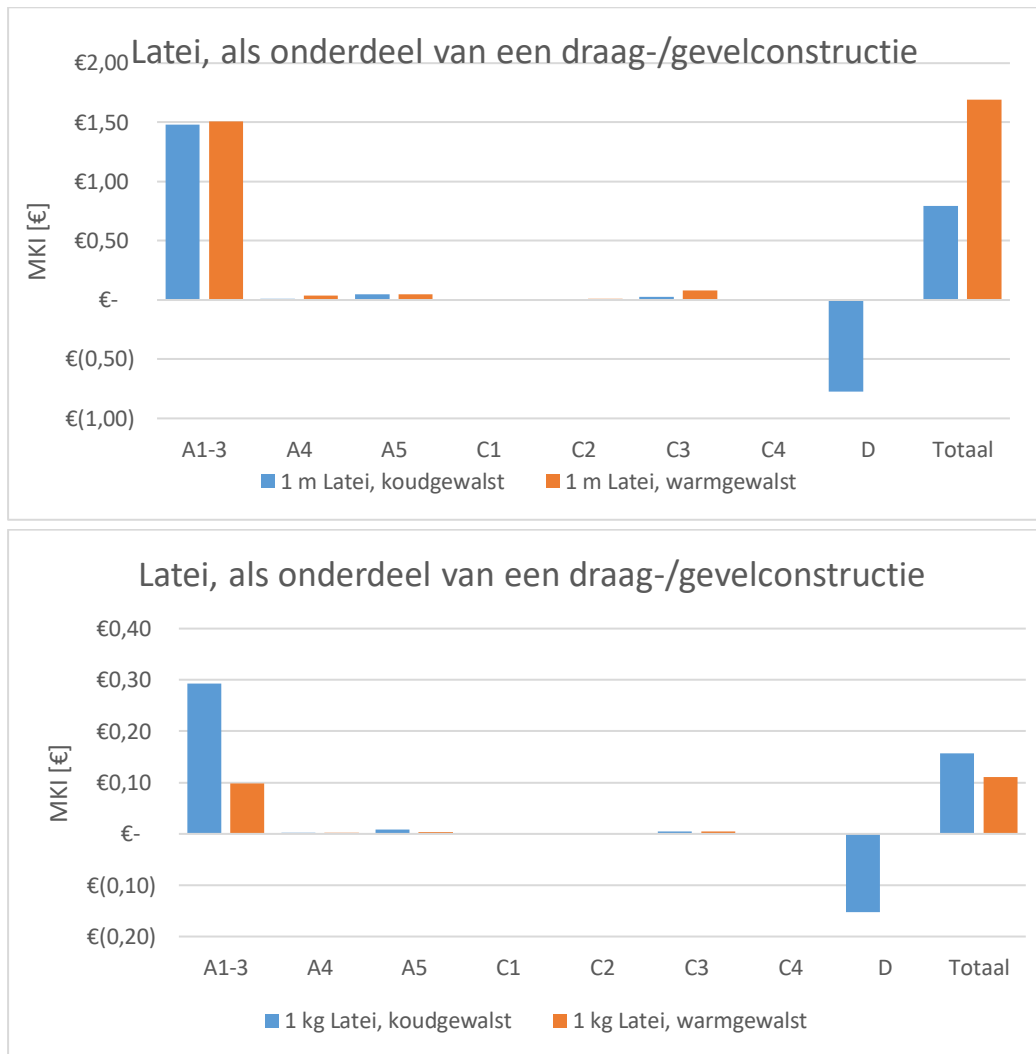
Voor de volledigheid zijn ook de zwaartepunten in respectievelijk de productiefase en module D van de Damwanden in de navolgende figuren weergegeven.



Figuur 5.2 Zwaartepunt in productiefase (A1-3) van damwanden.



Figuur 5.3 Zwaartepunt in module D van damwanden.



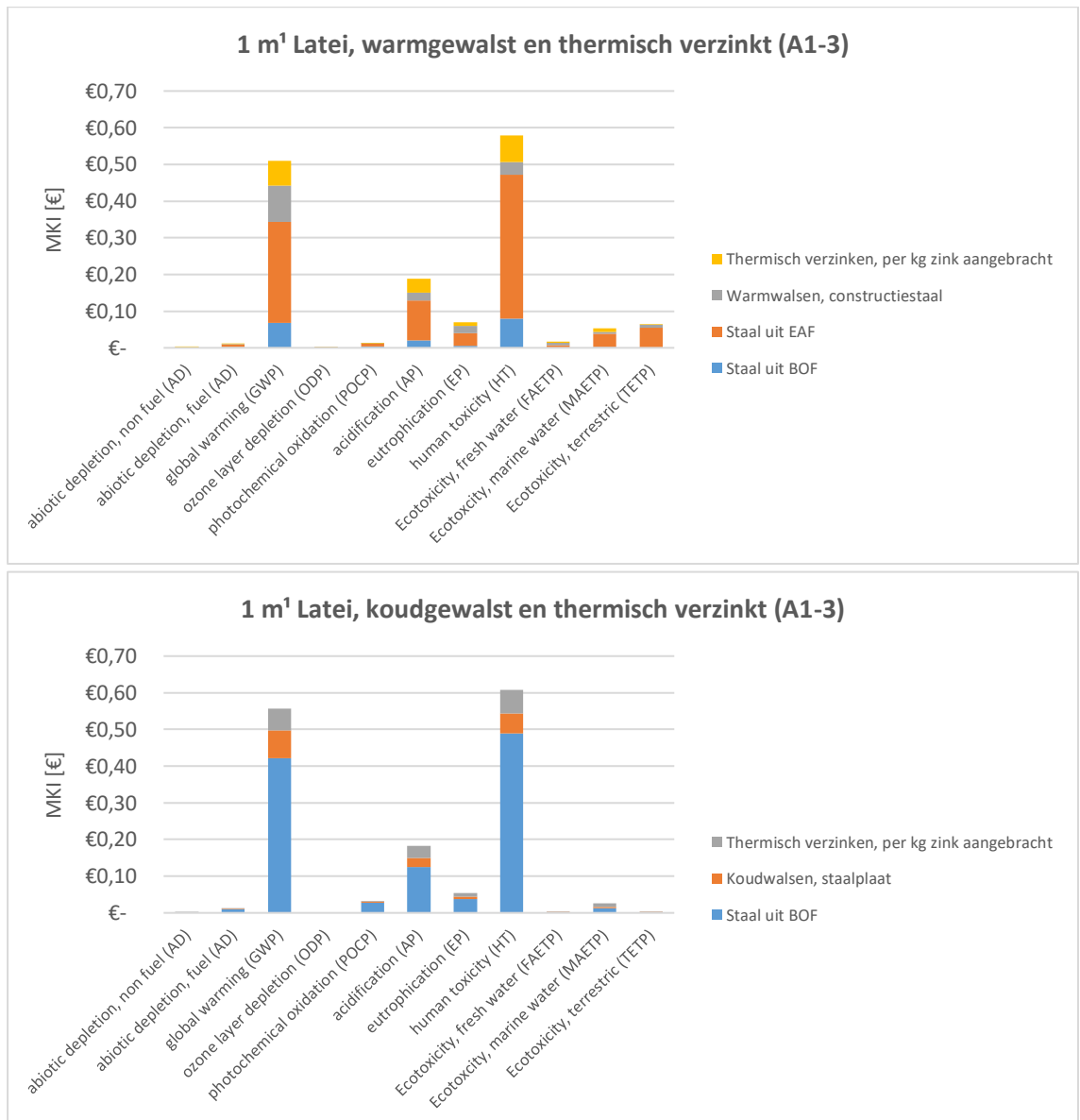
Figuur 5.4 Vergelijking milieuimpact van de twee varianten Lateien (in MKI), per module A-D en Totaal.

De resultaten in de grafiek laten zien dat over de gehele levenscyclus de warmgewalste latei (geproduceerd uit voornamelijk staalschroot) een MKI heeft die circa 2x zo hoog is als de koudgewalste latei. Dit is het gevolg van het feit dat een warmgewalst constructieprofiel in deze functionele toepassing een veel hoger gewicht heeft per strekkende meter dan een koudgewalste latei. Kijken we naar de impact per kg materiaal dan is te zien dat het warmgewalste constructieprofiel (geproduceerd uit voornamelijk staalschroot) een circa 30% lagere MKI heeft dan een kg koudgewalste plaat in deze toepassing (geproduceerd uit voornamelijk primair staal).

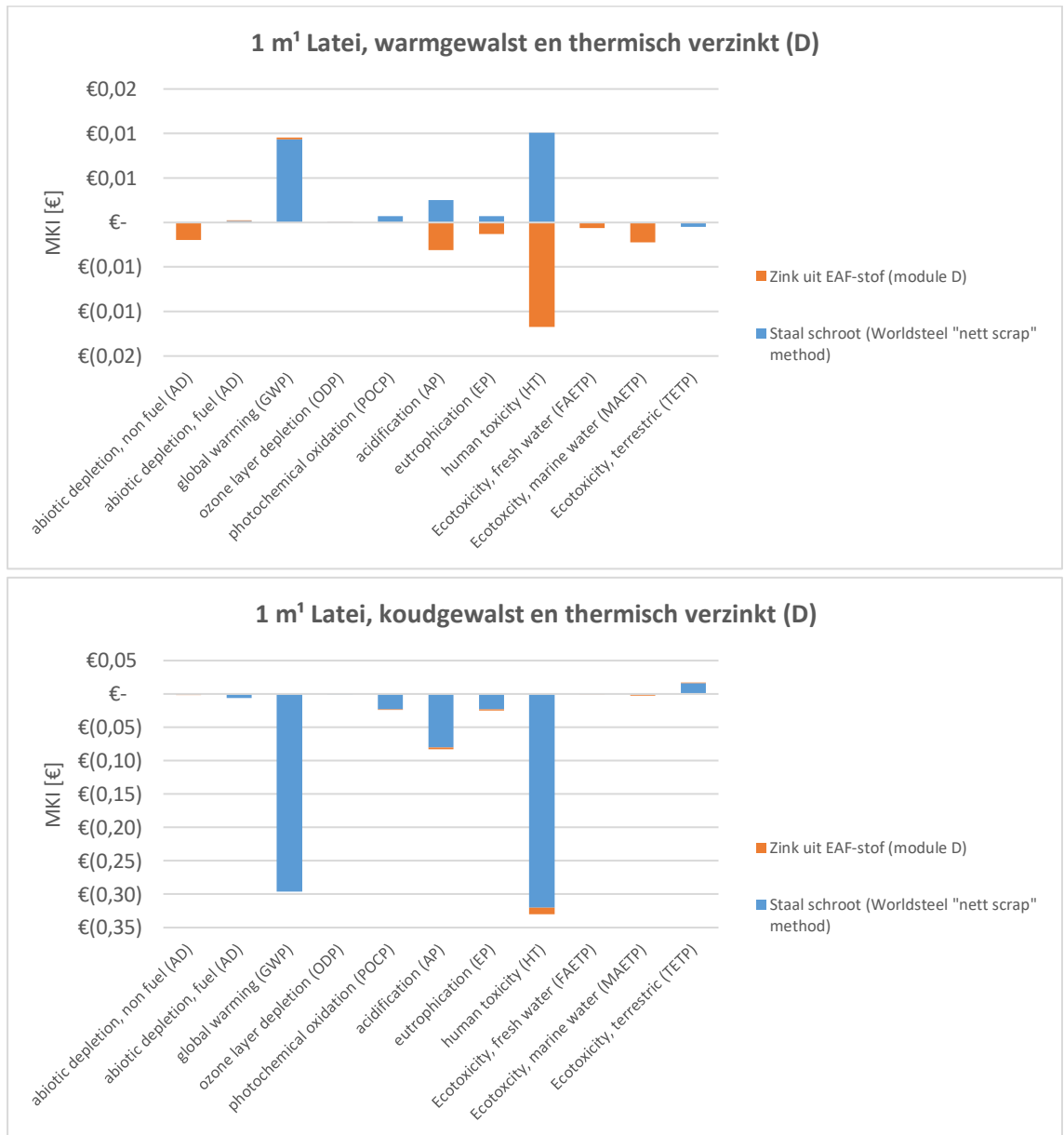
Grote verschillen zijn ook hier te zien in de verdeling van de milieu impact over module A en D. Zo heeft de warmgewalste latei, per kg materiaal, in de productiefase een MKI die circa 66% lager is dan de koudgewalste latei.

Echter omdat er netto geen secundair materiaal wordt doorgegeven (er gaat zelfs iets verloren) resulteert dit in module D in een verwaarloosbare milieulast in plaats van significante milieubaten bij de koudgewalste latei. Het netto verschil over de gehele levenscyclus is ook hiermee niet zo groot.

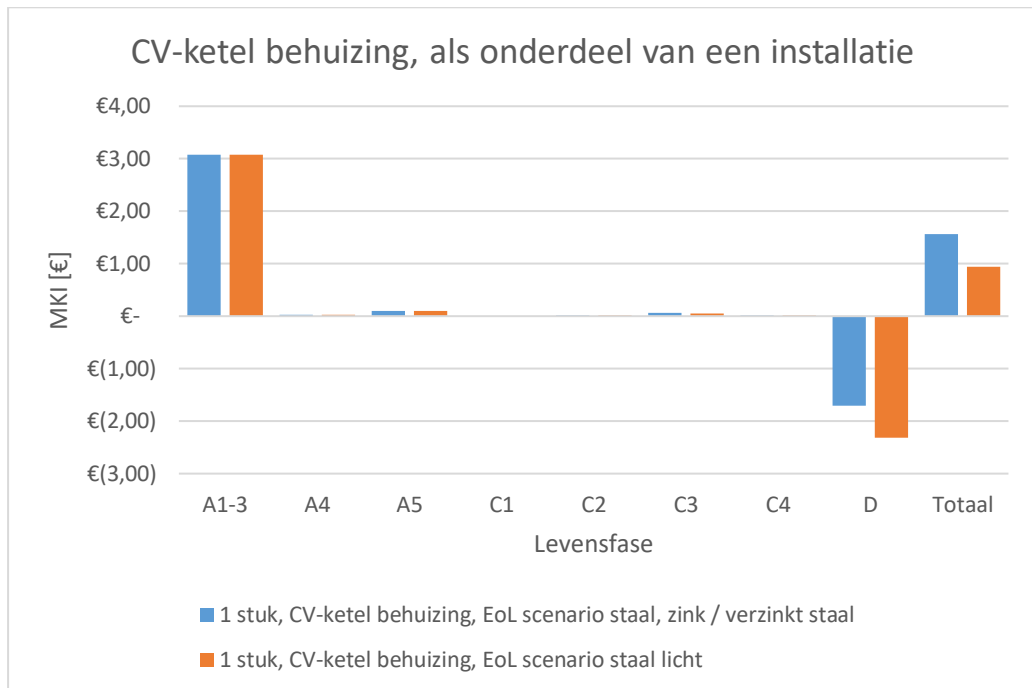
Voor de volledigheid zijn ook de zwaartepunten in respectievelijk de productiefase en module D van de lateien in de navolgende figuren weergegeven. Wat hierin opvalt is dat bij de warmgewalste latei een beperkte hoeveelheid staalschroot verloren gaat welke als last in module D komt. Daarentegen zijn er ook enkele milieubaten als gevolg van het terugwinnen van de zinklaag. De netto milieupact in module D komt hiermee afgerond op nul uit.



Figuur 5.5 Zwaartepunt in productiefase (A1-3) van lateien.



Figuur 5.6 Zwaartepunt in module D van lateien.

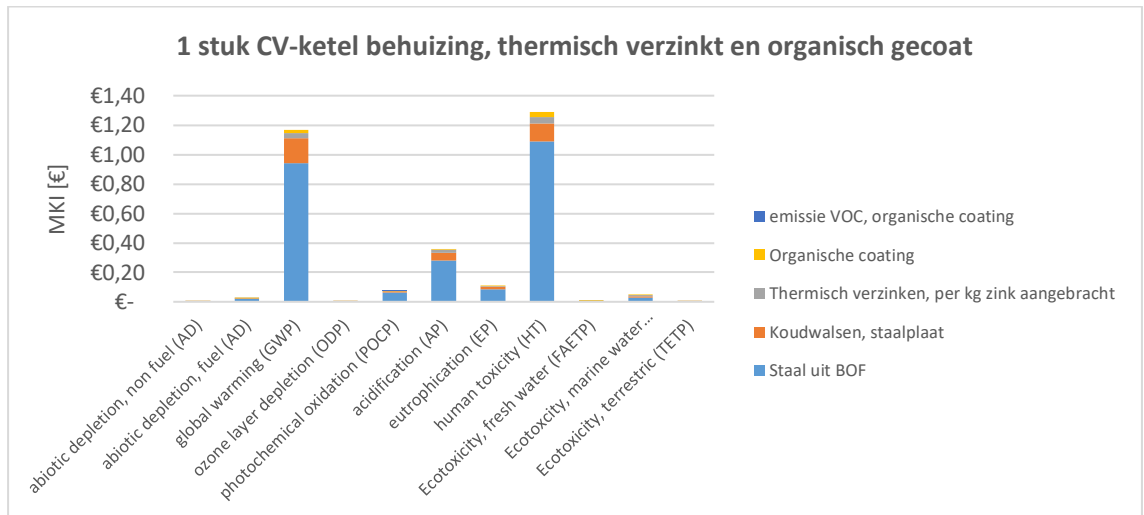


Figuur 5.7 Vergelijking milieu-impact van de twee varianten CV-ketel behuizingen (in MKI), per module A-D en Totaal.

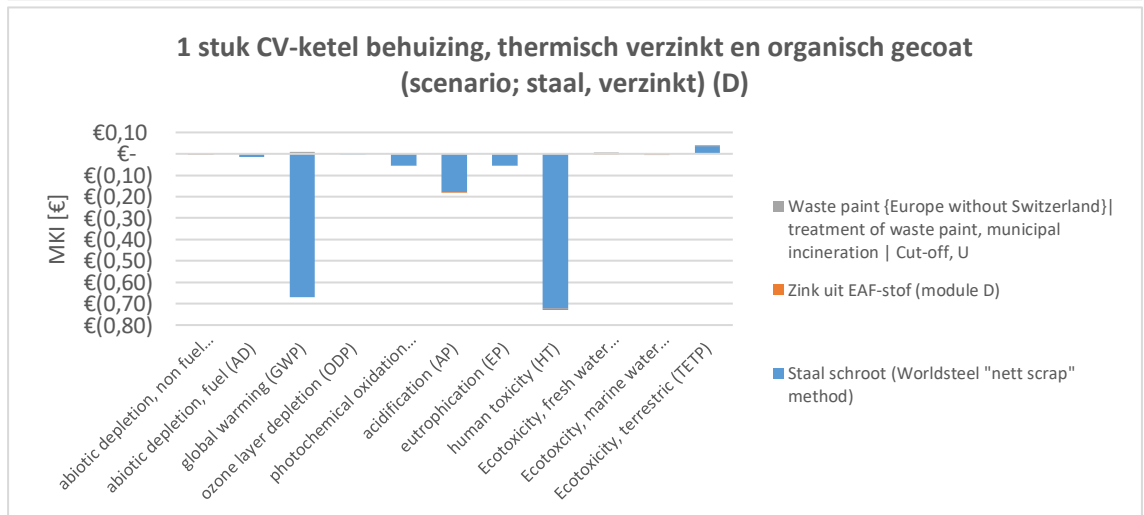
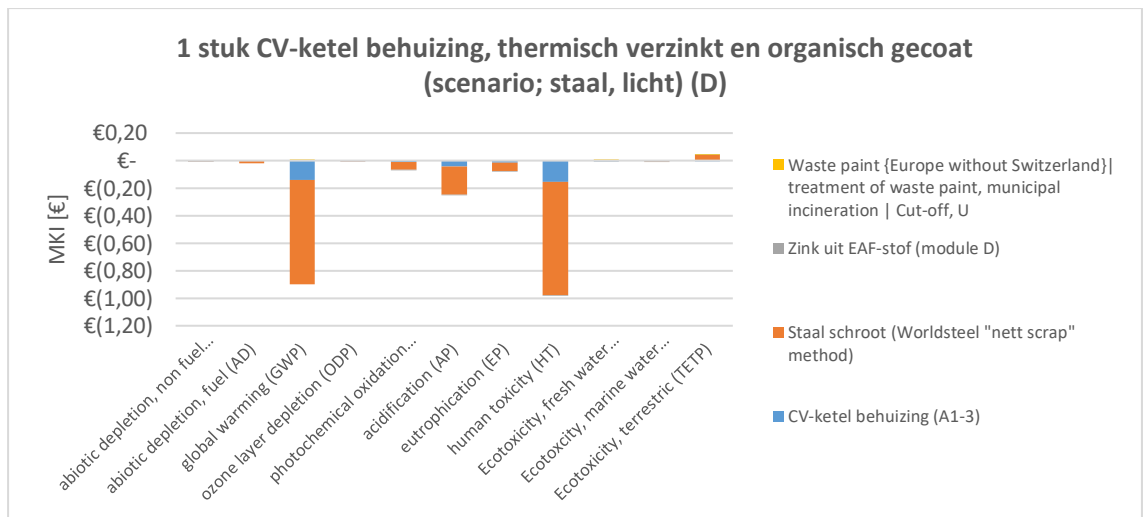
De resultaten in de grafiek laten zien dat over de gehele levenscyclus de CV-ketel met een einde levensduur scenario op basis van 'staal, licht' een circa 40% lagere MKI heeft dan wanneer hetzelfde product wordt doorgerekend met het einde levensduur scenario voor 'staal, zink / verzinkt staal'.

Het verschil tussen beide varianten is vrijwel volledig te wijten aan de impact van module D en de verschillen in milieubaten baten die zijn te behalen met een verschillend percentage recycling en hergebruik.

Voor de volledigheid zijn ook de zwaartepunten in respectievelijk de productiefase en module D van de twee varianten, van einde levensduur scenario's van CV-ketel behuizingen, in de navolgende figuren weergegeven.



Figuur 5.8 Zwaartepunt in productiefase (A1-3) van lateien.



Figuur 5.9 Zwaartepunt in module D van lateien.

5.3 Kwantitatieve duiding

Een kwantitatieve samenvatting van de rekenresultaten is hieronder per product weergegeven. Voor de volledigheid wordt benoemd dat deze resultaten niet los van de context, zoals beschreven in de voorgaande hoofdstukken, beschouwd kan worden.

Tabel 5.1 Milieu-impact over gehele levensduur in MKI(€) per functionele eenheid.

Varianten damwanden		Totaal (€)	%
0.	Staal: koud gevormd	248,50	100%
1.	Staal: warmgewalst	219,30	70%

Varianten lateien		Totaal (€)	%
0.	Staal: koud gevormd (per kg)	0,157	100%
1.	Staal: warmgewalst (per kg)	0,110	88%

Varianten CV ketel behuizing		Totaal (€)	%
0.	Scenario staal, verzinkt	1,56	100%
1.	Scenario staal, licht	0,94	60%

Tabel 5.2 Bijdrage van Module A1-3 en module D aan de absolute milieu-impact.

Varianten		Bijdrage A1-A3	Bijdrage D
0.	Staal: damwand koud gevormd	79%	13% baat
1.	Staal: damwand warmgewalst	39%	52% last
2.	Staal: latei koud gevormd (per kg)	63%	33% baat
3.	Staal: latei warmgewalst (per kg)	89%	0% last
4.	Scenario ketelbehuizing staal, verzinkt	62%	34% baat
5.	Scenario ketelbehuizing staal, licht	55%	42% baat

5.4 Conclusies milieuprestatie varianten staal

Uit de zwaartepunt analyses volgt dat staal dominant is in de productiefase. Vanzelfsprekend is de BOF route meer milieubelastend dan de EAF route:

- MKI 1 kg BOF staal= € 0,23 / kg
- MKI 1 kg EAF staal = € 0,06 / kg

Uit de varianten studie van de damwanden en de lateien blijkt dat het toepassen van een hoger percentage secundair materiaal aan de productie fase een gunstiger milieuprofiel oplevert bij een gelijk einde levensduur scenario. Dit geldt zowel voor de einde levensduur scenario's waarbij significante hoeveelheden materiaal verloren gaat (damwanden in permanente toepassing) alsmede einde levensduur scenario's waarbij wel veruit het grootste deel van het ingaande materiaal weer wordt doorgegeven in de vorm van recycling en/of hergebruik.

De zink coating en de organische coating hebben een beperkte bijdrage in het milieuprofiel door de beperkte toepassing hiervan:

- HDG = max. 13% bijdrage in MKI bij een 4% bijdrage in massa.

Afroesting van 45% bij damwanden is afhankelijk van tijd. Echter het verlies staat als vast percentage opgenomen in de forfaitaire scenario's. Aanbeveling: % afroesting dient gekoppeld te worden aan referentie levensduur van 100 jaar. Ook dient duidelijk gemaakt te worden dat het fenomeen afroesting bij niet permanente toepassingen ook, naar rato, meegenomen moet worden.

100% AVI bij afwerkingen verkleefd aan hout, kunststof en/of metaal volgt niet dezelfde route als het product waar het op zit. In deze studie is er specifiek voor gekozen deze verwerkingsroute (einde levensduur scenario) wel gelijk te houden. Aanbeveling: duidelijk maken dat dit percentage enkel van toepassing is bij vervangingen van de organische coating gedurende de RSL. Anders volgt de verwerkingsroute van het drager materiaal. Ook dient hierbij opgemerkt te worden dat de organische coating die op staalschroot zit welke wordt gerecycled geen aanspraak maakt op energierterugwinning in module D.

Een zinklaag welke als oppervlakte behandeling op het staalschroot zit volgt, net als bij de organische coating, dezelfde verwerkingsroute als het drager materiaal. Aanbeveling: duidelijk maken dat het forfaitaire scenario voor 'staal, zink / verzinkt staal' niet altijd van toepassing is op de zinklaag en dat de verwerkingsroute van het drager materiaal bepalend is voor de keuze. Verder dient opgemerkt te worden dat de baten voor het terugwinning van zinklaag op staalschroot beperkt is omdat deze niet als zink maar als zink oxiden worden teruggewonnen. Het is onbekend of iedere LCA uitvoerder hier op een gelijke wijze mee omgaat.

Meerdere forfaitaire scenario's zijn beschikbaar voor materiaal/vorm combinaties. Dit maakt het voor LCA uitvoerders mogelijk de "beste optie" te kiezen, zonder nadere duidingen te hoeven geven. Erkende toetsers kunnen de toepassing en bijbehorende verantwoording op meerdere manieren interpreteren.

5.5 Aanbevelingen n.a.v. de staalcase

- Forfaitaire scenario's uitbreiden met criteria voor toepassing verschillende forfaitaire scenario's inclusief een conservatieve (terugval) optie.
- O.a. rekening houden met methode van (de)montage en de stroom die vrij komt (gemengd of als losse fractie ingezameld).
- Specifiek een onderbouwing vragen in LCA dossier voor toegepaste van forfaitaire scenario.
- Per materiaal een conservatief scenario aanwijzen voor scenario's indien aanvullende gegevens (onderbouwing van criteria) niet beschikbaar zijn voor LCA uitvoerder.

6 Conclusies & aanbevelingen

In het hiernavolgende worden de conclusies en aanbevelingen van dit onderzoek weergegeven.

6.1 Conclusies

Bepalingsmethode generiek

C1

Een nadere duiding van module D bij de Bepalingsmethode is gewenst. Voor alle bestudeerde materialen met hun varianten geldt dat er ruimte is voor verschillen in interpretatie, scenario's en berekeningen van module D.

C2

Het raamwerk van EN15804 en de Bepalingsmethode laat nog ruimte voor keuzes bij het opstellen van de LCA die het resultaat substantieel kunnen beïnvloeden. Nadere richtlijnen en instructies zijn nodig voor het declareren van aspecten die in de toekomst liggen, zoals de End-of-Life scenario's.

C3

Eindelevensduur (EoL) scenario's zijn een belangrijk onderdeel van de Bepalingsmethode en hebben grote impact op de uiteindelijke milieuprestatie.

C4

Uit dit onderzoek blijkt dat er voor asfalt (p.9,10), beton (p.22) en hout (p.29) beperkte mogelijkheden zijn om onderscheid te maken in de milieu-impact door het gebruik van meer secundaire grondstoffen in producten in module A. Soms is het verschil daadwerkelijk klein door de relatief lage milieu-impact van het primaire materiaal. Voor staal is er voor een variant wel een significant verschil (p.44).

Materiaalspecifiek

C5 - asfalt

Bij asfalt wordt het milieuvoordeel van een hogere recycled content niet zozeer door de besparing op primair materiaal bepaald, maar overwegend door vermeden transportkilometers.

C6 - asfalt

Het is niet duidelijk of vermeden transport ook zou moeten worden meegenomen in de module D berekeningen. In het geval van asfalt maakt dat een groot verschil voor de totale baten.

C7 - asfalt

De voorgeschreven degradatie, kwaliteit- en functieverlies factoren in de NL-PCR asfalt leiden tot logische conclusies (hoe meer hergebruik, hoe lager de MKI), maar niet tot dermate grote winst als op basis van de materiaalreductie in de grondstoffenfase (A1) verwacht zou worden. Aan de opvolgende recycling van secundaire materialen wordt weinig waarde toegekend.

C8 - beton

Grind vervangen door puingranulaat in beton loont nauwelijks: de besparing op milieupact in module A1 (minder grindproductie) is nagenoeg gelijk aan de reductie in materiaalhoeveelheden in module D want er wordt netto evenveel minder secundair materiaal doorgegeven aan een volgende toepassing. Dit komt omdat de grondstoffenequivalent identiek is aan het primair materiaal grind. Alleen verschil in transportafstand kan tot verschillen in waardering leiden.

C9 - beton

De keuze van een grondstoffenequivalent voor betonpuingranulaat toegepast in een fundering (zandcement of grind/zand) heeft aanzienlijke invloed op het resultaat. Het gaat om 13% verschil in de totale impact van de levenscyclusanalyse.

C10 - beton

De hoeveelheid materiaal die netto wordt doorgegeven aan een volgende betontoepassing (volgend productsysteem) en de kwaliteit ervan (grondstoffenequivalent, factor K) bepalen de impact van module D. De absolute bijdrage van module D aan het totaalresultaat varieert van 4% tot 14%.

C11 - beton

Er zijn nog geen regels over het al dan niet meerekenen van secundaire brandstoffen en materialen bij cementproductie. Cement is qua milieupact een belangrijk bestanddeel van beton. Ook is er discussie over hoe moet worden omgegaan met emissies bij inzet van brandstof uit afval bij cementproductie. Bij de bepaling van de hoeveelheid secundair materiaal kunnen toeslagstoffen voor verwarring zorgen. Zijn bijvoorbeeld AVI-bodemas en poederkoolvliegias (die vrij van milieulast in A1 het systeem binnenkomen) secundaire materialen of co-producten?

C12 - hout

Gebruik van secundair hout leidt niet tot een betere milieuprestatie in de onderzochte casus voor een houten balk. Dit komt door een groot aandeel verbranding in het forfaitaire eindelevensduur scenario.

C13 - hout

In de casus hout wordt een kwaliteitsfactor van 100% gehanteerd. Als er een ander percentage was gebruikt dan was minder milieulast naar de tweede gebruikscyclus doorgegeven en dientengevolge ook een kleinere milieulast bij netto verlies van secundair materiaal toegerekend in de casus met secundair hout.

C14 - hout

In de casus van de houten balk is uitgegaan van een forfaitair eindelevensduur scenario. Hierdoor krijgen we grotendeels verbranding toegerekend als eindelevensduur scenario en daarmee netto verlies van materiaal. In de praktijk ligt een ander eindelevensduur scenario – hergebruik en/of recycling –meer voor de hand.

C15 - staal

Uit de varianten studie van de stalen damwanden en de lateien blijkt dat het toepassen van een hoger percentage secundair materiaal in de productie fase een gunstiger milieuprofiel oplevert bij een gelijk EoL scenario.

Bij damwanden gaat het om een 12% lagere MKI; bij lateien ligt de MKI 30% lager per kg. materiaal. E.e.a. geldt zowel voor de einde levensduur scenario's waarbij significante hoeveelheden materiaal verloren gaan (damwanden in permanente toepassing) alsmede einde levensduur scenario's waarbij wel veruit het grootste deel van het ingaande materiaal weer wordt doorgegeven in de vorm van recycling en/of hergebruik.

C16 - staal

Het forfaitaire EoL scenario van 100% AVI (verbranding) bij afwerkingen verkleefd aan metaal (of hout, of kunststof) volgt niet dezelfde route als het product waar het op zit. In deze studie is er specifiek voor gekozen de verwerkingsroute (einde levensduur scenario) wel gelijk te houden. Afspraken over de toepassing van forfaitaire EoL scenario's zijn nodig.

C17 - staal

Het forfaitaire scenario voor 'staal, zink / verzinkt staal' is niet altijd van toepassing op de zinklaag. De verwerkingsroute van het dragermateriaal is bepalend voor de keuze. Ook dient opgemerkt te worden dat de baten voor het terugwinning van zinklaag op staalschroot beperkt is omdat deze niet als zink maar als zink oxiden worden teruggewonnen. Ook hier is eenduidigheid in de aanpak gewenst.

C18 - staal

Bij uiteenlopende stalen producten zijn meerdere forfaitaire scenario's beschikbaar voor materiaal/vorm combinaties. Dit maakt dat er ruimte is om te kiezen voor een gunstig scenario met een lagere milieu-impact, zonder een nadere duiding te hoeven geven. Dit kan leiden tot significante verschillen in de resultaten zonder dat het productsysteem wezenlijk anders is.

6.2 Aanbevelingen

Bepalingsmethode generiek

A1

Een goede onderbouwing en aannemelijkheid van de forfaitaire eindelevensduur (EoL) scenario's is belangrijk. Hiertoe zou een landelijke richtlijn kunnen worden opgesteld met criteria voor keuze van forfaitaire scenario's, inclusief een conservatieve terugvaloptie.

A2

Het is aan te bevelen deze forfaitaire scenario's beter op de praktijk te laten aansluiten en regelmatig te vernieuwen om ontwikkelingen in de markt te volgen. Bestaande forfaitaire EoL scenario's kunnen specifieker worden gemaakt of herzien. Voorts kunnen waar van toepassing nieuwe EoL scenario's toe worden gevoegd.

A3

Het bepalen van een grondstoffenequivalent per productcategorie is aan te bevelen, want dit draagt bij aan de betrouwbaarheid en eenduidigheid van de bepaling van de milieu-impact in module D.

A4

De LCA-methode heeft betrekking op de gehele levenscyclus. Module D wordt in lijn met EN15804 apart bepaald en richt zich op de potentiële milieueffecten buiten de systeemgrenzen van het productsysteem. Aanbevolen wordt het aandeel module D expliciet zichtbaar te maken in de gewogen 1-puntscore (MKI).

A5

Een verdere ontwikkeling van de K-factor ($k = \text{degradatie} \times \text{kwaliteitverlies} \times \text{functieverlies}$) is belangrijk als basis voor de EoL scenario's en opeenvolgende levenscycli. Idealiter zouden de K-factoren onderbouwd worden met resultaten van lab- en praktijktesten.

A6

Voorbeelden van het bepalen van de milieu impact in module D per productcategorie dragen bij aan eenduidigheid en transparantie. De voorbeelden met onder meer grondstoffenequivalenten of van de berekening van input- en outputvariabelen kunnen worden opgenomen in een eventuele PCR of in de bijlagen bij de Bepalingsmethode.

A7

In module D worden verschillende effecten bepaald en enkel de som wordt gedeclareerd. De gebruiker zou meer inzicht krijgen als de onderliggende effecten ook expliciet worden gerapporteerd. Dit zou kunnen door de baten en lasten te onderscheiden en deze te categoriseren naar de effecten als gevolg van uitgespaard primair materiaal en vermeden energie.

A8

Het ontwikkelen van Europese Product Category Rules (PCR) per productgroep kan in belangrijke mate bijdragen aan meer duidelijkheid en eenduidigheid in de rekenregels en aannames bij de bepaling van de LCA.

Productspecifiek**A9 - asfalt**

Nader onderzoek naar kwaliteitsfactoren bij asfalt is gewenst. Deze factoren zijn nog niet voldoende ontwikkeld en er zijn geen aanwijzingen gegeven over hoe ze te bepalen. Voor asfalt wordt naar meerdere aspecten gekeken om de K-factoren te bepalen. Namelijk de soorten asfaltgranulaat die beschikbaar zijn in de markt, de gemiddelde toepassing van asfaltgranulaat in Nederland en ingeschat functieverlies o.b.v. hoe veel van elk primair materiaal kan worden vervangen in de volgende levenscyclus. Idealiter zou er een methode worden ontwikkeld om de kwaliteit van de secundaire materialen o.b.v. hun technische eigenschappen te bepalen i.p.v. naar de vervangen primaire materialen op de volgende levenscyclus te kijken.

A10 - asfalt

Het verdient aanbeveling om binnen de PCR de grondstoffenequivalenten voor asfaltgranulaat van secundaire materialen te bepalen om arbitraire keuzes te vermijden. Asfaltgranulaat is een mengsel van grove en fijn steenslagfracties, fijnstof en verouderd bitumen. Tot nu toe worden aannames gedaan over de samenstelling van asfaltgranulaat qua bitumen inhoud en de fracties steenslag.

Op basis hiervan worden de baten van de secundaire materiaalproductie bepaald ten opzichte van de primaire materiaal productie. Secundair bitumen en secundair steenslag is echter van een lagere kwaliteit dan die van de primaire grondstoffen.

A11 - asfalt

29% van het asfaltgranulaat raakt zijn technische eigenschappen kwijt en kan niet meer als dek- of tussenlaag asfalt worden gebruikt maar wel als wegfundering. Wegfunderingen zijn standaard al gemaakt van secundaire materialen; bijgevolg kan het asfaltgranulaat alleen maar andere secundaire materialen met gelijke eigenschappen en kwaliteit vervangen bij wegfunderingen. Voor een goede beoordeling van de milieu-impact zou ook deze materiaalstroom in ogenschouw moeten worden genomen.

A12 - asfalt

Er is afstemming nodig over het al dan niet meerekenen van vermeden transport door de inzet van secundair materiaal in module D. Dit kan bereikt worden door nader onderzoek te doen naar de regels omtrent grondstoffenequivalent in de Bepalingsmethode en een eventuele productspecifieke PCR.

A13 - beton

Een PCR cement met rekenregels in lijn met EN 15804 is gewenst om duidelijkheid en eenduidigheid te verschaffen over het al dan niet meerekenen van secundaire brandstoffen en materialen bij cementproductie.

A14 - staal

Specifiek voor het EoL scenario voor stalen damwanden zou het percentage afroesting gekoppeld dienen te worden aan referentielevensduur van 100 jaar. Nu is een vast percentage opgenomen in het forfaitaire scenario van 45% afroesting.

A15 - staal

Het fenomeen afroesting van staal dient naar rato ook bij niet permanente toepassingen meegenomen kunnen worden.

A16 - staal

Forfaitaire EoL scenario's voor staal zouden kunnen worden aangevuld met criteria voor toepassing inclusief een conservatieve (terugval) optie.

- O.a. rekening houden met methode van (de)montage en de stroom die vrij komt (gemengd of als losse fractie ingezameld).
- Specifiek een onderbouwing vragen in LCA dossier voor toegepaste van forfaitaire scenario.
- Per materiaal een conservatief scenario aanwijzen voor scenario's indien aanvullende gegevens (onderbouwing van criteria) niet beschikbaar zijn voor LCA uitvoerder.

A17 - staal

Bij de forfaitaire EoL scenario's verduidelijken dat coatings (bijvoorbeeld organische coatings en zinklagen) de zelfde verwerkingsroute volgen als het drager materiaal, tenzij de laag tijdens de gebruiksfase los van het drager materiaal wordt vervangen. Hierbij dient ook te worden opgemerkt dat de specifieke verwerkingsroute ook invloed heeft op de mate waarin energie of materiaal kan worden teruggewonnen.

7 Referenties

- Dorsten, Tim van (2021): 'NMD moet hét platform voor circulair bouwen worden'; interview met Jan Willem Groot en Tom de Boer; Duurzaam Gebouwd webartikel 9 juni 2021.
- EN15804 A2 (2019): 'Sustainability of Construction Works - Environmental Product Declarations - Core rules for the product category of Construction Products'; CEN European Committee for Standardization; Brussels, 2019.
- I&M (2015): Regeling vaststelling van de status einde-afval van recyclinggranulaat <https://wetten.overheid.nl/BWBR0036239/2015-02-07>
- NMD (2020): 'Bepalingsmethode Milieuprestatie Bouwwerken 1.0'; Stichting Nationale Milieu Database; Rijswijk, juli 2020.
- NMD (2021): 'Forfaitaire waarden voor verwerking-scenario's einde leven behorende bij: Bepalingsmethode Milieuprestatie Bouwwerken'; versie juli 2021. '
- PCR Asphalt (2020): 'Product Category Rules voor bitumineuze materialen in verkeersdragers en waterwerken in Nederland'; versie 1.0, 2020.
- Staalfederatie (2020): Staalfederatie basisprofielen, in de NMD processendatabase gepubliceerd in maart 2020.
- TNO (2020): 'LCA Achtergrondrapport voor brancherepresentatieve Nederlandse asfaltmengsels 2020'; TNO 2020 R10987; Utrecht, 2020.

8 Begrippenlijst

Baat	een voordeel in module D welke in mindering gebracht wordt op de milieu-impact in A t/m C. resulterend in een betere MKI of MPG score
Bepalingsmethode	Bepalingsmethode Milieuprestatie Bouwwerken
EN15804	Europese norm met regels voor de declaratie van environmental product declarations (EPD's)
EN 15978	Europese norm met rekenregels voor de bepaling van duurzaamheid van bouwwerken
End-Of-Life (EoL)	einde leven scenario = verwerkingsscenario einde levensduur
End-of-Waste (EoW)	einde afval punt, het moment waarop afval weer grondstof is
EPD	environmental product declaration
Grondstoffenequivalent	(GE) geeft aan hoeveel en welk primair productieproces (in module A1-3 van een ander productsysteem) een secundair materiaal of secundaire brandstof kan uitsparen omdat ze technisch gezien gelijkwaardig zijn. Het grondstoffenequivalent vormt de basis voor een juiste berekening van de baten en lasten in module D.
Forfaitair scenario	verondersteld scenario
Kwaliteitsfactor	(K) het product van degradatie, kwaliteitsverlies en functieverlies
Last	een nadeel in module D dat wordt opgeteld bij de milieu-impact in A t/m C. resulterend in een minder goede MKI of MPG score
NMD	Nationale Milieu Database
Module D	De laatste van de vier modules of levensfasen van een levencyclusanalyse: de milieubaten of – lasten buiten de systeemgrens van een bouwwerk
Product Category Rules	(PCR) regels voor de toepassing van de LCA methode voor specifieke productgroepen

9 Ondertekening

Naam en adres van de opdrachtgever:

Stichting NMD
Visseringlaan 22b
2288 ER Rijswijk

Naam en functies van medewerkers:

Fraanje, P.J. (TNO)
Godoi Bizarro, D. (TNO)
Ewijk, H. van (SGS)
Keijzer, E.E. (TNO)
Kraaijenbrink, R. (LBP Sight),
Leeuwen, M. van (NIBE)

Tijdsbestek waarin het onderzoek heeft plaatsgehad:

April 2021 – September 2021

Naam en paraaf tweede lezer:

M. Hauck

Dr. M. Hauck

Ondertekening



Projectleider
E.E. Keijzer MSc

Autorisatie vrijgave



Research Manager
Dr. ir. G.P. van der Laan

10 Bijlage asfalt

Modellering van AC Surf

Materialen (A1)

De samenstellingen van de asfaltmengsels en respectievelijke proceskaarten zijn weergegeven in tabel A1. Bij de productie van asfalt komt eigen stof vrij. Deze stof wordt afgevangen, zodat het weer in nieuw asfalt verwerkt kan worden.

Tabel A1 Gemiddelde samenstelling van de gehanteerde asfaltmengsels, per ton asfalt.

Materiaal (in kg)	AC surf 0% PR	AC surf 30% PR	AC surf 60% PR	AC surf 90% PR	Milieuprofielen
Asfaltgranulaat		294,0	588,0		n.v.t.
Bitumen 40/60	58,0	46,0	34,0		Bitumen bij raffinaderij in Europa, profielwaarden [NL-PCR asfalt]
Brekerzand Bestone®	215,0	139,0			Steenslag uit groeve in Europa exclusief transport naar Nederland [NL-PCR asfalt]
Brekerzand Morene	64,0	119,0			Gravel, crushed/[RoW] gravel production, crushed
Eigen stof	16,0	9,0			Steenslag uit groeve in Europa exclusief transport naar Nederland [NL-PCR asfalt]
Natuurlijk zand	92,0				0168-fab&Zand, industriezand, ophoogzand, betonzand, drainagezand (o.b.v. Sand {GLO} market for Cut-off, U)
Steenslag Bestone®	390,0	198,0	187,0		Steenslag uit groeve in Europa exclusief transport naar Nederland [NL-PCR asfalt]
Steenslag Morene	116,0	168,0			Gravel, crushed/[RoW] gravel production, crushed
Zwakke vulstof	49,0	27,0	27,0		0215-fab&kalksteen, kalksteenmeel (o.b.v. Limestone, crushed, washed {RoW} market for limestone, crushed, washed Cut-off, U)
Bronnen: Alle proceskaarten komen uit de Nationale Milieudatabase v3.1 (o.b.v Ecoinvent 3.5) behalve Brekerzand Morene die gemodelleerd is met een Ecoinvent v 3.5 proceskaart.					

11 Bijlage beton

Tabel B1 Palen, beton palen, 0-variant (modules A1-D), per meter.

Palen, Beton palen						
Materiaal/ proces	Fas e	Milieuprofiel	Database / bron	Hoeveelh eid	Eenhei d	Uitgangspunten
Productie betonmortel	A1- 3	Betonmortel, prefab heipaal, 2382 kg/m ³	NMD	0,160	m ³	Zie Tabel . Betonmortel in 1 m paal weegt 381 kg.
Transport	A4	Transport, Vrachtwagen (>32 ton), euro 5, diesel	Proces	57,1	tonkm	Transport 150 km
Aanleg	A5	Heien, Heistelling, hydraulisch, heien/trillen, diesel	Proces	0,108	uur	Plaatsen heipaal
Installatie- verlies	A5	A1-4, C2-4 en D	-	3,0	%	Forfaitair installatie- verlies prefab product A1-4, C2-4 hier (A5) gedeclareerd; D deel in D
Sloop	C1	Heien, Heistelling, hydraulisch, heien/trillen, diesel	Proces	0,033	uur	Verwijderen heipaal doormiddel van getrild trekken. Heipalen die geplaatst worden in vrije ruimte zullen verwijderd worden. Er zijn ook situaties waar heipalen gedeeltelijk verwijderd worden (20%), hiervoor is een tweede scenario opgenomen. In het hoofdproduct wordt uitgegaan van volledig verwijderen.
Transport	C2	Transport, Vrachtwagen (>32 ton), euro 5, diesel	Proces	19,1	tonkm	Forfaitair 50 km naar sorteerlocatie
Breken beton	C3	0270-reC&Breken, per kg steenachtig (o.b.v. SBK Breken steenachtig MRPI)	NMD	381	Kg	99% recyclen beton, aangenomen dat 100% gebroken wordt
Stort beton	C4	0240-sto&Stort beton, cellenbeton (o.b.v. Waste concrete {Europe without Switzerland} treatment of waste concrete, inert material landfill Cut-off, U)	NMD	3,81	kg	Forfaitair 1% stort beton
Vermeden grind- /zand- winning	D	0280-reD&Module D, zand (o.b.v. Sand {RoW} gravel and quarry operation Cut- off, U)	NMD	377	kg	Forfaitair 99% recycling, vermeden grind-/zandwinning.

Tabel B2 Betonmortel, prefab heipaal, 2382 kg/m3 (CEM I) per m3 (grondstoffen, transport en energie).

0168-fab&Zand, industriezand, ophoogzand, betonzand, drainagezand (o.b.v. Sand {GLO}) market for Cut-off, U)	800	kg	
0193-fab&Grind (o.b.v. Gravel, round {RoW}) market for gravel, round Cut-off, U)	1100	kg	Market for =>aanname: transport zit er volledig in
0157-fab&Betongranulaat (= 0-waarden want 'vrij van milieulast')		kg	100% primair (bij 70% primair / 30% puingranulaat: 330 kg)
Cement, Portland {Europe without Switzerland} production Cut-off, U)	300	kg	i.p.v. 0172-fab&Cement, CEM I
Poederkoolvlieggas (1997) (= 0-waarden; onderbouwd niet gealloceerd)	50	kg	
Plasticizer, for concrete, based on sulfonated melamine formaldehyde {GLO} production Cut-off, U)	2	kg	
Water, drinkwater (o.b.v. Tap water {RER}) market group for Cut-off, U)	130	kg	
0001-tra&Transport, vrachtwagen (o.b.v. Transport, freight, lorry, unspecified {GLO}) market for Cut-off, U)		tkm	betonpuingranulaat (indien toegepast aanname: 50 km)
Electricity, medium voltage {NL} market for Cut-off, U)	3,63	kWh	Productie
Diesel, burned in building machine {GLO} market for Cut-off, U)	4,43	MJ	Productie
Heat, district or industrial, natural gas {Europe without Switzerland} market for heat, district or industrial, natural gas Cut-off, U)	31,6	MJ	Productie

Tabel B3 Palen, beton palen, variant 2 - verwijderen van 20% heipalen (modules C1-D), per meter.

Sloop	C1	Heien, Heistelling, hydraulisch, heien/trillen, diesel	Proces	0,0067	uur	Verwijderen heipaal, getrild trekken (20%), 80% laten zitten.
Transport	C2	Transport, Vrachtwagen (>32 ton), euro 5, diesel	Proces	3,82	tonkm	Forfaitair 50 km naar sorteerlocatie
Breken beton	C3	0270-reC&Breken, per kg steenachtig (o.b.v. SBK Breken steenachtig MRPI)	NMD	76,2	kg	99% recyclen beton, aangenomen dat 100% gebroken wordt
Stort beton	C4	0240-sto&Stort beton, cellenbeton (o.b.v. Waste concrete {Europe without Switzerland} treatment of waste concrete, inert material landfill Cut-off, U)	NMD	309	kg	Forfaitair 1% stort beton + 80% die blijft zitten gemodelleerd als emissies van stort.
Vermeden grind-/zandwinning	D	0280-reD&Module D, zand (o.b.v. Sand {RoW}) gravel and quarry operation Cut-off, U)	NMD	75,4	kg	Forfaitair 99% recycling, vermeden grind-/zandwinning.

Tabel B4 Palen, beton palen, variant 3 – vermeden zandcement voor 95% toepassing als funderingsmateriaal (module D), per meter.

Vermeden grind-/zandwinning	D	0271-reD&Module D, grind, per kg NETTO geleverd granulaat/grind (vermeden: Gravel, round {RoW} gravel and sand quarry operation Cut-off, U)	NMD	15,1	kg	4% toeslagmateriaal in beton, vermeden grind-/zandwinning.
Vermeden grind-/zandwinning	D	0280-reD&Module D, zand (o.b.v. Sand {RoW} gravel and quarry operation Cut-off, U)	NMD	348	kg	95% in funderingsmateriaal; 97% vermeden zandwinning.
Vermeden productie cement	D	0172-fab&Cement, CEM I	NMD	10,7	kg	95% in funderingsmateriaal; 3% vermeden cement (type als in A1).

Tabel B5 Straatwerk elementen, betonsteen, 0-variant (modules A1-D), per meter.

Straatwerk elementen (betonsteen)						
Materiaal/proces	Fase	Milieuprofiel	Database / bron	Hoeveelheid	Eenheid	Uitgangspunten
Productie betonmortel	A1-3	Betonmortel, prefab straatwerk, 2230 kg/m ³	NMD	0,05	m ³	Zie Tabel . Betonmortel in 1 m ² straatsteen weegt 111,5 kg.
Transport	A4	Transport, Vrachtwagen (>32 ton), euro 5, diesel	1010 transport	16,7	tonkm	Forfaitair bulktransport 150 km
Aanleg	A5	Bewerken, Trilplaat 250-700 k, categorie IIIB, diesel	3000 bewerken	0,0189	uur	Plaatsen betonsteen
Aanleg	A5	Verplaatsen, Wiellaadschop, categorie IIIB, diesel	4000 verplaatsen	0,0833	uur	Plaatsen betonsteen
Installatieverlies	A5	A1-4, C2-4 en D	-	3,0	%	Forfaitair installatieverlies prefab product A1-4, C2-4 hier (A5) gedeclareerd; D deel in D
Sloop	C1	Verplaatsen, Wiellaadschop, categorie IIIB, diesel	4000 verplaatsen	0,008	uur	Verwijderen betonsteen

Transport	C2	Transport, Vrachtwagen (>32 ton), euro 5, diesel	1010 transport	5,63	tonkm	Forfaitair 50 km naar sorteerlocatie
Breken beton	C3	0270-reC&Breken, per kg steenachtig (o.b.v. SBK Breken steenachtig MRP)	NMD	5,58	kg	5% naar recycling, aangenomen dat hiervan 100% gebroken wordt
Stort beton	C4	0240-sto&Stort beton, cellenbeton (o.b.v. Waste concrete {Europe without Switzerland} treatment of waste concrete, inert material landfill Cut-off, U)	NMD	0,0558	kg	Van de 5% die gerecycled wordt is 1% stort aangenomen (gebaseerde of forfaitair scenario)
Hergebruik	D	A1-3 Staatwerk elementen (betonsteen)	NMD	0,95	m ²	95% hergebruik product
Vermeden grind-/zand-winning	D	0280-reD&Module D, zand (o.b.v. Sand {RoW} gravel and quarry operation Cut-off, U)	NMD	8,34 (zie Tabel 3.1)	kg	Van 5% die naar recycling gaat wordt 99% granulaat gemaakt, vermeden zand/grind productie

Tabel B6 Betonmortel, prefab straatwerk, 2230 kg/m³ (CEM III/A) per m³ (grondstoffen, transport en energie).

0168-fab&Zand, industriezand, ophoogzand, betonzand, drainagezand (o.b.v. Sand {GLO} market for Cut-off, U)	880	kg	
0193-fab&Grind (o.b.v. Gravel, round {RoW} market for gravel, round Cut-off, U)	540	kg	
0156-fab&AVI-Bodemas (= 0-waarden; onderbouwd niet gealloceerd)	250	kg	
0157-fab&Betongranulaat (= 0-waarden want 'vrij van milieulast')	130	kg	(=20%)
Cement, blast furnace slag 36-65% {Europe without Switzerland} market for cement, blast furnace slag 36-65% Cut-off, U	290	kg	i.p.v. Cement, CEM III/A
Water, drinkwater (o.b.v. Tap water {RER} market group for Cut-off, U)	140	kg	
0001-tra&Transport, vrachtwagen (o.b.v. Transport, freight, lorry, unspecified {GLO} market for Cut-off, U)	6,5	tkm	betonpuingranulaat (indien toegepast aanname: 50 km)
Electricity, medium voltage {NL} market for Cut-off, U	3,63	kWh	Productie
Diesel, burned in building machine {GLO} market for Cut-off, U	4,43	MJ	Productie
Heat, district or industrial, natural gas {Europe without Switzerland} market for heat, district or industrial, natural gas Cut-off, U	31,6	MJ	Productie