



Opzoekingscentrum voor de Wegenbouw
Samen voor duurzame wegen

Duurzaamheidsevaluatie van asfaltmengsels



22

Dossier

► Duurzaamheidsevaluatie van asfaltmengsels

► Auteurs

Luc De Bock
l.debock@brrc.be

Stefan Vansteenkiste
s.vansteenkiste@brrc.be

Ann Vanelstraete
a.vanelstraete@brrc.be

Dossier 22 – Een publicatie van het **Opzoekingscentrum voor de Wegenbouw**

Februari 2023

© OCW – Alle rechten voorbehouden.

Verantwoordelijke uitgever: Annick De Swaef, Woluwedal 42, 1200 Brussel

► Inhoud

1	Context	5
1.1	Duurzaamheid	5
1.2	Focus van de studie	7
1.3	Duurzaamheid stimuleren via nieuwe aanbestedingsvorm (<i>Green Public Procurement</i>)	8
2	Normatief kader van de duurzaamheidsbepaling	9
2.1	Framework voor de bouwsector	9
2.2	Beoordeling van een product	10
3	Duurzaamheidsanalyse – Methode van aanpak	13
3.1	SEVE	13
3.2	MKI	14
3.3	EDGAR	15
4	Analyse via EDGAR-methode	17
4.1	Geselecteerde asfaltvarianten	17
4.2	Duurzaamheidsanalyse – Berekening en resultaten	18
4.2.1	Klimaatverandering	18
4.2.2	Uitputting van niet-hernieuwbare grondstoffen	25
4.2.3	Luchtverontreiniging	27
4.2.4	Uitloging naar bodem- en grondwater	28
4.2.5	Lawaaihinder	29
4.2.6	Stroefheid	29
4.2.7	Recycleerbaarheid	30
4.2.8	Verantwoord aankoopbeleid	30
4.2.9	Kostprijs	31
4.2.10	Verkeersopstopping	31
4.2.11	Technische kwaliteit	31
4.3	Overzicht van de resultaten van de duurzaamheidsanalyse volgens de EDGAR-methode	32
5	Vergelijking tussen de methodes EDGAR en MKI op het vlak van duurzaamheidsbeoordeling	34
5.1	Situering MKI-methode	34
5.2	Berekening van de MKI-waarde	36
5.3	Praktijk in de Nederlandse asfaltsector	36
5.4	Uitbreidbaar naar België?	36
5.5	Duurzaam aanbesteden met de MKI	37
5.6	Vergelijking met de EDGAR-methode	38
6	Conclusie	39
	Literatuur	41
	Afkortingen	47
Bijlage 1	Emissiefactoren voor grondstoffen, waar ze te vinden en hoe ze te interpreteren	48
Bijlage 2	Overzicht van milieu-impactcategorieën volgens EN 15804 (NBN, 2012+2019/2021)	62
Bijlage 3	Energieverbruik en gerelateerde broeikasgasemissies op de asfaltmenginstallatie	64
Bijlage 4	Toelichting bij de MKI-methode	68

► **Duurzaamheidsevaluatie van asfaltmengsels**

► 1 Context

1.1. Duurzaamheid

Het begrip duurzaamheid wordt vaak uitgelegd met drie pijlers van duurzame ontwikkeling, met name de ecologische, sociale en economische pijler (figuur 1.1). Duurzame ontwikkeling brengt economische welvaart, is sociaal evenwichtig (brengt welzijn) en is ecologisch draagbaar binnen de beperkingen van de planeet waarop we leven. Het betekent dus onder meer een verbruik van natuurlijke rijkdommen zonder ze uit te putten en een belasting van het milieu zonder zijn vermogen tot zelfherstel te overschrijden en zonder de natuurlijke processen te veel te verstoren. Dat vergt een zuinige omgang met eindige grondstoffen en energie, minder afgifte van toxische stoffen aan lucht, water en bodem, en minder afvalproductie. Een ontwikkeling is duurzaam als ze zo is ontworpen dat ze oneindig kan worden verdergezet, niet enkel voor de huidige generatie maar ten behoeve van alle toekomstige generaties (United Nations [UN], 1987).



Figuur 1.1 – Venndiagram van de drie pijlers van duurzaamheid (Montanus, 2017)

Duurzaamheid is dus een ruim begrip, dat vele aspecten van onze interactie met het leefmilieu omvat (zoals emissies, landgebruik, biodiversiteit, energie, klimaatverandering, enz.) en ook aandacht heeft voor sociale aspecten van de menselijke ontwikkeling (zinnvolle arbeid, ontplooiing, veiligheid, gezondheid, gelijkheid, enz.). Dat impliceert een brede visie op menselijke welvaart, een langetermijnvisie op de gevolgen van ons huidig handelen, alsook sociale gelijkheid tussen generaties en binnen de huidige generatie.

► Duurzaamheidsevaluatie van asfaltmengsels

Globaal gezien hebben de Verenigde Naties dit thema verder verfijnd, eerst via de millenniumdoelstellingen (periode 2000-2015) en vervolgens de SDG's (*Sustainable Development Goals* of **doelstellingen voor Duurzame Ontwikkeling**, voor de periode 2015 – 2030) (UN, 2015). Figuur 1.2 geeft een overzicht van de 17 categorieën doelstellingen waarop de VN wil inzetten om tegen 2030 de wereld duurzamer te maken. Samen bevat dit internationaal referentiekader 169 doelen op economisch, sociaal en ecologisch gebied (UN, 2020a).



Figuur 1.2 – Logo's van de 17 hoofddoelstellingen voor duurzame ontwikkeling van de VN (SDGS, 2022)

Hoewel dit kader vooral gericht is naar de individuele landen – lidstaten van de VN – kunnen ook op een lager niveau acties worden ondernomen, en kunnen lokale overheden, organisaties, bedrijven of zelfs individuen zich hierop inspireren. Bedrijven gebruiken (een selectie uit) deze SDG's als referentie, inspiratiebron of rapporteringskader om naar hun belanghebbenden op een begrijpbare manier te communiceren over hun inspanningen in het kader van maatschappelijk verantwoord ondernemen (MVO). Zo proberen ze hun activiteiten en impact op onze leefwereld te verantwoorden. Ze focussen dan op één of meerdere van de 169 subdoelstellingen, namelijk diegene die het best bij hun activiteiten passen. Voor hun rapportering kunnen ze zich baseren op de door de VN opgestelde lijst van indicatoren (UN, 2020b).

Ook de bouwsector speelt een belangrijke rol in het streven naar duurzame ontwikkeling. Daarom is het nodig te werken aan een systeem voor de duurzaamheidsbeoordeling van bouwwerken, om zo een basis te verschaffen voor de continue verbetering van de prestaties op milieu-, sociaal en economisch vlak. Dat past dan binnen het kader van een concrete bijdrage van de bouwsector aan de verwezenlijking van de duurzame ontwikkelingsdoelen van de Verenigde Naties.

1.2. Focus van de studie

In dit document focussen we op de duurzaamheidsevaluatie in de asfaltwegenbouw, met als casestudie een analyse van de duurzaamheid van asfaltmengsels voor toplagen van wegverhardingen, met en zonder hergebruik en al dan niet in combinatie met verjongingsmiddelen.

Recycleerbaarheid is een grote troef voor asfalt. Het hergebruik van asfaltgranulaat (AG) gaat gepaard met grote voordelen die zich zowel op het economische als ecologische vlak situeren. Een belangrijke voorwaarde is uiteraard het behoud van de duurzaamheid of prestaties van de overeenkomstige asfaltmengsels en dit om de levensduur te garanderen.

Een principe daarbij is dat we de materialen aan het einde van de levensduur – in casu van de weg – zo hoogwaardig mogelijk hergebruiken. De inzet van AG in toplagen is in dit kader een belangrijke uitdaging. We wensen in deze circulariteit ook dat een waardevermindering of *downgrading* van AG tijdens iedere schakel van de keten wordt geminimaliseerd. De problematiek van een kwalitatieve en economische verantwoorde omgang met herhaaldelijk hergebruik of *multiple recycling* van AG is vandaar ook heel actueel. Specifiek voor asfalt waarbij de te recycleren grondstof AG door verouderingsprocessen al een groot deel van zijn technische capaciteiten verloren heeft, kan het gebruik van verjongingsmiddelen (ook verjongers genoemd) een oplossing zijn om de recycleerbaarheid te verbeteren of zelfs gewoon mogelijk te maken.

Om bovenstaande voordelen in het kader van een circulaire economie maximaal te kunnen benutten of inzetten, is het noodzakelijk te beschikken over een objectieve beoordeling van de impact van hergebruik en verjongingsmiddelen op de duurzaamheid of *sustainability*. Een dergelijke beoordeling laat immers toe aan de hand van een reeks veelal kwantitatieve indicatoren, die zich zowel op het ecologische, economische als sociale vlak bevinden, een globale evaluatie van de duurzaamheid uit te voeren.

Het resultaat van een transparante evaluatie biedt de wegbeheerder ook de mogelijkheid om in de toekomst nieuwe vormen van aanbesteden uit te bouwen waarbij naast de prijszetting ook op een objectieve wijze het aspect duurzaamheid in rekening wordt gebracht. Men spreekt in dat geval over 'groen' aanbesteden of *Green Public Procurement (GPP)* (European Commission, 2016).

OCW zet – als onderzoekscentrum voor de wegenbouw en in lijn met zijn bedrijfslogon “*Samen voor duurzame wegen*” – ook sterk in op dit onderwerp, en heeft bijvoorbeeld de voorbije jaren een aantal onderzoeksprojecten rond de duurzaamheidsevaluatie van asfalt uitgevoerd, in het bijzonder de projecten EDGAR en Re-RACE (De Visscher et al., 2016; Vansteenkiste, 2021). De duurzaamheidsevaluatie die in deze publicatie gedetailleerd wordt besproken, maakte deel uit van het Re-RACE project. Hierbij werd gebruikgemaakt van recente data inzake levenscyclusinventarisatie (LCI) van bitumineuze bindmiddelen en verjongingsmiddelen (op basis van gegevens beschikbaar gesteld door diverse leveranciers of hun federaties).

De recyclingactiviteit door het nuttig toepassen van AG als grondstof in nieuw asfalt wordt voortgestuwd door twee belangrijke trends. Enerzijds is er de economische incentive van gebruik van goedkopere dan nieuwe grondstoffen in asfaltmengsels, anderzijds is er de positieve impact van hergebruik van AG op het milieu en in het bijzonder de vermindering van de CO₂-voetafdruk en het tegengaan van schaarste aan nieuwe grondstoffen (Vansteenkiste & Gonda, 2013). Beide motivaties passen perfect in de voornoemde duurzaamheidspijlers. Bij een duurzaamheidsbeoordeling van verjongingsmiddelen, dienen de ecologische en economische kosten van toevoeging van het

► Duurzaamheidsevaluatie van asfaltmengsels

verjongingsmiddel te worden afgewogen tegenover de ecologische en economische baten. Indien verjongingsmiddelen een invloed kunnen hebben op de hoeveelheid nieuwe materialen/bindmiddel, is de potentiële impact op dit deel van de duurzaamheid duidelijk.

1.3. Duurzaamheid stimuleren via nieuwe aanbestedingsvorm (Green Public Procurement)

In de klassieke aanbestedingsvorm waarbij enkel de aangeboden kostprijs doorslaggevend is in de gunning van een werk, dienst of product, maken duurzame oplossingen vaak geen kans om te winnen, omdat ze meestal gewoon veel duurder zijn dan een niet-duurzame variant. In die context kunnen duurzamere oplossingen enkel worden gepromoot indien bepaalde elementen van de duurzaamheidsanalyse meespelen in het gunningsproces, en daar indien nodig een beslissende bijdrage in krijgen. Deze alternatieve manier van aanbesteden noemen we groen of duurzaam aanbesteden (De Bock, 2021).

Aanbestedende overheden spelen een belangrijke rol in de transitie naar deze alternatieve aanbestedingsvorm omdat de overheid belangrijke budgetten voor de aanbesteding van producten, diensten en werken in de markt zet, en zo het goede voorbeeld kan geven voor de rest van de bedrijven in de economische keten. Door een bestek te schrijven dat duurzaamheid promoot en bevoordeelt, toont zij voor alle bedrijven de te volgen richting: die naar meer duurzaamheid. De internationale norm ISO 20400 (International Organization for Standardization [ISO], 2017) definieert duurzaam aankopen als “het inzetten van koopkracht met het oog op de maximale positieve ecologische, sociale en economische impact doorheen de levensduur van producten, diensten en werken.”

Er wordt verwacht dat het belang van het hanteren van een ‘milieuscore’ in de toekomst verder aan belang zal winnen, en dit in de eerste plaats door de wegbeheerders in het kader van GPP. In dit kader kan worden verwezen naar de recente introductie van de CO₂-prestatieladder bij een aantal pilotprojecten (Scheldelaan, 2022). In een eerste proefproject werd aan de winnende partij – die een ambitieniveau “niveau 3” kon bewijzen door certificatie – een gunningsvoordeel gegeven van 3 % op de inschrijvingsprijs (Onderhoud Scheldelaan, 2022; Scheldelaan, 2022; Stichting Klimaatvriendelijk Aanbesteden & Ondernemen, s.d.; Vlaamse Overheid, Agentschap Wegen en Verkeer [AWV], 2022). Ook de MKI of ‘milieukostenindicator’ is hierbij een steeds vaker gehanteerd begrip waarmee momenteel (vanaf 2021) in Nederland ervaring wordt verworven ([Hoofdstuk 5](#)).

De Belgische aanpak hieromtrent is nog in ontwikkeling. Hierbij gaat de aandacht eerder in de richting van een zogenaamde “infra-TOTEM” (een voor de wegenbouw aangepaste versie van de TOTEM-building tool) (De Bock, 2020).

Of zoals verwoord in de visie van AWV (Vlaamse overheid): “De holistische visie van milieubewust bouwen in de infrastructuur bestaat dan uit 3 fases:

- in de ontwerpfasen: keuze van de ontwerpopties (materialen, opbouw, uitvoering, enz.) door evaluatie van de milieu-impact aan de hand van Infra-TOTEM;
- bij aanbesteding en uitvoering: CO₂-prestatieladder & selectie bouwmaterialen met lagere milieu-impact;
- bij oplevering: As-Built berekening van de reële milieu-impact na uitvoering” (De Winne, 2022).

Dit onderwerp is duidelijk nog in evolutie en dient zich ook in te schrijven in een Europees kader dat in een volgende paragraaf nader wordt toegelicht.

► 2 Normatief kader van de duurzaamheidsbepaling

2.1 Framework voor de bouwsector

Een duurzaamheidsbepaling betekent een inschatting maken van de drie pijlers, die gezamenlijk van belang zijn voor de duurzaamheid, met name milieu-, sociale en economische aspecten. De drie pijlers kunnen eventueel afzonderlijk worden bepaald, afhankelijk van de reikwijdte van de methodiek.

Internationaal is men reeds vele jaren bezig om een algemeen aanvaard (normen)kader te scheppen om deze duurzaamheidsanalyse op een uniforme wijze te beschrijven. Dat gebeurt in Europa bijvoorbeeld via CEN/TC 350 *Sustainability of Construction Works* en wereldwijd via ISO/TC 59/SC17 *Buildings and Civil Engineering Works, Sustainability* (figuur 2.1).

Framework level	Sustainability Assessment			Technical characteristics	Functionality
	prEN 15643 (revisions of EN 15643-1...5) Sustainability of Construction Works – Framework for Assessment of Buildings and Civil Engineering Works			Service Life Planning – Principles ISO 15686-1	(See Note 2)
Works level	prEN 15978-1 (EN 15978 rev) Assessment of Environmental Performance of Buildings	prEN 15978-2 (EN 16309 rev) Assessment of Social Performance of Buildings	prEN 15978-3 (EN 16627 rev) Assessment of Economic Performance of Buildings	EN ISO 52000 Energy Performance of Buildings	
	prEN 17680 Evaluation of the Potential for Sustainable Refurbishment of Buildings				
	prEN 17472 Sustainability Assessment of Civil Engineering Works				
Product level	EN 15804 + A2 Environmental Product Declarations – Core Rules for Construction Products			Service Life Prediction Procedures ISO 15686-2, Feedback from Practice ISO 15686-7, Reference Service Life & Service Life Estimation ISO 15686-8	
	prEN 15942rev Communication format B-to-B				
	prEN 15941rev Data Quality				
	prEN 17672 Rules for B-to-C communication				
	prEN ISO 22057 Data templates for the use of EPDs in BIM				
	CEN/TR 16790 Guidance for EN 15804				
CEN/TR 17005 Additional Indicators					

NOTE 1 The coloured boxes represent the current work programme of CEN/TC 350.

NOTE 2 Functional requirements are part of client's brief and building regulations.

Figuur 2.1 – Samenhang tussen normen voor duurzaamheidsanalyse van bouwwerken
(Figure 2 - Work programme of CEN/TC 350) (Bureau voor Normalisatie [NBN], 2021)

Op het overkoepelende niveau (*Framework level*, 1^{ste} rij in figuur 2.1) bestaan voor de duurzaamheidsanalyse van bouwwerken momenteel vijf subnormen in de reeks EN 15643-1 tot en met EN 15643-5 (NBN, 2010-2017). Deze behandelen respectievelijk de algemene principes, de ecologische, sociale en economische aspecten van de duurzaamheidsanalyse van bouwwerken van het type “gebouwen” en anderzijds (in deel 5) specifieke aspecten van belang voor bouwwerken van het type “infrastructuurwerken/burgerlijke bouwkunde”. De laatste jaren werd binnen CEN/TC 350 de herziening van deze normen uitgevoerd en dit om de reeks van vijf subnormen om te vormen tot één geïntegreerde norm, namelijk EN 15643 (NBN, 2021).

► Duurzaamheidsevaluatie van asfaltmengsels

Op projectniveau (*Works level* in figuur 2.1) wordt er meer in detail gekeken naar de situatie van het bouwwerk in kwestie, enerzijds voor gebouwen (voor bewoning, handels- of dienstenactiviteiten, kantoren, enz.) en anderzijds voor bouwwerken van burgerlijke bouwkunde (*civil engineering works*). Voor de sector van de gebouwen is de normgeving al het verst gevorderd: hier bestaan er momenteel drie verschillende normen voor de beoordeling van de duurzaamheid van gebouwen (één voor elke pijler): EN15978rev (NBN, 2012) (prestatie op het vlak van milieuaspecten), EN16309rev (NBN, 2014) (prestatie op het vlak van sociale aspecten) en EN16627rev (NBN, 2015) (prestatie op het vlak van economische aspecten). Ook hier werkt CEN/TC 350 aan een herziening, en na afloop van de huidige revisieperiode voor deze normen (2020–23), zullen deze drie normen worden samengebracht tot één norm bestaande uit drie onderdelen. Momenteel bevinden deze revisies zich nog in de ontwerpfase: prEN 15978 (European Committee for Standardization [CEN], 2021). Op hetzelfde projectniveau is een norm specifiek voor de infrastructuurwerken/burgerlijke bouwkunde net gepubliceerd (EN 17472, CEN, 2022).

Op het niveau van de individuele bouwproducten (*Product level*, onderaan 1^{ste} kolom figuur 2.1) geeft norm EN 15804 (NBN, 2012+2019/2021) de kernregels aan voor de declaratie van de milieuprestatie van bouwproducten via EPD's (*Environmental Product Declarations*). Voor wat betreft de regels (PCR – *Product Category Rules*) waaraan een EPD voor asfaltmaterialen moet voldoen, kon voor het ontwerp prEN 17392-1 (*Sustainability of construction works – Environmental product declarations – Core rules for road materials, Part 1: Bituminous Mixtures [CEN, 2020]*) omwille van nog te veel onduidelijkheden in de ontwerptekst in juni 2020 tijdens de consultatie bij de nationale leden van CEN nog geen overeenstemming tot goedkeuring worden bereikt.

Dit onderwerp is duidelijk nog in evolutie en OCW volgt de ontwikkelingen op de voet, onder andere als lid van de werkgroepen voor Europese normalisatie (of hun Belgische spiegelgroep) zoals CEN/TC 350 omtrent *sustainability of construction works* en zijn subcomité SC1 omtrent “circulaire economie in de bouwsector”.

2.2 Beoordeling van een product

Voor de beoordeling van de duurzaamheid van een product of dienst worden evaluatiemethodes ontwikkeld, en zeer grote aandacht gaat daarbij uit naar de pijler leefmilieu (en minder naar de pijlers economie en sociaal).

Het is algemeen aanvaard dat men voor de bepaling van de (ecologische) duurzaamheid het principe van het levenscyclusdenken (*life cycle thinking*) dient toe te passen. Hierbij worden alle relevante aspecten en effecten (*impacts*) overschouwd die optreden over het verloop van de volledige levenscyclus van een product, project, proces of dienst, gaande van de winning van de elementaire grondstoffen tot en met de afvalbehandeling en eventuele recyclingfase na het einde van de technische/economische levensduur.

De milieu-impact wordt dan geanalyseerd via een levenscyclusanalyse (LCA), waarbij alle relevante onderdelen en hun input- en outputstromen (zoals energie, grondstoffen, landgebruik, emissies, afvalstoffen, recycleerbaarheid, verlies van bruikbaarheid, enz.) worden geanalyseerd en berekend (figuur 2.2).

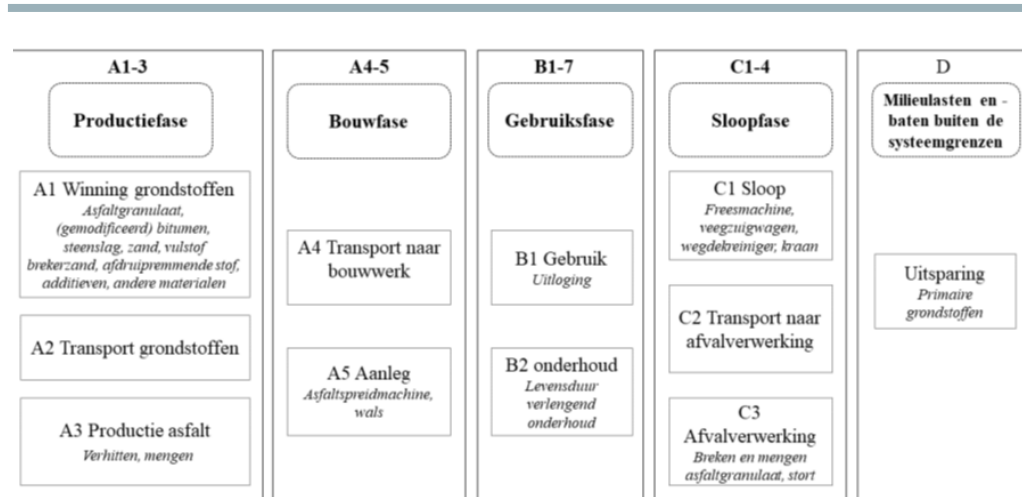


Figuur 2.2 – Levenscyclusanalyse in de bouw (Bron: Totem, 2018)

Een levenscyclusanalyse of LCA is een techniek of rekenmethode waarmee op een redelijk uniforme wijze de milieu-impact van een product, proces of dienst kan worden bepaald. De internationale normen ISO 14040 (NBN, 2006/2020a) en ISO 14044 (NBN, 2006/2020b) vormen een aanvaarde basis voor hoe het LCA-proces kan worden uitgevoerd. In zo een systeem wordt de totale levenscyclus voorgesteld met een indeling in drie grote fases (ook “informatiemodules” geheten), voorgesteld door de letters A (voor de fase van grondstoffenwinning, fabricage van de productonderdelen, en constructie op de bouwplaats), B voor de (jarenlange) gebruiksfase en ten slotte de letter C voor de eindelevensduurfase (sloop en verwerking van de afvalstoffen). Daarnaast wordt de letter D gebruikt voor het symboliseren van alle bijdragen (milieulasten en -baten) die buiten de grenzen van het bestudeerde systeem liggen (bijvoorbeeld recycling van materiaalcomponenten zorgt voor een plaatsvervangende besparing op nieuwe grondstoffen voor een volgend systeem).

Een volledige levenscyclusanalyse heeft betrekking op alle fases/informatiemodules in de levenscyclus, inclusief circulariteit, en krijgt de benaming van-wieg-tot-wieg of *cradle-to-cradle*. Bij een gedeeltelijke analyse spreekt men eerder over van-wieg-tot-fabriekspoort (*cradle-to-gate*, fases A1 tot en met A3) of van-wieg-tot-graf (*cradle-to-grave*, fases A, B en C). Voor het systeem “asfaltweg” ziet een voorbeeld van een systeemdiagram er dan uit zoals weergegeven in figuur 2.3.

► Duurzaamheidsevaluatie van asfaltmengsels



Figuur 2.3 – Voorbeeld van een systeemiagram met levenscyclus van een asfaltmengsel en de bijbehorende informatiemodules A/B/C/D (van der Kruk et al., 2022)

Er wordt gestart met de bepaling van een functionele eenheid (wat wil men juist als systeem bestuderen, wat moet dat doen en wat zijn de alternatieven) en het afbakenen van de systeemgrenzen (wat wordt wel meegenomen, wat niet). Hieruit volgt een flowdiagram van het proces of het product. Vervolgens wordt in de inventarisatiefase (LCIA = *Life Cycle Inventory Analysis*) uitgezocht welke grondstoffen en energie er worden aangewend of verbruikt aan de inputzijde, welke transformaties gebeuren en ten slotte welke afvalstoffen of emissies er ontstaan aan de outputzijde, en dit per functionele eenheid. Met behulp van karakterisatiefactoren kan dan een omrekening gedaan worden van hoeveelheden van materialen en energie naar bepaalde categorieën van effecten of impacts. Deze effecten zijn ingedeeld in bepaalde relevante groepen, zoals bijdrage tot klimaatverandering, bijdrage tot verzuring, enz.

Voor de inventarisatiestudie worden bij voorkeur gegevens van primaire oorsprong gebruikt. Dat zijn meetwaarden van op de productielocatie (zoals de asfaltmenginstallatie) zelf. Indien dat niet mogelijk is gebruikt men secundaire data (bv. voor de transformatie van de ruwe grondstoffen zoals aardolie, of voor kant-en-klare verbruiksgoederen waarvoor een eigen EPD beschikbaar is). In deze studie werd er gesteund op de rekenmethode zoals aanbevolen in EN 17472 (CEN, 2022), wat eigenlijk neerkomt op een samentelling van elementaire matrixberekeningen, over alle levensfasen (modules A, B, C en/of D) heen. Voor elke levensfase (of module) *i* wordt een matrixberekening gedaan waarbij de matrix voor alle materiaalonderdelen de bijdrage bevat van een bepaalde milieu-indicator voor dat materiaalonderdeel in die fase.

► 3 Duurzaamheidsanalyse – Methode van aanpak

Zoals blijkt uit de bespreking van het normatieve kader hierboven is nog niet duidelijk hoe een analyse van de duurzaamheid van een product, proces of bouwwerk concreet moet worden aangepakt. Dit onderwerp is nog in volle evolutie.

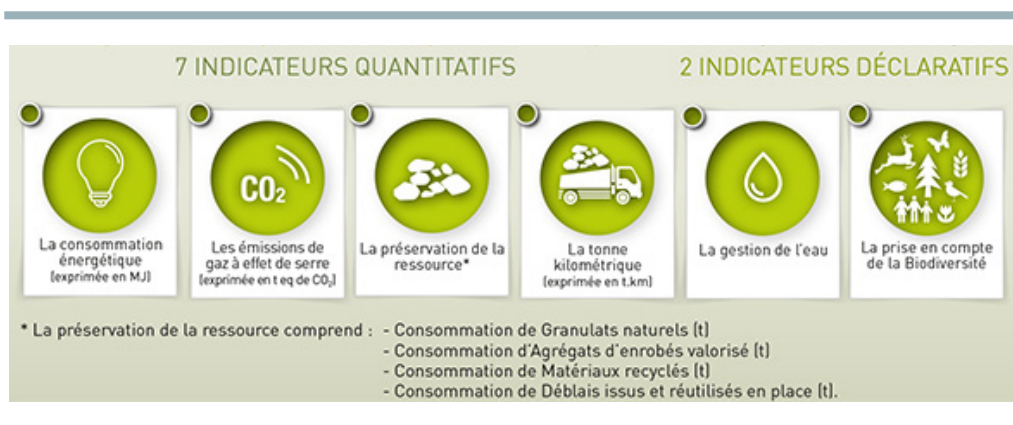
Ondertussen bestaan enkele voorstellen van verder uitgewerkte methodieken, bijvoorbeeld:

- de SEVE-methode (die in Frankrijk wordt gebruikt);
- de MKI-methode (milieukostenindicator, die in Nederland wordt gebruikt);
- de methodiek gebaseerd op het EDGAR-project, die we verder in deze publicatie uiteenzetten.

We bespreken hier kort de aanpak van de twee andere methodes (SEVE en MKI), alvorens we verder zullen ingaan op de EDGAR-methode die we verder zullen aanhouden in dit document.

3.1 SEVE

SEVE is de afkorting van *Système d'Evaluation des Variantes Environnementales*, en is een rekenmethode (software, *éco-comparateur*) ontwikkeld in opdracht van de federatie van de wegenbouwsector in Frankrijk (Routes de France). SEVE's objectief is om verschillende oplossingen voor wegconstructies of wegenonderhoudsschema's te kunnen vergelijken op een aantal indicatoren. SEVE gebruikt negen indicatoren, zoals samengevat in figuur 3.1.



Figuur 3.1 – De indicatoren van de SEVE-software (*Eco compareur/SEVE, s.d.*)

Het gaat om twee kwalitatieve of verklarende indicatoren (beheer van water en rekening houden met de biodiversiteit) en zeven kwantitatieve indicatoren (energieverbruik (in MJ), emissie van broeikasgassen (in ton CO₂-equivalenten), hoeveelheid transport (in tonkilometers) en de bescherming van natuurlijke bronnen (vier onderdelen, in ton: verbruik van aggregaten van natuursteenslag, verbruik van asfaltgranulaat, toepassing van gerecyclede materialen, hoeveelheid uitgegraven bodem die ter plaatse wordt hergebruikt)). SEVE geeft als resultaat een score voor elk van de negen indicatoren, zonder afweging van elk van deze indicatoren tot een totaalscore.

► Duurzaamheidsevaluatie van asfaltmengsels

3.2 MKI

MKI is de afkorting van milieukostenindicator. Het is een indicator die gelinkt is aan de kosten verbonden aan de milieuschade die samenhangt met een bepaald product of systeem en een manier om resultaten van verschillende milieu-indicatoren samen te brengen in een enkele indicator.

Met de MKI-methode wordt een monetaarisatie toegepast op de milieu-impacts: de milieueffecten worden omgezet van een abstracte eenheid (verschillend voor de onderscheiden milieueffecten) naar een vergelijkbare eenheid, namelijk een monetaire waarde. Het is een manier om in een enkelvoudige score de resultaten van verschillende potentiële milieu-impacts te becijferen, om zo gemakkelijk varianten met elkaar te kunnen vergelijken. Ze steunt op het resultaat van een volledige levenscyclusanalyse (LCA) met elf verschillende indicatoren (conform de Nederlandse interpretatie van de Europese norm EN 15804 [NBN, 2012+2019/2021]). Deze verschillende indicatoren worden afgewogen door aan elke indicator een monetaire wegingsfactor te koppelen en deze te sommeren tot één enkele indicator, uitgedrukt in een geldwaarde (euro's).

De elf milieu-indicatoren (acht + drie in verband met ecotoxiciteit) van de LCA die de MKI integreert zijn:

- ✓ uitputting abiotische grondstoffen (exclusief fossiele energiedragers);
- ✓ uitputting fossiele energiedragers;
- ✓ klimaatverandering;
- ✓ aantasting ozonlaag;
- ✓ fotochemische oxidantvorming;
- ✓ verzuring;
- ✓ vermesting;
- ✓ humane toxiciteit;
- ✓ ecotoxiciteit: zoetwatermilieu, marien milieu en terrestrisch milieu.

De Belgische TOTEM-methode werkt op een gelijkaardige manier als de Nederlandse methode van MKI: via monetaarisatie en koppeling aan wegingsfactoren worden de resultaten van een LCA (bestaande uit meerdere impacts of indicatoren met onderling verschillende eenheden) samengevoegd tot een enkelvoudig resultaat, uitgedrukt in eenzelfde (monetaire) eenheid.

Twee belangrijke verschilpunten tussen MKI en TOTEM zijn er wel: enerzijds verschillen de wegingsfactoren van elkaar (qua grootte van de monetaire waarde per effect, zijnde de veronderstelde schaduwkosten / milieuschadefactoren per eenheid LCA-impact) en anderzijds is het aantal indicatoren anders (elf LCA-indicatoren in het Nederlandse model, zeventien in het Belgische model).

Momenteel werkt de TOTEM-tool enkel voor bouwwerken van het type 'gebouw' (woningen, kantoren en andere niet-residentiële gebouwen) en nog niet voor infrastructuurwerken zoals wegen, maar dit is een uitbreidingspiste met veel potentieel (De Bock, 2020; De Winne, 2022).

Voor meer info over de MKI-methode, zie hoofdstuk V en [Bijlage 4](#).

3.3 EDGAR

Zowel de SEVE- als de MKI-methode houden voor duurzaamheid enkel rekening met de pijler 'milieu' en bevatten geen indicatoren voor de economische of de sociale pijler.

Daarom is OCW zelf op zoek gegaan naar een geschikte aanpak, die het heeft uitgewerkt via het project EDGAR (*Evaluation and Decision process for Greener Asphalt Roads*). In dat onderzoeksproject in opdracht van CEDR heeft OCW in samenwerking met Europese partners ervaring en kennis opgebouwd en een methodiek ontwikkeld om specifiek gericht op asfalt een duurzaamheidsbeoordeling van een materiaal en/of (productie)proces uit te voeren (Anastasio et al., 2016; De Visscher et al., 2016; Wayman et al., 2016).

De van de begeleidende stuurgroep ontvangen feedback en het overleg met relevante stakeholders uit de wegbeheerpraktijk hebben de inzetbaarheid van de methodiek in de praktijk bevestigd.

Bij de EDGAR-aanpak wordt gebruikgemaakt van een beperkt aantal voor asfaltwegen relevante indicatoren (tabel 3.1). Deze set van elf indicatoren is minder uitgebreid dan de volledige set van LCA-impactcategorieën, maar er is omwille van praktische en overzichtelijke redenen getracht in een beperkte set toch zo veel mogelijk aspecten te integreren.

Impact / Indicator	Beschrijving
Klimaatverandering	de bijdrage tot klimaatopwarming door broeikasgasemissies
Uitputting abiotische grondstoffen	de bijdrage tot uitputting van niet-hernieuwbare primaire grondstoffen
Luchtverontreiniging	de bijdrage tot luchtvervuiling (verzurende emissies en smog)
Uitloging	het potentieel van uitloging van schadelijke chemische substanties naar bodem- en grondwater
Lawaaihinder	de geluidsproductie ten gevolge van de interactie band-wegdek
Recycleerbaarheid	de evaluatie van de toekomstige recycleerbaarheid van het asfalt wanneer het einde van de levensduur bereikt zal zijn
Stroefheid	stroefheid bepaald door de oppervlaktekenmerken van het asfalt, als essentiële indicator voor verkeersveiligheid (relevant voor toplagen)
Verantwoord aankopen	evalueert de verantwoordelijkheid voor sociale en ecologische impacts in het aankoopproces, door alle actoren in het productieproces
Kostprijs	de financiële kost over de volledige levenscyclus (aanleg, onderhoud, freeswerken en recycling)
Verkeersopstopping	de evaluatie van de impact van de aanleg en het onderhoud (als functie van de technologie) op de mobiliteit van de weggebruiker
Prestaties, technische duurzaamheid	combinatie van prestatie-indicatoren (vermoeiings- en spoorvormingsweerstand, watergevoeligheid) gerelateerd aan verwachte levensduur

Tabel 3.1 – Set van duurzaamheidsindicatoren (EDGAR-methodiek)

► Duurzaamheidsevaluatie van asfaltmengsels

Het gaat hierbij om vijf indicatoren die gerelateerd zijn aan de pijler “milieu” (klimaatverandering, grondstoffenschaarste, recycleerbaarheid, luchtverontreiniging en uitloging), twee indicatoren gerelateerd aan de technische prestaties (stroefheid en langdurige technische geschiktheid), een indicator die gerelateerd is aan de economische pijler (financiële kost) en drie parameters die verbonden zijn met zowel de sociale als de milieupijler (lawaaihinder, verkeersopstopping en verantwoord aankoopbeleid).

► 4 Analyse via EDGAR-methode

In dit deel willen we de aanpak van de EDGAR-methode illustreren door deze methode voor een welbepaald type asfaltmengsel concreet uit te werken.

4.1 Geselecteerde asfaltvarianten

Deze evaluatie werd uitgevoerd op een aantal varianten van asfaltmengsels die bedoeld zijn voor toepassing als top laag in de wegverharding, meer bepaald van het type APT-C, en waarbij gerecycled AG al dan niet wordt gecombineerd met de toevoeging van een verjongingsmiddel.

De invloed van de recycling van AG werd geëvalueerd door varianten met enerzijds een relatief lage recyclinggraad (20 %) en anderzijds een relatief hoog gehalte aan AG (50 %) in de studie op te nemen. Bijgevolg werden de volgende vijf varianten met elkaar vergeleken:

- een klassiek asfaltmengsel voor top laag, met als focus een APT-C mengsel (= referentie);
- APT-C mengsel met 20 % AG zonder verjongingsmiddel;
- APT-C mengsel met 20 % AG en met verjongingsmiddel;
- APT-C mengsel met 50 % AG zonder verjongingsmiddel;
- APT-C mengsel met 50 % AG en met verjongingsmiddel.

Het hoge recyclingpercentage van 50 % in toplagen is nog geen realiteit in de praktijk van de asfalt-wegenbouw (wel in mengsels voor onderlagen), maar wordt hier opgenomen omdat het de verschillen in de vergelijking versterkt en zo het toekomstig potentieel voor duurzamere mengsels in het voetlicht plaatst.

In deze vergelijking werden de APT-C mengsels zo samengesteld dat alle varianten volledig vergelijkbaar zijn wat betreft de verhouding van bindmiddel en mineraal skelet: eenzelfde totaal bindmiddelgehalte (nieuw bitumen + oud bindmiddel uit AG) alsook een gelijke korrelverdeling voor de minerale aggregaten (inclusief deze uit het AG). Een gelijkaardige oefening kan ook worden gemaakt voor andere types asfalt voor toplagen, bv. type AB-4C. Hieruit blijkt dat de finale resultaten weinig verschillen van de huidige oefening, omdat deze mengseltypes vrij gelijkaardig zijn qua samenstelling. De vijf variante APT-C mengselsamenstellingen worden samengevat in tabel 4.1.

Alle APT-C mengsels omvatten per ton asfalt 59 kg bindmiddel en 941 kg minerale bestanddelen. De dosering van het verjongingsmiddel is proefondervindelijk geoptimaliseerd naar een verhouding van 3,5 % van de massa van het oude bindmiddel in AG (Vansteenkiste, 2019).

In deze berekening werd ter vereenvoudiging aangenomen dat nieuw bitumen en verjongingsmiddel in een één-op-één basis kunnen worden vervangen. Voor de variant met 50 % AG (dat in het geval zonder verjongingsmiddel per ton asfalt 26,4 kg oud bitumen bevat naast 32,6 kg nieuw bitumen) komt deze dosering neer op 0,92 kg verjongingsmiddel. In dit geval wordt de dosering aan nieuw bitumen met ongeveer 1 kg verminderd.

► Duurzaamheidsevaluatie van asfaltmengsels

Samenstelling APT-C	Referentie	Met 20 % AG recycling		Met 50 % AG recycling	
		Zonder verjongingsmiddel	Met verjongingsmiddel	Zonder verjongingsmiddel	Met verjongingsmiddel
Steenslag	565	485	485	367	367
Gebroken zand	245	188	188	85	85
Ongebroken zand	56	33	33	14	14
Aanvoervulstof	75	47	47	5	5
Teruggewonnen mineralen in AG	-	188	188	471	471
Teruggewonnen bindmiddel in AG	-	11	11	26	26
Bitumen (B50/70)	59	48	48	33	32
Verjongingsmiddel			0,4		1
Totaal	1 000	1 000	1 000	1 000	1 000

Tabel 4.1 – Overzicht van de mengselsamenstellingen van de APT-C varianten geëvalueerd in de duurzaamheidsstudie (alle hoeveelheden in kg per ton asfalt)

4.2 Duurzaamheidsanalyse – Berekening en resultaten

Voor elke parameter (indicator voor potentiële milieu-impact) werd een analyse volgens de EDGAR-methodiek gemaakt, waarbij de focus uitging naar de bijdrage van het hergebruik van AG, al dan niet in combinatie met verjongingsmiddelen.

4.2.1 Klimaatverandering (Global warming potential)

De uitstoot van broeikasgassen (BKG) is een goede indicator voor de bijdrage aan het probleem van de klimaatverandering. Deze impact op ons globaal ecosysteem wordt voorgesteld via het klimaatopwarmingspotentieel of *Global Warming Potential* (GWP), en uitgedrukt in een massa CO₂-equivalenten (in kg).

Wanneer er voor het volledige proces van asfaltwegen een inschatting dient te worden gemaakt, dan kan dat door eerst een inventarisatie te maken aan de inputzijde van de materialen die worden gebruikt/verbruikt, en vervolgens voor elke materiaalsoort de aangewende hoeveelheid (massa) te vermenigvuldigen met de overeenkomstige omrekeningsfactor, en te sommeren over alle materiaaltypes volgens de formule:

$$\text{BKG-emissie-totaal} = \sum (\text{over alle materiaaltypes } j) \text{ massa}_j \times \text{EF}_j \quad (\text{Formule 1})$$

met EF_j de **emissiefactor** (voor BKG) voor materiaal j uitgedrukt in $\text{kg CO}_2\text{-eq}$. per massa-eenheid.

Om de GWP-bijdrage te berekenen voor een product of proces, in voorliggend geval een asfaltmengsel met een bepaalde mengselsamenstelling, moet er dus een berekening worden gemaakt over het geheel van alle modules in de levenscyclus (of enkel diegene die ons het meest relevant lijken of waar we betrouwbare informatie over hebben) door het product te maken van de rijmatrix van alle materiaalgebonden emissiefactoren met de kolommatrix van alle overeenkomstige materiaalhoeveelheden in het asfaltmengsel.

4.2.1.1 Module A1 (winning materialen)

In een eerste stap werd de berekening gemaakt van de bijdrage tot de klimaatverandering (als GWP-waarde) die wordt veroorzaakt door het ter beschikking krijgen van alle materialen die nodig zijn voor de productie van het asfaltmengsel. Dat omvat dus enkel de winning en elementaire bewerking van de grondstoffen van op hun winplaats tot aan de poort van de fabrikant, die de grondstof vervolgens commercieel aanbiedt op de markt. In de levenscyclusbenadering komt dit overeen met module A1.

Uitgaande van de massasamenstelling van de in deze vergelijking opgenomen asfaltmengsels, zijn de GWP-omrekeningsfactoren dus nodig voor de volgende materialen: grove aggregaten (steenslag), fijne aggregaten (gebroken zand en/of rond zand), aanvoervulstof, wegenbitumen, AG en het verjongingsmiddel.

Hierbij kunnen we opmerken dat hiervoor verschillende bronnen of databanken kunnen worden gebruikt, die soms in belangrijke mate van elkaar verschillen. We verwijzen naar **Bijlage 1** voor meer details over de gegevensbronnen en hun invloed op de (spreiding van de) emissiefactoren in de berekeningsmethode. Voor bitumen bijvoorbeeld geven de twee bronnen van enerzijds EuroBitume en anderzijds het Amerikaanse *Asphalt Institute* als resultaat een emissiefactor voor de klimaatopwarming (GWP) die een factor 3 van elkaar verschillen! Daartegenover is voor de materiaalfractie 'aggregaten' de variatie in de emissiefactoren eerder klein.

De verzameling van de verder in deze studie gebruikte eenheidsemissiefactoren voor de milieu-indicator GWP voor de grondstoffen wordt samengevat in tabel 4.2.

	Steenslag	Zand	Vulstof	AG	Bitumen	Verjongingsmiddel
Emissiefactor (GWP) (kg CO ₂ -eq/ton)	4,3	3,0	32	1,5	208	- 1220

Tabel 4.2 – Eenheidsemissiefactoren van de grondstoffen voor de parameter GWP (klimaatverandering)

► Duurzaamheidsevaluatie van asfaltmengsels

In deze tabel valt het zeer grote getal met negatieve waarde voor het onderdeel verjongingsmiddel op, namelijk minus 1 220 kg CO₂-eq per ton, zoals bleek uit de LCI-fiche van de leverancier (KRATON Corporation, 2018; University of Antwerp, Energy & Materials in Infrastructure & Buildings [EMIB] & Opzoekingscentrum voor de Wegenbouw [OCW], 2021). Het negatieve cijfer heeft te maken met de oorsprong van het verjongingsmiddel. Het is een olie van plantaardige herkomst (*bio-based*), die in een bioraffinaderij wordt geproduceerd vanuit CTO (*crude tall oil*) – een bijproduct uit een verwerkingsproces van pijnbomen voor de productie van cellulosevezels voor papier(pulp). Tijdens hun natuurlijke groei onttrekken de bomen CO₂ uit de atmosfeer (en daarom wordt dit ingerekend als een negatief getal) en slaan die koolstof op in de houtstructuur. Deze CO₂ wordt biogene CO₂ genoemd.

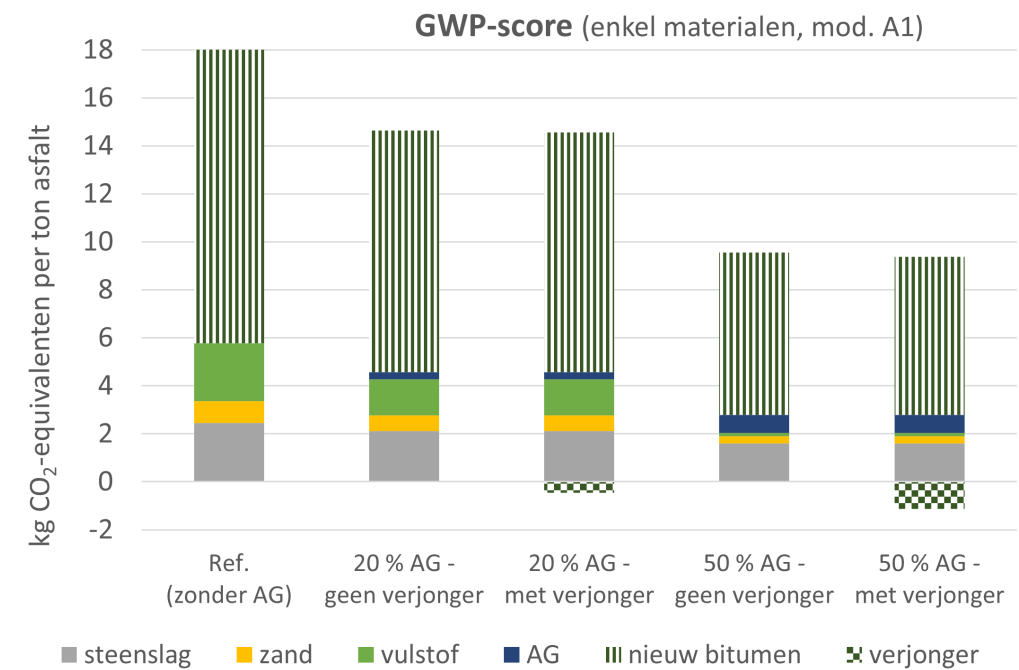
Uit deze gegevens blijkt duidelijk dat per massa-eenheid vooral het verjongingsmiddel (negatieve waarde) en het bitumen en in mindere mate de vulstof fors hogere emissiefactoren hebben in vergelijking met de aggregaten (zand en steenslag scoren vergelijkbare emissiefactoren).

Vervolgens werd voor elk van de te vergelijken asfaltmengselvarianten de GWP-waarde berekend door conform Formule 1 de vermenigvuldiging te maken van de rijmatrix voor de emissiefactoren met de kolommatrix van de mengselsamenstelling. Tabel 4.3 geeft de resultaten weer voor de vijf asfaltmengselsamenstellingen. In figuur 4.1 wordt dit grafisch geïllustreerd, opgesplitst per variant en per grondstofonderdeel.

GWP-score (enkel module A1) in kg CO ₂ -eq per ton asfalt	Referentie (geen AG)	20 % AG		50 % AG	
		Zonder verjongings- middel	Met verjongings- middel	Zonder verjongings- middel	Met verjongings- middel
Steenslag	2,45	2,11	2,11	1,60	1,60
Zand	0,88	0,65	0,65	0,29	0,29
Aanvoervulstof	2,41	1,51	1,51	0,15	0,15
AG	-	0,30	0,30	0,75	0,75
Nieuw bitumen B50/70	12,2	10,1	10,0	6,8	6,6
Verjongingsmiddel	-	-	- 0,45	-	-1,13
Totaal	18,0	14,6	14,1	9,6	8,2

Tabel 4.3 – Klimaatveranderingspotentieel of GWP-score (module A1) voor de vijf asfaltmengselvarianten en per grondstofonderdeel

Het referentiemengsel (zonder recycling) toont per ton asfalt een bijdrage tot het klimaatopwarmingspotentieel, van 18 kg CO₂-equivalent.



Figuur 4.1 – Klimaatveranderingspotentieel (enkel deel module A1) voor de vijf asfaltmengsels, opgesplitst per grondstofonderdeel

Verder blijkt uit deze resultaten de grote winst op het vlak van klimaatscore (voor het deel van module A1) die kan worden gehaald door recycling van AG (versterkt bij het gebruik van het *bio-based* verjongingsmiddel): het asfaltmengsel met 20 % AG heeft een 19 % (zonder verjongingsmiddel) tot 22 % (met verjongingsmiddel) betere (lagere) materiaalgebonden GWP-score dan het referentiemengsel. Het asfaltmengsel met 50 % AG vergroot die winst tot een score die 47 % (zonder verjongingsmiddel) tot 55 % (met verjongingsmiddel) lager ligt dan de referentie.

De grootste bijdrage tot deze verbetering wordt in de eerste plaats bekomen door een lager (vers) bitumenverbruik en in tweede instantie door een lager vulstofverbruik.

Het *bio-based* verjongingsmiddel verbetert evenredig de GWP-score door zijn individuele negatieve emissiefactor. Deze laatste observatie kan evenwel veranderen indien een ander type verjongingsmiddel zou worden gebruikt, bijvoorbeeld gebaseerd op aardolie. Dan zal er voor de grondstofwinning geen negatief getal zijn voor de parameter klimaatverandering, maar wel een positieve waarde (dus een slechtere score voor broeikasgasemissies). Dat is bijvoorbeeld het geval voor verjongingsmiddelen van het type aromatische extracten en naftenische oliën uit ruwe aardolie /petrochemie (De Bock et al., 2020).

Meestal zijn deze verjongingsmiddelen nieuwe producten die sterk beschermd zijn als bedrijfsinnovaties. Er zijn dus weinig details bekend wat betreft de precieze samenstelling en het milieuprofiel.

► Duurzaamheidsevaluatie van asfaltmengsels

De dataonzekerheid of -onbeschikbaarheid is in dit opzicht zeker een belemmering om de duurzaamheid ervan te kunnen inschatten. Zo konden we voor de verschillende verjongingsmiddelen die al op de markt zijn geen officieel gepubliceerde gegevens vinden over hun milieuprofiel, en al zeker niet in de vorm van een EPD-fiche. De onbeschikbaarheid van (milieu)gegevens leidt ertoe dat de berekeningen voor dit type verjongingsmiddelen niet konden worden gemaakt.

4.2.1.2 Module A2 (transport aanvoer van asfaltgrondstoffen)

Een tweede stap in de berekening van de bijdrage tot de klimaatverandering betreft de bijdrage veroorzaakt door het transport van de grondstoffen naar de asfaltmenginstallatie. Het gaat dan om wat wordt aangeduid met "informatiemodule A2" in de levenscyclus van het asfaltproduct.

Bij deze berekening kan vaak niet meer worden gesteund op beschikbare gegevens (bv. uit EPD's van individuele grondstoffen), maar dient er te worden gewerkt met generieke gegevens en bepaalde veronderstellingen / aannames omtrent hoe dit transport plaatsvindt en welke afstand moet worden overbrugd.

De details voor deze aannames zijn samengevat in tabel 4.4, evenals (op de laatste rij) de hieruit berekende emissiefactor voor de broeikasgasemissies per ton van de betreffende grondstof. De gemiddelde transportafstanden en keuze van het bijhorende transportmiddel per grondstof (1^e en 2^{de} rij in de tabel) zijn een eigen inschatting. Als gegevensbron voor de emissiefactoren van de verschillende transportmiddelen gebruiken we deze van de website www.co2emissiefactoren.be (cf. onderdeel pagina over goederentransport, gebaseerd op Klein et al., 2021). Indien meer specifieke data beschikbaar zouden zijn (bv. omdat de exacte transportafstanden en brandstofverbruik gekend zijn), dan kunnen die het best worden gebruikt.

Grondstof ►	Steenslag	Gebroken zand	Natuurzand	Vulstof	AG	Bitumen	Verjongingsmiddel	
Veronderstelde gemiddelde transportafstand (km)	75	75	250	150	50	100	1000	100
Transportmiddel	vrachtwagen (trekker-oplegger zwaar; 29 ton bulkclading)		binnenschip (Kempenaar, 1600 ton bulkclading)	vrachtwagen (trekker-oplegger zwaar; 29 ton bulkclading)		zeeschip (kustvaart, containerlading 20 ton)	vrachtwagen (trekker-oplegger zwaar; (20 ton container)	
Emissiefactor van het transportmiddel (kg CO ₂ -eq per ton.km)	0,088	0,088	0,042	0,088	0,088	0,088	0,032	0,121
Emissies per aanvoer per ton (kg CO ₂ .eq.)	6,6	6,6	10,5	13,2	4,4	8,8	32	12,1

Tabel 4.4 – Scenario's en emissiefactoren voor module A2 (transport van de grondstoffen naar de asfaltmenginstallatie) voor de verschillende grondstoffen

Op dezelfde manier als in module A1 (zie **Formule 1**) berekenen we de bijdrage vanuit het transport wat betreft de CO₂-emissies per asfaltmengsel. Dat doen we door vermenigvuldiging van de rijmatrix van de emissiefactoren (onderste rij van tabel 4.4) met de kolommatrix van de massasamenstelling van elk asfaltmengsel (kolommen in tabel 3.1). De resultaten worden per asfaltsamenstelling weergegeven in tabel 4.5, inclusief de opsplitsing per materiaalcomponent.

GWP-score (module A2) in kg CO ₂ -eq per ton asfalt	Referentie (geen AG)	20 % AG		50 % AG	
		Zonder verjongings- middel	Met verjongings- middel	Zonder verjongings- middel	Met verjongings- middel
Steenslag	3,7	3,2	3,2	2,4	2,4
Gebroken zand	1,6	1,2	1,2	0,56	0,56
Natuurzand	0,59	0,35	0,35	0,15	0,15
Aanvoervulstof	1,0	0,62	0,62	0,06	0,06
AG	-	0,87	0,87	2,2	2,2
Nieuw bitumen 50/70	0,52	0,43	0,42	0,29	0,29
Verjongingsmiddel	-	-	0,02	-	0,04
Totaal	7,4	6,7	6,7	5,7	5,7

Tabel 4.5 – Transportemissies (module A2) in kg CO₂-eq. per ton asfalt voor de verschillende bestanddelen van de vijf APT-C varianten

Het transport van de grondstoffen voor het referentie-asfaltmengsel, van hun winplaats naar de asfaltmenginstallatie, zorgt per ton asfalt voor een bijdrage aan het klimaatopwarmingspotentieel van 7,4 kg CO₂-equivalenten. De verschillen tussen de vijf asfaltmengsels zijn eerder als beperkt te beschouwen: een 10 % lagere transportemissie voor de twee mengsels met 20 % AG-recycling en een 23 % lagere transportemissie voor de mengsels met 50 % recycling, met een zeer minieme bijdrage door de toepassing van een verjongingsmiddel.

4.2.1.3 Module A3 (productie van asfalt)

Module A3 in de levenscyclus heeft betrekking op de activiteiten op de asfaltmenginstallatie zelf, namelijk de productie van asfaltmengsels vertrekkende van de minerale grondstoffen, bitumen en (mogelijk) additieven. In het bijzonder wordt in deze module A3 de GWP-score berekend (van de broeikasgasemissies) die rechtstreeks gepaard gaat met het energieverbruik van de machines en de diverse onderdelen van de installaties. Dat betreft vooral het aardgas- of stookolieverbruik voor de droogtrommel (drogen en verhitten van de stenen en het zand), de elektriciteit nodig bij de verwarming van bitumen en de elektrische motoren van de menginstallatie (zoals menger, transportbanden, ventilatoren en pompen, weegtoestellen, enz.) en de diesel voor de laadschopmotor.

► Duurzaamheidsevaluatie van asfaltmengsels

Zie **Bijlage 3** voor meer details van deze berekening, waaruit blijkt dat de processen voor de asfaltproductie op de asfaltmenginstallatie zelf per ton asfalt ongeveer 23 à 24 kg CO₂-uitstoot veroorzaken.

Het al of niet toepassen van recycling van AG beïnvloedt de energiebehoefte bij de productie van asfalt. Dit laatste steunt op een ongeveer 10 % hoger energie(gas)verbruik bij de hoge recyclinggraad van 50 % AG ten opzichte van geen toepassing van AG. Er wordt dan ook verder gerekend met een waarde van 23 kg CO₂-eq. voor een APT-C zonder recycling, en een waarde van 24 kg CO₂-eq. per ton asfalt voor een lage recyclingratio (20 % AG). Tot slot wordt een broeikasgasemissiewaarde van 25,3 kg CO₂-eq. per ton asfalt gehanteerd bij de productie van een asfaltmengsel met hoge recyclingratio (50 % AG).

4.2.1.4 Som van modules A1, A2 en A3

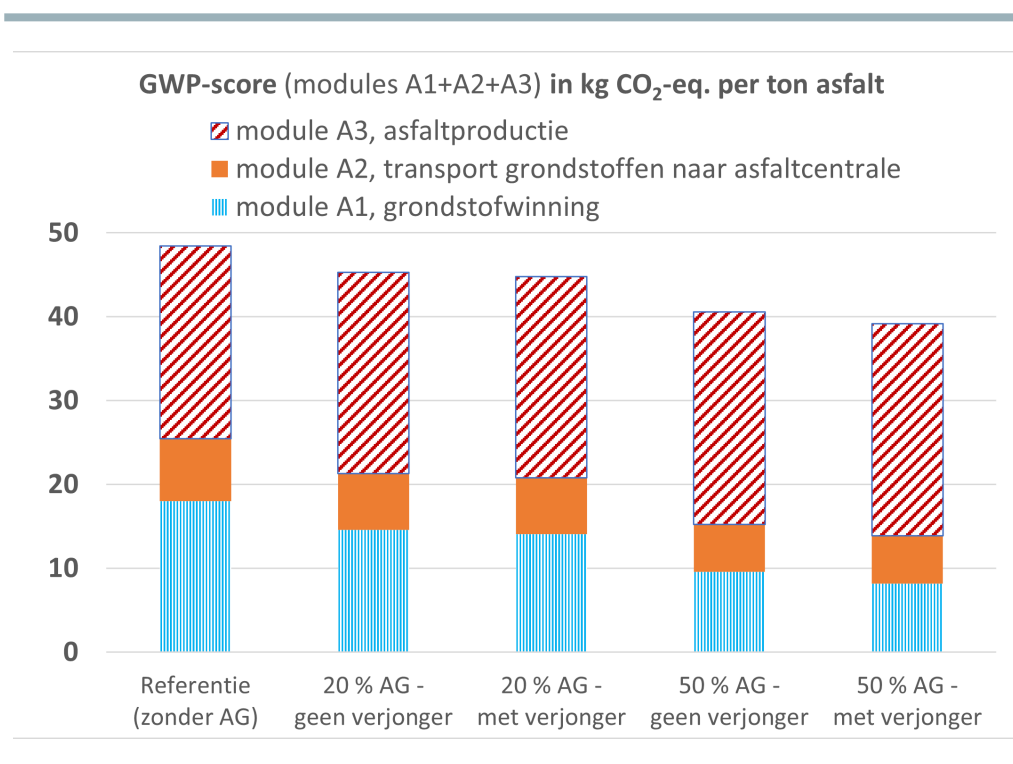
Het samenbrengen 'van wieg tot fabriekspoort' van de 3 modules A1 tot en met A3 (winning van de grondstoffen, transport naar de asfaltmenginstallatie en productie van het asfalt) geeft het resultaat zoals voorgesteld in figuur 4.2 en tabel 4.6.

Score GWP (kg CO ₂ -eq.) per ton asfalt	Referentie (zonder AG)	20 % AG – geen verjongingsmiddel	20 % AG – met verjongingsmiddel	50 % AG – geen verjongingsmiddel	50 % AG – met verjongingsmiddel
Vanuit grondstofwinning	18,0	14,6	14,1	9,6	8,2
Vanuit transport grondstoffen naar asfaltmenginstallatie	7,4	6,7	6,7	5,7	5,7
Vanuit asfaltproductie	23	24	24	25	25
Totaal (A1 + A2 + A3)	48	45	45	41	39
Relatief ten opzichte van het referentiemengsel zonder recycling	100 %	94 %	93 %	84 %	81 %

Tabel 4.6 – Scores voor bijdrage tot klimaatverandering (voor modules A1 tot en met A3) voor de vijf asfaltmengselvarianten

Voor het geheel van de eerste drie modules van de levenscyclus (A1, A2 en A3) levert het referentie-asfaltmengsel APT-C een potentiële bijdrage tot de klimaatopwarming van ongeveer 48 kg CO₂-equivalent per ton asfalt (zijnde de som van 18 + 7 + 23 kg voor de drie respectievelijke modules). Het recyclen van AG, met of zonder de toevoeging van een verjongingsmiddel, heeft een positieve invloed op de milieuprestatie wat betreft de GWP-score (maat voor klimaatverandering). Een stijgende recyclingratio van 20 % naar 50 % AG in het mineralengeheel resulteert in een verbetering met 6

tot 7 % respectievelijk 16 tot 18 %, waarbij de grootste winst telkens is voor APT-C mengsels waarvan ook een verjongingsmiddel werd toegevoegd. De reden hiervoor is dat de toevoeging van dit verjongingsmiddel slechts een verwaarloosbare bijdrage levert voor wat betreft het extra vervoer en energieverbruik, maar door zijn biogene koolstofvoetafdruk bij de grondstofwinning (met een negatieve GWP-waarde voor het bio-based product) wel meehelpt de koolstofintensiteit te verminderen.



Figuur 4.2 – GWP-scores voor bijdrage tot klimaatverandering (voor modules A1 tot en met A3) voor de vijf APT-C varianten

Voor de andere modules in de levenscyclus van de asfaltweg (modules B, C en D), die na de asfaltproductiefase komen (het transport naar de bouwplaats, aanleg van het asfaltmengsel op de weg, gebruik van de asfaltweg en ten slotte de scenario's voor de mogelijkheden in de eindelevensduurfase (opbraak en opnieuw recyclen als AG)), worden er geen belangrijke verschilpunten (in GWP-score) tussen enerzijds een APT-C mengsel zonder AG en anderzijds mét AG en/of verjongingsmiddel verwacht. Om die reden worden deze modules niet verder behandeld in deze analyse.

4.2.2 Uitputting van niet-hernieuwbare grondstoffen

Het verbruik van een deel van de eindige (niet-hernieuwbare) grondstoffen voorradig op onze planeet is een belangrijke beperking voor duurzame ontwikkeling, vermits ze de beschikbaarheid voor toekomstige generaties in het gedrang kan brengen. Deze impact wordt in de LCA-benadering ingeschat door de parameter ADP (*Abiotic resource Depletion Potential*).

► Duurzaamheidsevaluatie van asfaltmengsels

De ADP-parameter wordt verder opgesplitst in twee onderdelen, enerzijds in ADPm (verbruik van materialen / elementen, waarbij het metaal antimoon – chemisch symbool Sb – als referentie wordt gebruikt en andere materialen worden omgerekend naar een massa Sb-equivalenten), en anderzijds in ADPe dat het verbruik van energie uit fossiele energiebronnen (uitgedrukt in MJ) weergeeft.

Op analoge wijze als voor de GWP-waarde wordt het resultaat voor de ADPm- en ADPe-parameter berekend voor de vijf APT-C varianten (module A1).

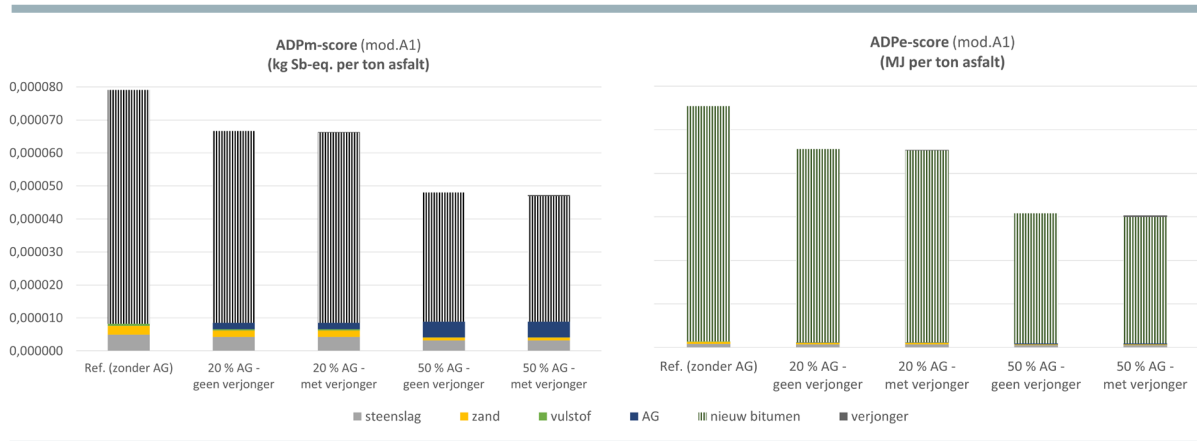
De resultaten zijn samengevat in tabel 4.7 en voorgesteld in figuur 4.3.

Score per ton asfalt (van-wieg-tot- fabriekspoort)	Referentie (geen AG)	20 % AG		50 % AG	
		Zonder verjongings- middel	Met verjongings- middel	Zonder verjongings- middel	Met verjongings- middel
ADPm (kg Sb-eq)	7,9 E-05	6,7 E-05	6,6 E-05	4,8 E-05	4,7 E-05
ADPe (MJ)	2 777	2 284	2 275	1 544	1 521

Tabel 4.7 – Resultaat van de berekeningen voor “uitputting abiotische grondstoffen” (materialen en fossiele energie) voor de verschillende bestanddelen van de vijf APT-C varianten

Voor de parameter ADPm (uitputting materialen) toont dit een resultaat dat 15 % respectievelijk 39 % beter is voor de asfaltmengsels met 20 % respectievelijk 50 % AG, in vergelijking met het referentie-asfaltmengsel zonder recycling. Het verjongingsmiddel heeft hierbij slechts een minimale invloed. Er wordt trouwens opgemerkt dat het telkens om kleine getalwaarden gaat. De grootste bijdrage (74 % respectievelijk 70 % en 60 %) komt hierbij van het nieuwe bitumen. Dat bevestigt het aanvoelen dat de minerale aggregaten absoluut geen kritische elementen zijn in het wereldwijde grondstoffenverbruik.

Voor de parameter ADPe (fossiele energie) is zo goed als de volledige bijdrage tot deze parameter afkomstig van het deel nieuw bitumen. Zodoende wordt een resultaat bereikt dat 18 % respectievelijk 44 % lager is voor de asfaltmengsels met 20 % respectievelijk 50 % AG en dit in vergelijking met het referentiemengsel (geen recycling noch verjongingsmiddel). Het gebruik van het verjongingsmiddel leidt tot een bijkomende erg kleine verlaging van 0,3 à 0,8 %.



Figuur 4.3 – Score voor uitputtingspotentieel abiotische grondstoffen (links voor de elementen = ADPm, rechts voor de fossiele energie = ADPe) voor de vijf APT-C varianten inclusief de bijdrage per asfaltcomponent

4.2.3 Luchtverontreiniging

Belangrijke indicatoren voor het probleem van luchtverontreiniging zijn met name de aantasting van de troposferische ozonlaag (*Ozon Depleting Potential of ODP*), vorming van fotochemische smog in de lagere luchtlagen (*Photochemical Ozon formation Potential of POP*) en de emissie van verzurende gassen, vooral zwaveldioxide (*Atmospheric Acidification Potential of AP*). Naast deze impacts op de verschillende delen van de atmosfeer zelf, speelt ook de milieu-indicator ‘vermesting’ of eutroficatie (*Eutrofication Potential of EP*) van bodem en aquatische systemen, door de emissie naar de lucht van stikstof(oxiden) en fosfor (fosfaat), een belangrijke rol.

Ook hier moeten we wijzen op de grote variatie in de emissiefactoren tussen de grondstoffen onderling, met duidelijk grotere emissiefactoren behorend bij het deel bitumen (en verjongingsmiddel) in vergelijking met de minerale aggregaten. Voor bitumen zijn de twee gegevensbronnen (de inventarisatiestudies van EuroBitume (Ducreux et al., 2020) en Asphalt Institute (Wildnauer et al., 2019), zie ook [Bijlage 1](#)) echter ook tegenstrijdig wat betreft de grootte van de emissiefactor of gebruiken ze andere eenheden. Bijvoorbeeld voor de parameter ‘ozonlaagaantasting’ is de emissiefactor van 1 ton bitumen volgens Ducreux et al., 2020 $1,75 \times 10^{-5}$ kg CFC-11-equivalent, terwijl Wildnauer et al., 2019 omgerekend een emissiefactor geeft van $2,55 \times 10^{-8}$ kg CFC-11-equivalent per ton bitumen, wat opmerkelijk lager is. Voor ‘verzuring’ alsook voor ‘smogvorming’ gebruiken we de gegevens van Wildnauer et al., 2019, vermits Ducreux et al., 2020 andere eenheden gebruikt en voor ‘vermesting’ geen waarde vermeldt. Dit laatste wordt in de update van de LCI-studie van Eurobitume eind oktober 2022 verbeterd (European Bitumen Association [Eurobitume], 2022).

Gezien de dominante rol van bitumen (en verjongingsmiddel) in deze berekeningen van de impact, kunnen voor het onderdeel ‘luchtverontreiniging’ gelijkaardige conclusies worden getrokken als voor ‘uitputting niet-hernieuwbare grondstoffen’, namelijk dat recycling van AG een positieve invloed heeft op de milieuprestatie en dat de toevoeging van een verjongingsmiddel deze milieuwinst slechts ten dele tenietdoet.

► Duurzaamheidsevaluatie van asfaltmengsels

Tabel 4.8 vat de resultaten samen voor de impactcategorie 'luchtverontreiniging' voor de vijf APT-C mengsels. Voor elk van deze parameters kan (zoals in de vroegere figuren is gebeurd) het resultaat ook worden voorgesteld in een figuur met opsplitsing van de bijdrage per grondstofonderdeel. Figuur 4.4 toont een voorbeeld voor de parameter 'verzuringspotentieel (AP)'.

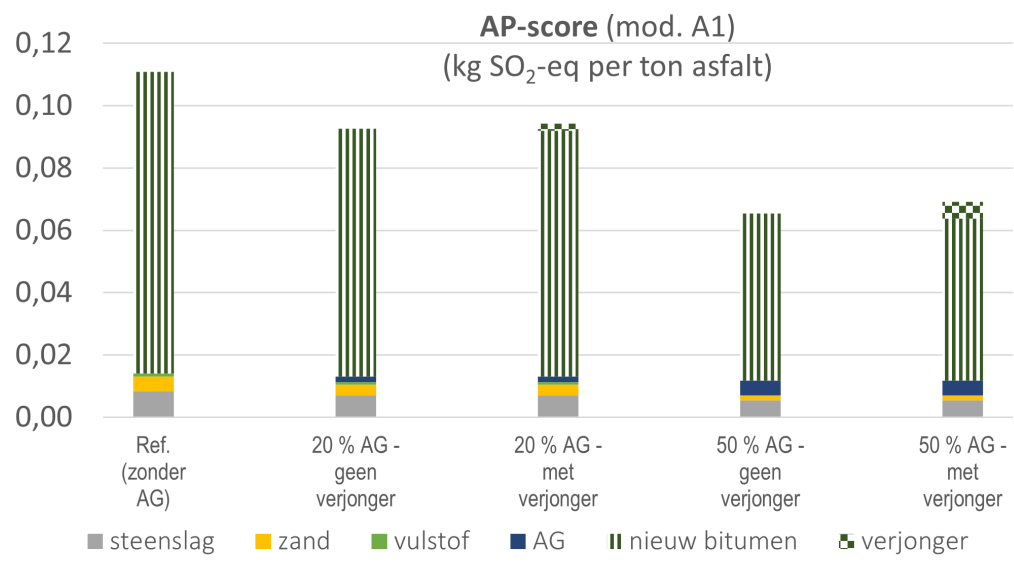
Score per ton asfalt (van-wieg-tot-fabriekspoort)	Referentie (geen AG)	20 % AG		50 % AG	
		Zonder verjongings- middel	Met verjongings- middel	Zonder verjongings- middel	Met verjongings- middel
AP (kg SO ₂ -eq) (Wildnauer et al., 2019)	0,111	0,093	0,094	0,065	0,069
EP (kg PO ₄ ³⁻ -eq) (Wildnauer et al., 2019)	0,038	0,031	0,031	0,022	0,022
POP (kg etheen-eq) (Wildnauer et al., 2019)	0,026	0,021	0,022	0,014	0,016
ODP (kg CFC11-eq) (Wildnauer et al., 2019)	6,7 E-07	5,9 E-07	5,9 E-07	4,7 E-07	4,7 E-07
ODP (kg CFC11-eq) (Ducreux et al., 2020)	1,7 E-06	1,4 E-06	1,4 E-06	1,0 E-06	1,0 E-06

Tabel 4.8 – Resultaat van de berekeningen voor luchtverontreiniging voor de APT-C varianten (per ton asfalt)

4.2.4 Uitloging naar bodem- en grondwater

Deze indicator komt in het gebruikelijke kader van de indicatoren binnen LCA-studies gewoonlijk niet aan bod. In de EDGAR-methodiek werd deze indicator toegevoegd aangezien wegconstructies zijn ingebouwd in een omliggend milieu van bodem en het grondwater erin, zodat er een mogelijk risico kan optreden met betrekking tot de uitloging van componenten (verontreiniging).

De APT-C varianten mét recycling van AG en zonder verjongingsmiddel bevatten geen andere grondstoffen dan het referentiemengsel zonder AG, behalve voor de fractie AG. Die laatste fractie omvat reeds gebruikte grondstoffen (na toepassing tijdens de eerste levenscyclus), waarvan eventuele gevolgen wat betreft uitloging reeds lange tijd zijn afgelopen. Er worden dan ook geen veranderingen met negatieve gevolgen voor het uitlooggedrag verwacht. Het is immers algemeen aanvaard dat het hydrofobe karakter van bitumen leidt tot zeer lage emissies (via uitloging door contact met water). Voor de varianten mét verjongingsmiddel kan dat eventueel worden beïnvloed door eigenschappen van het verjongingsmiddel zelf. Op dit ogenblik is hierover echter geen informatie/data beschikbaar.



Figuur 4.4 – Score voor verzuringspotentieel (AP) voor de vijf APT-C varianten met bijdrage per grondstof

4.2.5 Lawaaihinder

De variante mengselsamenstellingen mét recycling van AG en met of zonder verjongingsmiddel, worden aangewend voor de productie van eenzelfde type asfaltmengsel, namelijk APT-C (met dezelfde kalibers en korrelgrootteverdeling). In de veronderstelling dat zowel het oud en nieuw bitumen als het verjongingsmiddel in een homogene fase voorkomen, wordt er ook geen verschil in de dikte van de bindmiddelomhulling rondom de aggregaten verwacht. Bijgevolg wordt er geen significante invloed op de geluidsprestatie van de variante APT-C mengsels vooropgesteld.

Een eventuele invloed op de geluidsprestatie tussen de APT-C varianten zou mogelijks nog kunnen optreden door veranderingen in het gedrag op langere termijn of optredende schadebeelden: onthulling van de aggregaten, rafeling of wijzigingen in de karakteristieken aan het wegdekoppervlak. Hierbij speelt mogelijks ook het percentage aan holle ruimten een rol. We verwijzen hierbij naar recente resultaten van een gevoeligheidsstudie uitgevoerd in het kader van de activiteiten van de OCW-werkgroep *Steering Committee Reclaimed Asphalt* waarbij erg gelijklopende resultaten voor alle APT-C varianten werden bepaald.

4.2.6 Stroefheid

Voor stroefheid kunnen gelijkaardige bemerkingen worden gemaakt als § 4.2.5 met betrekking tot geluid en dit voor wat betreft de mengselsamenstelling en de oppervlaktekenmerken (korrelgrootte, bitumenfilm, enz.) van de APT-C varianten. Voor andere parameters die een rol kunnen spelen bij de stroefheid zoals de (gelijkmatigheid in de) afwerkingskwaliteit van de oppervlaktelaag is op dit moment weinig informatie ter beschikking (valt buiten de scope van dit onderzoeksproject).

► Duurzaamheidsevaluatie van asfaltmengsels

4.2.7 Recycleerbaarheid (*circular economy potential*)

In het EDGAR-project (De Visscher et al., 2016) werd een flowchart opgesteld als tool om het potentieel voor recycleerbaarheid in te schatten met een *recyclability score*. Wetende dat asfalt meermaals kan en zal worden gerecycled, is recycleerbaarheid – het herbruikbaar zijn van de *End of Life* (EOL) materialen na het einde van de levensduur – cruciaal voor innovatieve, groene technieken en in de beoordeling van de *sustainability*.

Met de opgedane ervaring en kennis lijkt het hergebruik van asfaltmengsels met verjongingsmiddelen geen enkel bijkomend probleem te geven ten opzichte van klassieke asfaltmengsels. Dat geldt zowel op het vlak van het wettelijk kader, als voor risico's op vlak van affrezen, zeven of stockeren, als bij terug opwarmen in droogtrommel. Er dient evenwel te worden opgemerkt dat er op dit ogenblik weinig ervaring/knowhow in de praktijk voorhanden is over de recycleerbaarheid van asfaltmengsels waarbij reeds verjongingsmiddelen werden toegepast.

In dit kader kan worden aangegeven dat een reeks aspecten nog onduidelijk zijn (en bijgevolg resulteren in onzekerheden en/of risico's met betrekking tot recycleerbaarheid) zoals:

- Draagt al het toegevoegd verjongingsmiddel actief bij aan het weker maken/houden van het gerecyclede bindmiddel, of treden er mogelijk (chemische) veranderingen op die een negatieve impact kunnen hebben op de (efficiënte) werking van het desbetreffende verjongingsmiddel?
- Is er eventueel een invloed van het verjongingsmiddel op de weerstand tegen veroudering van het asfalt?
- Moet bij de dosering van het verjongingsmiddel voor een nieuwe cyclus rekening worden gehouden met het al in de vorige cyclus toegevoegde verjongingsmiddel?

Er is geen reden om aan te nemen dat het EOL-product niet ten volle recycleerbaar is, maar tevens zijn de condities om die recycleerbaarheid meermaals te garanderen vandaag nog niet volledig in kaart gebracht.

4.2.8 Verantwoord aankoopbeleid

Een verantwoord aankoopbeleid (*responsible sourcing*) geeft aandacht aan duurzaamheidsaspecten in de aanvoerketen van de aangekochte goederen (en diensten), in dit geval dus ook aan de oorsprong van de verjongingsmiddelen. Traceerbaarheid, het aanwezig zijn van een globale *policy*, een beheersysteem inzake de kwaliteit, een energie- en afvalbeheersysteem, tewerkstelling en opleiding vallen hier ook onder (ISO, 2017).

Specifiek voor het *bio-based* verjongingsmiddel zoals toegepast in dit project, dient in dit kader de *policy* die het bedrijf van de leverancier onderschrijft het benodigde landgebruik van de bomen, die aan de basis voor het *bio-based* verjongingsmiddel liggen, in kaart te brengen en af te wegen tegenover het gebruik van deze gronden voor alternatieve doeleinden (bv. landbouw voor voedingsbehoefte). Binnen dit project is er echter geen informatie beschikbaar om deze aspecten objectief te beoordelen.

4.2.9 Kostprijs

De materialen/grondstoffen zijn een dominante factor in de totaalkost van de productie van een asfaltmengsel. Met name het bitumenaandeel is belangrijk. Er wordt aangenomen dat bitumen bepalend is voor minstens 40 % tot 50 % van de totale kostprijs van een asfaltmengsel. Het gedeeltelijk vervangen van primaire materialen door het aanwenden van AG verlaagt de kostprijs van het asfaltmengsel bijgevolg in belangrijke mate. Voor een asfaltmengsel met een hoge recyclinggraad van 50 % AG betekent dat een besparing van ± 35 % (Leyssens et al., 2013).

Het permanent kunnen beschikken over voldoende en homogeen AG, waarbij ook de mogelijke schommelingen van dit AG worden beheerst, is bijgevolg een grote troef voor iedere asfaltproducent. De kostprijs van het verjongingsmiddel heeft hier een negatieve invloed, maar is gezien de lage gebruikelijke dosering, relatief beperkt. Er kan bovendien worden verwacht dat de kostprijs van een verjongingsmiddel in de toekomst zal afnemen als de 'markt' groeit.

Het is echter duidelijk dat een verdere toename aan hergebruik van AG in de toekomst, zoals in asfaltmengsels voor toplagen, vanuit financieel en dus economisch standpunt bijzonder aantrekkelijk is. In deze context biedt de toepassing van verjongingsmiddelen perspectieven.

4.2.10 Verkeersopstopping

Een eventuele impact van een bepaalde techniek of alternatief materiaal voor de score op deze indicator kan er zijn ten gevolge van een gewijzigde constructietermijn of een omleidingsweg via een route met kleinere verkeerscapaciteit. In het geval van het gebruik van AG, al dan niet in combinatie met verjongingsmiddelen, zijn deze gewijzigde omstandigheden niet het geval. Vandaar dat er voor deze indicator geen invloed is op de beoordeling van de duurzaamheid van het gebruik van verjongingsmiddelen in asfaltwegen.

4.2.11 Technische kwaliteit

Naast de duurzaamheid vanuit sociaal- en milieuoogpunt (in het Engels genoemd *sustainability*) speelt ook de technische duurzaamheid (*durability*) een belangrijke rol in het hele duurzaamheidsverhaal. Een product of systeem dat zijn voorziene of langere (technische) levensduur kan bereiken en niet voortijdig hoeft te worden vervangen is de eerste voorwaarde om een hoge duurzaamheid te bekomen. Daarom moet een duurzaam element vooral ook een goede technische kwaliteit bezitten. De prestatie-eisen voor de verschillende asfaltmengsels (met of zonder recycling van AG en/of verjongingsmiddel) zijn uiteraard identiek, gezien het steeds APT-C mengsels betreft (zelfde applicatiedomein).

Op basis van de resultaten van uitgevoerde voorstudies (ITT) zowel in het Re-RACE project als in het complementaire project RejuveBIT, blijkt dat deze prestatie-eisen ook worden gehaald door asfaltmengsels met recycling al dan niet in combinatie met diverse verjongingsmiddelen (Piérard et al., 2020; Tanghe et al., 2020; University of Antwerp, EMIB & OCW, 2021; Vansteenkiste, 2021; Vansteenkiste et al., 2021). De ITT-proeven omvatten de bepaling van de verdichtbaarheid aan de hand van gyratorproeven (% holle ruimten), de bepaling van de watergevoeligheid (ITSR-waarde uitgedrukt in %), de spoorvormingsweerstand (LPD uitgedrukt in %, na 30 000 cycli). Bijkomend aan de proeven voorzien tijdens de ITT-studie werd eveneens de weerstand tegen rafeling bepaald.

► Duurzaamheidsevaluatie van asfaltmengsels

Er kan dan ook worden gesteld dat deze observaties uit zowel de laboratoriumstudie als de praktijk geen indicatie geven over een veranderde (in negatieve of positieve zin) prestatie van asfaltmengsels type APT-C voor toplagen met AG, al dan niet in combinatie met een verjongingsmiddel. Bijgevolg kan er op dit ogenblik een gelijkaardige levensduur worden vooropgesteld.

4.3 Overzicht van de resultaten van de duurzaamheidsanalyse volgens de EDGAR-methode

In tabel 4.9 wordt een samenvatting gegeven van de analyse voor asfalttoplagen van het type APT-C met een (hoog) percentage aan AG (20 of 50 %), al dan niet in combinatie met een bio-based verjongingsmiddel.

Voor enkele indicatoren scoren de varianten mét of zonder recycling en/of verjongingsmiddel gelijk en is er geen verschil, maar voor enkele andere belangrijke indicatoren zoals klimaatveranderingspotentieel, uitputting grondstoffen, luchtverontreiniging en financiële kostprijs is er een duidelijk verschil in het voordeel van de asfaltmengsels met recycling van AG. Het beschouwde verjongingsmiddel vergroot in dit geval het voordeel nog in erg lichte mate.

In het algemeen is het duidelijk dat ook technische duurzaamheidsaspecten (durability), zoals behoud of verlenging van de technische levensduur en aantoonbare verhoogde prestaties, bepalend zouden kunnen zijn in een finale duurzaamheidsbeoordeling van de bestudeerde APT-C varianten. Op dit ogenblik is dergelijke data evenwel nog niet voor handen.

Indicator	APT-C met 20 % / 50 % AG t.o.v. referentiemengsel (geen AG)	Bijkomende invloed van het (<i>bio-based</i>) verjongingsmiddel
Klimaatverandering	Verbetering met 6 % / 16 %	Extra verbetering met 1 tot 3 % (biogene karakter)
Uitputting abiotische grondstoffen - materialen - fossiele energiedragers	Verbetering met 15 % / 39 % Verbetering met 18 % / 45 %	Extra verbetering met 1 tot 2 %
Luchtverontreiniging	Verbetering met 15 % / 40 %	Negatieve impact van 3 tot 7 % (voor verzuring)
Uitloging	Geen informatie beschikbaar	Geen verschil
Lawaaihinder	Geen verschil verondersteld	
Recycleerbaarheid	Geen verschil verondersteld	
Stroefheid	Geen verschil verondersteld	
Verantwoord aankoopbeleid	Geen verschil	
Verkeersopstopping	Geen verschil	
Prestaties, technische duurzaamheid	Geen verschil	
Kostprijs	Verbetering met 15 % / 35 %	Minimaal (maar minder goed door kostprijs verjongingsmiddel)

Tabel 4.9 – Overzicht van de duurzaamheidsevaluatie voor de diverse indicatoren

► Duurzaamheidsevaluatie van asfaltmengsels

► 5 Vergelijking tussen de methodes EDGAR en MKI op het vlak van duurzaamheidsbeoordeling

5.1 Situering MKI-methode

MKI is de afkorting van MilieuKostenIndicator. Het is een indicator van de kosten die gerelateerd zijn aan de **milieuschade** die samenhangt met een bepaald product of systeem. Het is bovenal een manier om verschillende milieu-indicatoren samen te brengen in een enkele indicator.

Impacts op het milieu, zoals de klimaatverandering door de emissie van broeikasgassen of de verzuring van bodem of waterpartijen door de emissie van zwaveloxiden, hebben immers een kostprijs (Drissen & Vollebergh, 2018; Van Harmelen et al., 2004).

Deze kostprijs is niet direct in de economische marktprijs ingerekend, het is een zogenaamde externaliteit, een schaduwkost. De schaduwkost of -prijs is de kostprijs van de milieuschade die wordt veroorzaakt door het product in kwestie. Dat is een extra kost die niet inbegrepen zit in de marktprijs van het product, maar afgewenteld wordt op de maatschappij (figuur 5.1).



Figuur 5.1 – De milieukosten als aanvulling (externaliteit, schaduwkost) op de marktprijs (Wat zijn schaduwkosten?, 2021)

De schaduwkost kan worden gezien als de economische kost die nodig zou zijn om deze schade aan het milieu te vermijden of te depollueren: de schaduwprijs is het voor de overheid hoogst toelaatbare kostenniveau per eenheid emissiebestrijding. Hoe lager de MKI-waarde, hoe minder schadelijke milieueffecten ermee verbonden zijn.

Met de MKI-methode wordt een monetarisatie toegepast op de milieu-impacts: de milieueffecten worden omgezet van een wetenschappelijke eenheid (verschillend voor de onderscheiden milieueffecten) naar een vergelijkbare eenheid, namelijk een monetaire waarde. Het is een manier om in een enkele score de impact van verschillende potentiële milieu-impacts te becijferen, om zo gemakkelijk varianten met elkaar te kunnen vergelijken. Ze steunt op het resultaat van een volledige

levenscyclusanalyse (LCA) met elf verschillende indicatoren (conform de Europese norm EN 15804 [NBN, 2012+2019/2021]). Ze realiseert een afweging van deze verschillende indicatoren door aan elke indicator een monetaire wegingsfactor te koppelen en deze te sommeren tot een enkele indicator met een enkelvoudige score, uitgedrukt in een geldwaarde (euro's).

Een eenvoudig voorbeeld om dit te illustreren: stel varianten A en B worden met elkaar vergeleken voor twee parameters, namelijk 'klimaatverandering' en 'verzuring'. Variant B scoort dubbel zo goed voor klimaat, maar slechts half zo goed voor verzuring. Welke van de twee varianten is dan de beste (want meest duurzame) oplossing?

Dat hangt af van de wegingsfactoren waarmee een totaalscore wordt berekend.

Stel dat enerzijds voor klimaatverandering een eenheidsprijs van 0,05 euro per kg CO₂-equivalent wordt gebruikt en anderzijds voor verzuring een eenheidsprijs van 4 euro per kg SO₂-equivalent, dan zou in dit vereenvoudigde rekenvoorbeeld variant A met een individuele score (per m² wegoppervlakte) van bijvoorbeeld 500 kg CO₂-eq. voor klimaat en 10 kg SO₂-equivalent voor verzuring, een totale MKI-score hebben van (500 x 0,05 + 10 x 4 =) 65 euro, terwijl variant B met een individuele score (per m² wegoppervlakte) van bijvoorbeeld 250 kg CO₂-equivalent voor klimaat en 20 kg SO₂-equivalent voor verzuring een MKI-score verkrijgt van (250 x 0,05 + 20 x 4 =) 93 euro. Variant A is dan te verkiezen, want de milieukostenindicator ervoor is het laagst.

In een minder vereenvoudigde voorstelling kan deze manier van rekenen worden uitgebreid tot alle milieu-indicatoren.

De grootte van deze kostprijs wat betreft milieuschade kan uiteraard onderwerp zijn van discussie, en voortschrijdend inzicht kan deze weegfactoren laten evolueren. Figuur 5.2 geeft deze weegfactoren als onderdeel van de huidige MKI-methode weer; deze zijn gebaseerd op het rapport getiteld "Toxiciteit heeft zijn prijs" (Van Harmelen et al., 2004).

Milieu-impactcategorie	Indicator	Eenheid
Uitputting van abiotische grondstoffen, ex fossiele energiedragers	ADP-elementen	kg antimoon
Uitputting van fossiele energiedragers	ADP-brandstof ⁷	kg antimoon
Klimaatverandering	GWP-100j	kg CO ₂
Ozonlaagaantasting	ODP	kg CFC 11
Fotochemische oxidantvorming	POCP	kg etheen
Verzuring	EP	kg SO ₂
Vermesting	AP	kg (PO ₄) ³⁻
Humaan-toxicologische effecten	HTP	kg 1,4 dichloorbenzeen
Ecotoxicologische effecten, aquatisch (zoetwater)	FAETP	kg 1,4 dichloorbenzeen
Ecotoxicologische effecten, aquatisch (zeewater)	MAETP	kg 1,4 dichloorbenzeen
Ecotoxicologische effecten, terrestrisch	TETP	kg 1,4 dichloorbenzeen

Figuur 5.2 – Weegfactoren (voor de elf milieu-impactcategorieën) ter bepaling van de MKI (Stichting nationale Milieudatabase, 2020, p. 39)

► Duurzaamheidsevaluatie van asfaltmengsels

5.2 Berekening van de MKI-waarde

De MKI-waarde wordt berekend uitgaande van de LCA-resultaten door voor elke milieu-impactcategorie de waarde (in equivalente eenheden) te vermenigvuldigen met de monetaire wegingsfactor, en vervolgens te sommeren over alle impacts.

Om de berekeningsmethode eenvoudig voor te stellen hebben we in **Bijlage 4** een eenvoudig voorbeeld uitgewerkt.

5.3 Praktijk in de Nederlandse asfaltsector

Om een volledige berekening van de milieu-impacts te kunnen doen, is gespecialiseerde software nodig zoals die in (commercieel ontwikkelde) LCA-pakketten beschikbaar is op de markt. Bijvoorbeeld GaBi, SimaPro of OpenLCA. Omdat deze LCA-pakketten generiek werken (voor alle soorten producten en materialen, niet specifiek voor asfalt) moeten deze worden gecombineerd met de nationale PCR-regels (voor Nederlands asfalt kwam er een update 2 begin januari 2022). Dat geldt ook voor het pakket dat het private bedrijf EcoChain Technologies (<https://www.ecochain.com/nl/>) heeft gemaakt voor de Nederlandse asfaltsector, op vraag van de sector zelf. Dit is het EIA-model (*Environmental Impact Assessment*) van EcoChain, waarin een virtuele Nederlandse asfaltmenginstallatie is gesimuleerd. Door de concrete zaken van het specifieke project in te vullen in deze spreadsheet, kan het worden uitgerekend.

Zowat alle Nederlandse asfaltmenginstallaties hebben een licentie aangekocht om dit model van EcoChain te kunnen gebruiken. Omdat de asfaltsector de ontwikkelingskosten van dit model heeft gesponsord, is de licentiekost redelijk beperkt (maximaal enkele duizenden euro's).

Alle asfaltaannemers in Nederland maken bij aanpassingen aan de samenstelling van hun asfaltmengsel telkens een nieuwe berekening van de MKI op basis van de software voor LCA-berekening van EcoChain. Hiervoor hebben ze geen gespecialiseerde LCA-kennis nodig, wel een opleiding in het gebruik van de EcoChain-tool.

Voor de toekomstige veranderingen in de MKI-methode, onder andere de overgang van elf naar negentien indicatoren (conform EN 15804 + A2 [NBN, 2012+2019/2021]) die worden gemeten in een Nederlandse LCA, en de bijbehorende wegingsfactoren (hoeveel euro's milieukosten worden verbonden aan die nieuwe (en eventueel geüpdatete oude) indicatoren per eenheid?), is het voorlopig nog wachten op de definitieve publicatie (door het onderzoeksinstituut CE Delft). De parameter 'klimaatverandering' blijft daarin dominant, maar bijvoorbeeld 'watergebruik' zou een groter gewicht krijgen.

5.4 Uitbreidbaar naar België?

Het is opvallend dat Nederland met deze methodiek een voorloper is in Europa, en hierbij een LCA van asfaltvarianten op uniforme wijze door de verschillende aannemers kan laten gebruiken, zodanig dat ze voor al hun mengsels telkens opnieuw een aangepaste berekening maken, enz. Dat zou te danken zijn aan de consensus onder de aannemers, die hun sectororganisatie (Technische Commissie bij VBW Asfalt) heeft laten samenwerken met TNO om samen de PCR-regels op te stellen en ingang te laten vinden, iets wat in andere Europese landen niet is gelukt. De Nederlandse aannemers

voelden juist aan dat hun belangrijkste bouwheer, Rijkswaterstaat, daar sterk op zou gaan inzetten: in de komende jaren zou elk project worden aanbesteed met inrekening van de MilieuKostenIndicator in de gunningsvereisten (zoals ook de CO₂-prestatieladder een courant instrument wordt).

Gezien de berekeningshulp van de Nederlandse firma EcoChain specifiek gemaakt is voor de Nederlandse asfaltsector – ontwikkeld op vraag van en met financiële steun van hun asfaltsectorfederatie en voor alle leden beschikbaar via een licentiemodel – en als instrument ook langs de vraagzijde wordt gestimuleerd door de grootste opdrachtgevers van asfaltwegenbouwwerken (Rijkswaterstaat plus de lokale overheden) in Nederland, lijkt deze aanpak een goede start te zullen nemen in de komende jaren.

De situatie in ons land is anders. Wij hebben bijvoorbeeld geen nationale PCR voor asfaltmengsels in België, en ook de registratie en certificering verlopen heel anders dan in Nederland. In ons land lijkt de aandacht eerder te gaan in de richting van de zogenaamde infra-TOTEM methode. Voor de TOTEM-software hebben de drie gewestelijke overheden de handen in elkaar geslagen om te komen tot een gemeenschappelijke, op gebouwen gefocuste, berekeningsmethode voor de milieu-impacts van bouwproducten en constructies (<http://www.totem-building.be/>). Voor de wegenbouwsector lijkt Vlaanderen (via AWW) te willen kiezen voor een aanpassing van de TOTEM-tool om deze ook toepasbaar te maken voor het milieuvriendelijker/ duurzamer ontwerpen van wegenbouwconstructies (De Winne, 2022).

5.5 Duurzaam aanbesteden met de MKI

De MKI-methode heeft een interessant voordeel, namelijk zijn ogenschijnlijk eenvoudig resultaat. Door de monetarisatie slaagt de methode erin om de grote variatie aan individuele scores voor elf abstracte milieu-impacts op een eenvoudige manier samen te brengen tot een enkelvoudige score, namelijk de milieukundige euro's voor de schaduwkostprijs. Verschillende oplossingen kunnen op basis van hun MKI-score gemakkelijk worden vergeleken, wat niet het geval is met een (in meervoudige eenheden uitgedrukte) LCA-tabel.

Door de schaduwkosten zichtbaar te maken in de milieukostenindicator kan de MKI helpen bij het duurzaam aanbesteden (GPP). Door de MKI als schaduwprijs inclusief mee in rekening te brengen (bv. door ze op te tellen bij de marktprijs van het goed) worden die externe factoren mee geïntegreerd in de echte totaalprijs (economische kost + maatschappelijke milieukost). Op die wijze kan een duurzamere oplossing (want met een lagere MKI) ondanks een hogere economische kostprijs uiteindelijk toch als voordeligste oplossing worden aanvaard en zo aan de milieuvriendelijkste aanbieder worden gegund. Voor meer info en een eenvoudig voorbeeld zie **Bijlage 4**.

Door de MKI kan de aanbestedende overheid de aannemer aanzetten en belonen (monetair compenseren) voor de extra inspanning (en extra kosten) om een duurzamere oplossing aan te bieden in zijn offerte. Deze compensatie kan één-op-één gebeuren (per euro winst op de MKI een euro gunningsvoordeel) of met een hefboom worden versterkt (meer dan 1 euro gunningsvoordeel per euro lagere MKI) om zo nog meer in te zetten op duurzaamheid.

► Duurzaamheidsevaluatie van asfaltmengsels

5.6 Vergelijking met de EDGAR-methode

Een volledige doorrekening van de in deze publicatie als casestudie gebruikte asfaltmengsels van het type APT-C voor de toplaag van asfaltverhardingen, en dit volgens de hogervermelde Nederlandse methode van de MKI, is in de praktijk niet mogelijk, omdat wij niet beschikken over het specifieke Nederlandse softwarepakket. Anderzijds is een dergelijke berekening ook weinig relevant voor de Belgische situatie, die niet vergelijkbaar is met de situatie in Nederland.

Een interessant punt dat naar voren komt uit de voorbeeldberekening van MKI van de Nederlandse typemengsels voor toplagen is het relatieve belang (als onderdeel van de totale MKI) van de verschillende milieu-impactcategorieën (Schwarz et al., 2020). In aflopende mate van belangrijkheid zijn dat: het potentieel tot klimaatverandering, verzuring, humaantoxicologische effecten, en de andere acht impacts (figuur A4.2 in **Bijlage 4**). De eerste drie categorieën van impacts bepalen ongeveer 80 % van de totale milieukosten, en verdienen dus de meeste aandacht bij reductiestrategieën.

Elementen zoals 'uitputting abiotische grondstoffen (elementen)', 'aantasting van de ozonlaag' of 'ecotoxicologische effecten (terrestrisch; aquatisch (zoetwater))' zijn van minimaal belang in de totale MKI-score voor dit type van asfaltmengsel.

Voor de EDGAR-aanpak zou dat kunnen betekenen dat de mee te nemen milieu-impacts inderdaad niet de volledige negentien (of zelfs elf) impactcategorieën hoeven te zijn, maar beperkt zouden worden tot enkele, zoals nu al het geval is. Daarbij zou het mogelijk relevanter zijn om de indicator 'uitputting abiotische grondstoffen' te vervangen door 'humaantoxicologische effecten', en de impactcategorie 'luchtvervuiling' te beperken tot enkel het potentieel tot 'verzuring', indien de resultaten uit het Nederlandse voorbeeld ook geldig zouden zijn voor andere situaties.

We merken verder op dat de MKI-methode (zoals ook het geval is voor de LCA-methode waarop ze steunt) enkel parameters van de pijler 'milieu' behandelt, en geen elementen bevat van de pijler 'sociaal', noch van de pijler 'economie'. De EDGAR-methodiek daarentegen wil bewust wel bepaalde elementen van de drie pijlers in het concept van duurzame ontwikkeling samenbrengen. Volgens ons is dat een betere aanpak.

► 6 Conclusie

In dit document gaven we toelichting over de aanpak om te komen tot een objectieve beoordeling van de duurzaamheid van een asfaltwegdek.

In hoofdstuk 1 lichtten we de context van duurzaamheid toe alsook de focus op de asfaltmengsels voor toplagen in dit document, en het belang van het mee inrekenen van de resultaten van een duurzaamheidsevaluatie met als finaal doel om te komen tot verbeterde aanbestedingsvormen die bijdragen tot de realisatie van duurzame ontwikkeling.

In hoofdstuk 2 bekeken we nader hoe het normatief kader voor duurzaamheidsevaluaties in een internationale context aan het evolueren is, en schetsten we het idee van levenscyclusdenken van systemen.

De ontwikkelde methode (hoofdstuk 3) bouwt voort op de inzichten ontwikkeld in recente onderzoeksprojecten van OCW (EDGAR en Re-RACE), en gaat verder met een concrete toepassing ervan voor een asfaltmengsel voor toplagen, inclusief de recycling van asfaltgranulaat en de eventuele toevoeging van een verjongingsmiddel. Ter informatie wordt ook verwezen naar andere methodes in onze buurlanden, zoals SEVE in Frankrijk of MKI in Nederland, of methodes ontwikkeld voor gebouwen (TOTEM).

De EDGAR-methode steunend op een elftal indicatoren werd vervolgens in hoofdstuk 4 concreet toegepast en in detail berekend voor een typisch asfaltmengsel. Als basis van de gegevens voor de milieu-indicatoren wordt hierbij gesteund op de informatie gegeven in de milieuproductverklaringen van de gebruikte grondstoffen en processen (EPD's). Daarbij wordt ook gewezen op de in die context bestaande complexiteit om coherente gegevens ter beschikking te krijgen, of om alleen te beschikken over gegevens die moeilijk vergelijkbaar zijn.

Op basis van de hier beschreven duurzaamheidsevaluatie (*sustainability*) kunnen conclusies worden getrokken in algemene termen van positieve of negatieve impact op de diverse beschouwde indicatoren. Er wordt een samenvatting gegeven van de becijferde resultaten voor vijf asfaltmengsels voor toplagen van het type APT-C, met een (hoog) percentage aan AG (20 % of 50 %) al dan niet in combinatie met een *bio-based* verjongingsmiddel.

Voor enkele indicatoren scoren de varianten mét of zonder recycling en/of verjongingsmiddel gelijk en is er geen verschil, maar voor enkele andere belangrijke indicatoren zoals klimaatveranderingspotentieel, uitputting grondstoffen, luchtverontreiniging en financiële kostprijs is er telkens een duidelijk verschil in het voordeel van de asfaltmengsels met recycling van AG. Het beschouwde verjongingsmiddel op plantaardige basis vergroot hierbij het voordeel nog in erg lichte mate.

In het algemeen is het duidelijk dat ook technische duurzaamheidsaspecten (*durability*), zoals behoud of verlenging van de technische levensduur en aantoonbare verhoogde prestaties, bepalend zouden kunnen zijn in een finale duurzaamheidsbeoordeling van de bestudeerde APT-C varianten. Op dit ogenblik is dergelijke data evenwel nog niet voorhanden.

► Duurzaamheidsevaluatie van asfaltmengsels

Ten slotte gaven we in hoofdstuk 5 meer toelichting bij de alternatieve methode van de MilieuKostenIndicator, en de verschillen tussen de aanpak gebaseerd op de MKI en de EDGAR-methode. Een volledige doorrekening van de in deze publicatie als casestudie gebruikte asfaltmengsels volgens de Nederlandse MKI-methode is in de praktijk niet mogelijk en weinig relevant, omdat het specifieke Nederlandse softwarepakket hier niet beschikbaar is en niet aan de Belgische situatie is aangepast.

Wel toont de voorbeeldberekening van MKI van de Nederlandse typemengsels voor toplagen een interessante indicatie van het relatieve belang (als onderdeel van de totale MKI) dat geleverd wordt door de verschillende milieu-impactcategorieën: in aflopende mate van belangrijkheid zijn dat het potentieel tot klimaatverandering, verzuring, humaan toxicologische effecten, en de andere acht impacts. De eerste drie categorieën van impacts bepalen ongeveer 80 % van de totale milieukosten, en verdienen dus de meeste aandacht bij reductiestrategieën.

Een belangrijke opmerking aangaande de alternatieve methode van MKI is dat de milieukostenindicator – zoals ook het geval is voor de LCA-methode waarop ze steunt – enkel parameters van de pijler ‘milieu’ behandelt, en geen elementen bevat van de pijler ‘sociaal’ noch van de pijler ‘economie’. De EDGAR-methode daarentegen wil bewust wel bepaalde elementen van de drie pijlers in het concept van duurzame ontwikkeling samenbrengen. Volgens ons is dat een betere aanpak.



Literatuur

- Anastasio, S., De Visscher, J., Wayman, M., Bueche, N., Hoff, I., Maeck, J., Vanelstraete, A., Vansteenkiste, S. & Schobinger, B. (2016, april 18-21). Standardization of the environmental information for asphalt technologies. In *Moving forward: Innovative solutions for tomorrows mobility: Proceedings of the 6th European transport research conference (Transport Research Arena, TRA 2016), Warsaw, Poland*. Conference of European Directors of Roads (CEDR) & European Commission (EC).
- Belgisch Verbond van Ontginningsbedrijven (FEDIEX). (2022, januari 4). *Belgian Limestone, sandstone and porphyry aggregates for use in mortar, concrete and bituminous or hydraulically bound mixtures:nProduction and transport of 1 ton of aggregates* [Environmental Product Declaration (EPD)]. <https://www.fediex.be/upload/belgium-environmental-product-declaration-fediex-zvp4qz.pdf>
- ASCOVIL. (2020). *Déclaration environnementale 2020: Les résultats de l'année 2019*. https://www.willemen.be/sites/default/files/Ascovil%20D%C3%A9claration%20Environnementale%202020_0.pdf
- Blomberg, T., Barnes, J., Bernard, F., Dewez, P., Le Clerc, S., Pfitzmann, M., Porot, L., Southern, M., Taylor, R. (2011). *Life cycle inventory: Bitumen*. European Bitumen Association (Eurobitume). <https://www.eurobitume.eu/fileadmin/pdf-downloads/LCI%20Report-Website-2ndEdition-20120726.pdf>
- Bureau voor Normalisatie. (2006/2020a). *Milieubeheer: Levenscyclusanalyse: Principes en kader* (NBN EN ISO 14040/A1). https://www.nbn.be/shop/nl/norm/nbn-en-iso-14040-2006-a1-2020_28228/
- Bureau voor Normalisatie. (2006/2020b). *Milieubeheer: Levenscyclusanalyse: Eisen en richtlijnen* (NBN EN ISO 14044/A2). https://www.nbn.be/shop/nl/norm/nbn-en-iso-14044-2006-a2-2020_9996/
- Bureau voor Normalisatie. (2010-2017). *Duurzaam bouwen: Duurzaamheidsbeoordeling van gebouwen* (NBN EN 15643[-1-5]). <https://www.nbn.be/shop/nl/zoeken/?src=t&k=15643>
- Bureau voor Normalisatie. (2012). *Duurzaamheid van constructies: Beoordeling van milieuprestaties van gebouwen: Rekenmethode* (NBN EN 15978). https://www.nbn.be/shop/nl/norm/nbn-en-15978-2012_6226/
- Bureau voor Normalisatie. (2012+2019/2021). *Duurzaamheid van bouwwerken: Milieuproductverklaringen: Kernregels voor de productcategorie bouwproducten* (NBN EN 15804+A2/AC). https://www.nbn.be/shop/nl/norm/nbn-en-15804-2012-a2-2019-ac-2021_106261/
- Bureau voor Normalisatie. (2014). *Duurzaamheid van bouwwerken: Beoordeling van de sociale prestatie van gebouwen: Berekeningsmethoden* (NBN EN 16309+A1). https://www.nbn.be/shop/nl/norm/nbn-en-16309-2014_37996/

► Duurzaamheidsevaluatie van asfaltmengsels

- Bureau voor Normalisatie. (2015). *Duurzaamheid van bouwwerken: Beoordeling van de economische prestaties van gebouwen: Berekeningsmethoden* (NBN EN 16627). https://www.nbn.be/shop/nl/norm/nbn-en-16627-2015_31541/
- Bureau voor Normalisatie. (2021). *Duurzaamheid van bouwwerken: Kader voor beoordeling van gebouwen en civieltechnische werken* (NBN EN 15643). https://www.nbn.be/shop/nl/norm/nbn-en-15643-2021_104681/
- Cashman, S.A., Moran, K.M. & Gaglione, A.G. (2016). Greenhouse gas and energy life cycle assessment of pine chemicals derived from crude tall oil and their substitutes. *Journal of Industrial Ecology*, 20(5), 1108-1121. <https://doi.org/10.1111/jiec.12370>
- Circular Ecology. (2019). Embodied carbon: The ICE database (versie 3). <https://circularecology.com/embodied-carbon-footprint-database.html#VUZxqLITH4Y>
- De bepalingsmethode (MKI) is aangepast: Wat de EN15804 + A2 betekent voor jouw bedrijf. (2021). *Ecochain*. <https://ecochain.com/nl/knowledge-nl/wat-en15804-a2-voor-jou-betekent/>
- De Bock, L. (2020). Milieu-impactstudie via TOTEM breidt uit naar de wegenbouw. *OCW Mededelingen*, (125), 8-10. <https://brrc.be/nl/expertise/expertise-overzicht/milieu-impactstudie-totem-breidt-wegenbouw>
- De Bock, L. (2021, juni 3). *Europese visie m.b.t. groene aanbestedingen in de wegenbouw: Welke instrumenten, waar gaan we naartoe?* [Presentatie]. Studiedag groen aanbesteden in de wegenbouw, online. ie-net, Expertgroep Wegenbouw.
- De Bock, L. (2022, april 27). *Inleiding: Duurzaam materiaalgebruik in het bredere plaatje van duurzame wegenbouw* [Presentatie]. Studiedag duurzame inzet van materialen in de wegenbouw, Antwerpen. ie-net, Expertgroep Wegenbouw & Universiteit Antwerpen, Energy and Materials in Infrastructure and Buildings (EMIB).
- De Bock, L., Piérard, N., Vansteenkiste, S. & Vanelstraete, A. (2020). *Classificatie en analyse van verjongingsmiddelen voor asfaltrecycling* (OCW Dossier No. 21). Opzoekingscentrum voor de Wegenbouw (OCW). <https://brrc.be/nl/expertise/expertise-overzicht/dossier-21-classificatie-analyse-verjongingsmiddelen-asfaltrecycling>
- De Visscher, J., Maeck, J., Vansteenkiste, S., Vanelstraete, A., Wayman, M., Peeling, J., Bueche, N., Schobinger, B., Anastasio, S. & Hoff, I. (2016). *EDGAR: Evaluation and decision process for greener asphalt roads. Deliverable D4.6: Final report*. Conference of European Directors of Roads (CEDR). https://www.cedr.eu/download/other_public_files/research_programme/call_2013/energy_efficiency/edgar/D4-6-Final-report_vFinal-revised.pdf
- De Winne, W. (2022, april 4-7). *Milieubewust bouwen in de infrastructuursector* [presentatie]. XXIV^e Belgisch wegencongres, Leuven. Belgische Wegenvereniging (BWV). <https://abr-bwv.be/documents/2.06.4PPTNLDuurzaamAanbesteden736.pdf>
- Drissen, E. & Vollebergh, H. (2018). Monetaire milieuschade in Nederland: Een verkenning [policy Brief]. Planbureau voor de leefomgeving. <https://www.pbl.nl/sites/default/files/downloads/pbl-2018-monetaire-milieuschade-in-nederland-3206.pdf>

- Ducreux, V., Gamez Lopez, L., Menten, F., Porot, L., Southern, M., Taylor, R., Teugels, W., Tromson, C., Valdenaire, D., Vandermeeren, B. & Verrat, C. (2020). *The Eurobitume life-cycle inventory for bitumen* (Version 3.1). European Bitumen Association (Eurobitume). https://www.eurobitume.eu/fileadmin/Feature/LCI/EUB2975.001_LCI_Update_2020_01_LR_pages.pdf
- Eco comparateur/SEVE. (s.d.). *Routes de France*. <https://www.routesdefrance.com/les-actions-de-la-profession/developpement-durable/eco-comparateurseve/>
- EnergieID & CO₂logic. (s.d.). *CO₂ emissiefactoren*. <https://www.co2emissiefactoren.be/factoren>
- ERG, Franklin Associates. (2013). *Greenhouse gas and energy life cycle assessment of pine chemicals derived from crude tall oil and their substitutes* [Samenvatting, ingediend bij de American Chemistry Council (ACC), Pine Chemistry Panel]. <https://www.americanchemistry.com/industry-groups/pine-chemistry/resources/greenhouse-gas-and-energy-life-cycle-assessment-of-pine-chemicals-derived-from-crude-tall-oil-and-their-substitutes>
- European Bitumen Association. (2022). *2021 update to the Eurobitume life-cycle inventory for bitumen* (versie 3.1). <https://eurobitume.jamesreedpr.co.uk/wp-content/uploads/2022/10/LCI-Update-2021-English.pdf>
- European Commission. (2016, juni 10). *EU green public procurement criteria for road design, construction and maintenance* (Commission Staff Working Document No. SWD[2016] 203 final). <https://ec.europa.eu/environment/gpp/pdf/GPP%20criteria%20Roads%20%282016%29%20203.pdf>
- European Committee for Standardization. (2020). *Sustainability of construction works: Environmental product declarations: Core rules for road materials. Part 1: Bituminous mixtures* (PrEN 17392-1). <https://standards.iteh.ai/catalog/standards/cen/dc8e8d7e-7b0e-418e-ab9c-2ac2c49ae299/pren-17392-1>
- European Committee for Standardization. (2021). *Sustainability of construction works: Methodology for the assessment of performance of buildings* (PrEN 15978). <https://standards.iteh.ai/catalog/standards/cen/b7106a72-4c08-4c2d-ab20-3c160f52a82f/pren-15978-1>
- European Committee for Standardization. (2022). *Sustainability of construction works: Sustainability assessment of civil engineering works: Calculation methods* (EN 17472). <https://standards.iteh.ai/catalog/standards/cen/7229e408-a746-43b1-aafb-1b7ff46a0c7b/pren-17472>
- Federale Overheidsdienst Volksgezondheid, Veiligheid van de Voedselketen en Leefmilieu. (s.d.). *Databank voor milieuproductverklaringen (EPD)*. <https://www.b-epd.be>
- Franzefoss Pukk. (2018, maart 13). *Crushed stone construction aggregate products, Oslo and Baerum* [Environmental Product Declaration (EPD)]. Norwegian EPD Foundation. https://www.epd-norge.no/getfile.php/138728-1520952700/EPDer/Byggevarer/Asfalt/NEPD-1537-527_Crushed-stone-construction-aggregate-products--Oslo-and-B--rum.pdf
- Gruppo Bassanetti. (2020, februari 10). *Natural inert materials "sand and gravel" extracted from an artificial quarry basin* [Environmental Product Declaration (EPD)]. EPD Italy. <https://www.epditaly.it/en/wp-content/uploads/2020/03/2020.05.07-Dichiarazione-EPD-Rev.-02-EN.pdf>

► Duurzaamheidsevaluatie van asfaltmengsels

- IEA Bioenergy. (2022). Fossil vs biogenic CO₂ emissions. *IEA Bioenergy*. <https://www.ieabioenergy.com/iea-publications/faq/woodybiomass/biogenic-co2/>
- International Organization for Standardization. (2017). *Sustainable procurement: Guidance* (ISO 20400). <https://www.iso.org/standard/63026.html>
- Klein, A., Hilster, D., Scholten, P., van Wijngaarden, L., Tol, E. & Otten, M. (2021). *STREAM goederenvervoer 2020: Emissies van modaliteiten in het goederenvervoer* (In opdracht van Topsector Logistiek, versie 2). CE Delft. https://ce.nl/wp-content/uploads/2021/03/CE_Delft_190325_STREAM_Goedervervoer_2020_DEF_Versie2.pdf
- KRATON Corporation. (2018). *Life cycle inventory (LCI): SYVLAROAD RP1000 performance additive*.
- Leyssens, D., Verstappen, B. & Huybrechts, D. (2013). *Beste beschikbare technieken (BBT) voor Asfaltcentrales* (in herziening). Vlaamse Instelling voor Technologisch Onderzoek (VITO). https://emis.vito.be/sites/emis/files/pages/1142/2014/vito_BBT_asfalt_DEF_BK_VOOREMIS_0.pdf
- Milieu Centraal, Stimular, Connekt, Stichting Klimaatvriendelijk Aanbesteden & Ondernemen & Rijksoverheid. (2022, januari 14). *CO₂ emissiefactoren: Lijst emissiefactoren*. <https://www.co2emissiefactoren.nl/lijs-emissiefactoren/>
- Montanus, P. (2017, augustus 16). Bijdragen aan een betere samenleving. *Entrepreneur Caribbean*. <https://entrepreneurcaribbean.com/2017/08/16/bijdragen-aan-een-betere-samenleving/>
- Onderhoud Scheldelaan in Antwerpse haven. (2022, juni 1). *CO₂-Prestatieladder*. <https://www.co2-prestatieladder.nl/nl/project/onderhoud-scheldelaan-antwerpse-haven>
- Piérard, N., Vansteenkiste, S., Vanelstraete, A. & Peaureaux, P. (2020, december 14-16). Methodology for evaluating the performance of bituminous binders based on rheological indicators: Impact of the use of a rejuvenator. In *Collection of papers of the RILEM international symposium on bituminous materials (ISBM 2020)*, Lyon, France. International Union of Testing and Research Laboratories for Materials and Structures (RILEM).
- Prinssen, P. & Rademaker, S. (2020). *Stappenplan: Inkopen met de milieukostenindicator*. PIANOo. https://www.pianoo.nl/sites/default/files/media/documents/2020-12/inkopen_met_de_milieukostenindicator-augustus2020.pdf
- Scheldelaan is eerste project met CO₂-prestatieladder in Vlaanderen. (2022, januari 10). *Willemen infra*. <https://www.willemen.be/nl/nieuws/scheldelaan-eerste-project-met-co2-prestatieladder-vlaanderen>
- Schwarz, A., Overmars, L., Godoi Bizarro, D., Keijzer, E., Kuling, L. & van Horssen, A. (2020). *LCA achtergrondrapport voor brancherepresentatieve Nederlandse asfaltmengsels 2020* (TNO-rapport No. R10987). Nederlandse Organisatie voor Toegepast-Natuurwetenschappelijk Onderzoek (TNO). https://www.asfaltblij.nl/media/2639/lca-achtergrondrapport-voor-nederlandse-asfaltmengsels-2020_v200928.pdf
- SDGS. (2022). Duurzameontwikkeling.be. <https://www.duurzameontwikkeling.be/nl/themas/sdgs>
- Stichting Klimaatvriendelijk Aanbesteden & Ondernemen. (s.d.). *Onderzoek CE Delft: CO₂-prestatieladder heeft toonbaar effect bij gemeenten*. <https://www.co2-prestatieladder.nl/nl>

- Stichting Nationale Milieudatabase. (2020, juli). *Bepalingsmethode milieuprestatie bouwwerken: Berekeningswijze voor het bepalen van de milieuprestatie van bouwwerken gedurende hun gehele levensduur, gebaseerd op de EN 15804 (Versie 1.0)*. <https://milieudatabase.nl/wp-content/uploads/2020/07/Bepalingsmethode-Milieuprestatie-Bouwwerken-juli-2020.pdf>
- Tanghe, T., Vansteenkiste, S. & Vanelstreat, A. (2020, juni 16-18). Development of a protocol for the initial type testing of asphalt mixtures with the use of rejuvenators. In *Asphalt 4.0 for future mobility: 7th Eurasphalt & Eurobitume congress (7th E&E), Madrid, Spain*. European Asphalt Pavement Association (EAPA) & European Bitumen Association (Eurobitume).
- Totem. (2018). *Totem: Create, evaluate, innovate*. <https://www.totem-building.be/>
- Toth, Z. & Volt, J. (2021). *Addressing the hidden emissions in buildings: Status quo, gaps, and recommendations for environmental product declarations and whole-life carbon*. Buildings Performance Institute Europe (BPIE). <https://www.bpie.eu/wp-content/uploads/2021/12/EPD-Factsheet.pdf>
- Union Nationale des Producteurs de Granulats. (2017a). *Module d'information environnementale du traitement de déchets de déconstruction en vue de produire des granulats: Conforme aux norme sNF EN 15804+A1 et NF EN 15804/CN* (Versie geverifieerd door onafhankelijke derde partij). <https://www.unpg.fr/wp-content/uploads/unpg-mie-traitement-de-dechets-pour-granulats-recycles-2017-1.pdf>
- Union Nationale des Producteurs de Granulats. (2017b). *Module d'information environnementale de la production de granulats recyclés: Conforme aux normes NF EN 15804+A1 et NF EN 15804/CN* (Versie geverifieerd door onafhankelijke derde partij). <https://www.unpg.fr/wp-content/uploads/unpg-mie-production-granulats-recycles-2017-1.pdf>
- Union Nationale des Producteurs de Granulats. (2017c). *Module d'information environnementale de la production de granulats à partir de roches massives: Conforme aux normes NF EN 15804+A1 et NF EN 15804/CN* (Versie geverifieerd door onafhankelijke derde partij). <https://www.unpg.fr/wp-content/uploads/unpg-mie-production-granulats-massifs-2017-1.pdf>
- Union Nationale des Producteurs de Granulats. (2017d). *Module d'information environnementale de la production de granulats à partir de roches meubles: Conforme aux normes NF EN 15804+A1 et NF EN 15804/CN* (Versie geverifieerd door onafhankelijke derde partij). <https://www.unpg.fr/wp-content/uploads/unpg-mie-production-granulats-meubles-2017-1.pdf>
- United Nations. (1987). *Report of the World Commission on Environment and Development: Our common future*. <http://www.un-documents.net/wced-ocf.htm>
- United Nations. (2015). *Transforming our world: The 2030 agenda for sustainable development*. <https://sdgs.un.org/sites/default/files/publications/21252030%20Agenda%20for%20Sustainable%20Development%20web.pdf>
- United Nations. (2020a). *Nations united: Urgent solutions for urgent times*. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/sustainable-development-goals/>
- United Nations. (2020b). *Global indicator framework for the sustainable development goals and targets of the 2030 agenda for sustainable development*. https://unstats.un.org/sdgs/indicators/Global%20Indicator%20Framework%20after%202020%20review_Eng.pdf

► Duurzaamheidsevaluatie van asfaltmengsels

- University of Antwerp, Energy & Materials in Infrastructure & Buildings & Opzoekingscentrum voor de Wegenbouw. (2021, januari 28). *REjuveBit: Duurzaam asfalt door het gebruik van verjongingsmiddelen* [Presentatie]. Studenamiddag, Antwerpen. <https://medialibrary.uantwerpen.be/files/11073/c25bae98-d4ce-4eb7-b818-196cd0e33ef0.pdf?ga=2.129537486.375642597.1611830983-1219604479.1590382790>
- van der Kruk, T., Overmars, L. & Keijzer, E. (2022). *Product Category Rules voor bitumineuze materialen in verkeersdragers en waterwerken in Nederland ("PCR Asfalt") (Versie 2.0)*. <https://docplayer.nl/227470321-Product-category-rules-voor-bitumineuze-materialen-in-verkeersdragers-en-waterwerken-in-nederland-pcr-asfalt-versie-2-0.html>
- van Harmelen, A.K., Korenromp, R.H.J., Ligthart, T.N., van Leeuwen, S.M.H. & van Gijlswijk, R.N. (2004). *Toxiciteit heeft z'n prijs: Schaduwrijzen voor (eco-)toxiciteit en uitputting van abiotische grondstoffen binnen DuboCaic* (Duurzaam Bouwen-Reeks No. 015). Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat, Duurzaam bouwen Advies- en Kenniscentrum (DAK). https://puc.overheid.nl/doc/PUC_119145_31
- Vansteenkiste, S. (2019). *Re-RACE: Rejuvenation of reclaimed asphalt in a circular economy: Wetenschappelijk jaarverslag voor de periode 1 juni 2018 tot 31 mei 2019* (Overeenkomst CCN/NBN/PN17B05).
- Vansteenkiste, S. (2021). *Re-RACE: Rejuvenation of reclaimed asphalt in a circular economy: Verslag voor de periode 1 juni 2020 tot 30 mei 2021* (Overeenkomst CCN/NBN/PN19B05).
- Vansteenkiste, S. & Gonda, L. (2013, september 11-13). Evaluatie van de ecologische voetafdruk van de productie van asfalt. In *Delen van kennis en techniek ten gunste van een burgervriendelijke weg: Samenvattingen van de presentaties van het 22^{ste} Belgisch wegencongres, Luik*. Belgische Wegenvereniging (BWV).
- Vansteenkiste, S., Tanghe, T., Duerinckx, B., Vanelstraete, A., Porot, L., Govers, B., Libbrecht, D. & Modde, P.-P. (2021, juni 16-18). Impact of bio-based rejuvenator on bitumen and asphalt mix performance: Laboratory and field evaluation. In *Asphalt 4.0 for future mobility: 7th Eurasphalt & Eurobitume congress (7th E&E), Madrid, Spain*. European Asphalt Pavement Association (EAPA) & European Bitumen Association (Eurobitume).
- Vlaamse Overheid, Agentschap Wegen en Verkeer. (2022). Scheldelaan eerste project met CO₂-prestatieladder in Vlaanderen. In *Activiteitenverslag 2021*. <https://wegenenverkeer.be/sites/default/files/uploads/documenten/2021%20Activiteitenverslag%20AWV.pdf>
- Wat zijn schaduwkosten? (2021). Ecochain. <https://ecochain.com/nl/knowledge-nl/wat-zijn-schaduwkosten/>
- Wayman, M., De Visscher, J., Maeck, J., Vansteenkiste, S. & Vanelstraete, A. (2016, juni 1-3). Facilitating the adoption of sustainable technologies in the asphalt sector. In *Proceedings of the 6th Eurasphalt & Eurobitume congress, Prague*. Eurasphalt & European Bitumen Association (Eurobitume).
- Wildnauer, M., Mulholland, E. & Liddie, J. (2019). *Life cycle assessment of asphalt binder* (Commissioned report by Asphalt Institute). thinkstep AG. <https://www.asphaltinstitute.org/engineering/sustainability/life-cycle-assessment-of-asphalt-binder/>

► Afkortingen

ADP	Abiotic resource Depletion Potential
AG	Asfaltgranulaat
AP	Acidification Potential
APT	Asfalt met Prestatievoorschriften voor Toplagen
BKG	Broeikasgassen
CEDR	Conference of European Directors of Roads
CEN	European Committee for Standardization
COPRO	Onpartijdige instelling voor de Controle van bouwproducten
CTO	Crude Tall Oil
EDGAR	Evaluation and Decision process for Greener Asphalt Roads
EOL	End of Life
EP	Eutrofication Potential
EPD	Environmental Product Declaration
GPP	Green Public Procurement
GWP	Global Warming Potential
ISO	International Organization for Standardization
ITS(R)	Indirect Tensile Strenght (ratio)
ITT	Initial Type Testing
LCA/LCI(A)	Life Cycle Analysis / Life Cycle Inventory (Analysis)
MMG	Milieu-gerelateerde Materiaalprestatie van Gebouwelementen
ODP	Ozon Depleting Potential
PIARC	Permanent International Association of Road Congresses
PmB	Polymeergemodificeerd bitumen
POP	Photochemical Ozon formation Potential
PTV	Prestations Techniques – Technische Voorschriften
RILEM	International Union of Laboratories and Experts in Construction Materials, Systems and Structures
SBS	Styreen-butadien-styreen block copolymeer
SDG(s)	Sustainable Development Goals(s)
TRA	ToepassingsReglement – Règlement d'application

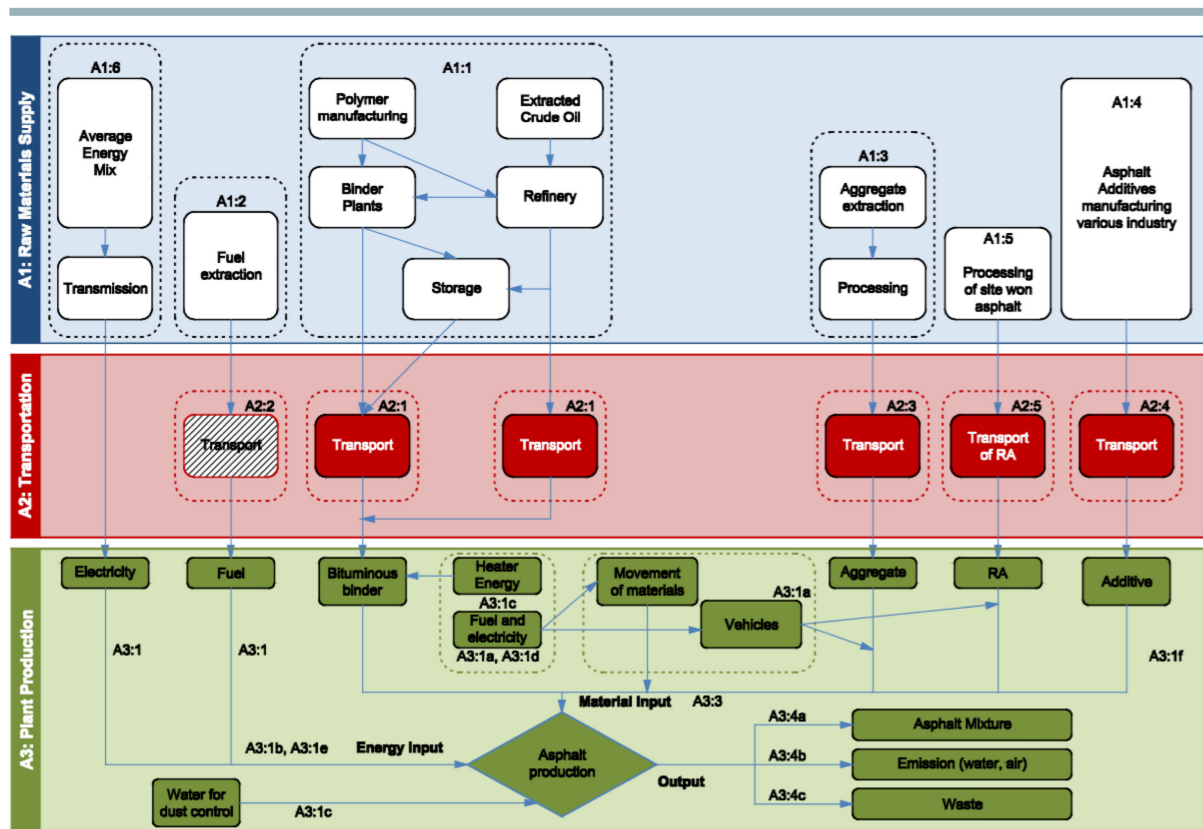
► Duurzaamheidsevaluatie van asfaltmengsels

► Bijlage 1

Emissiefactoren voor grondstoffen, waar ze te vinden en hoe ze te interpreteren

A1.1 Algemene methodiek

Om via een levenscyclusanalyse een juiste analyse te kunnen maken van de potentiële milieu-impact van asfalt (en de verschillen tussen asfaltmengsels), steunt een LCA-berekening op de interpretatie van data verspreid over de verschillende processen binnen de systeemgrenzen. Voor asfalt geeft onderstaande figuur A1.1 een schematische weergave van deze processen en de erbij betrokken fysische stromen van materialen, energie en emissies, althans voor de productfases (module A1 voor de grondstoffenvoorziening – met blauwe achtergrond), én module A2 met de transportbewegingen van die grondstoffen naar de asfaltmenginstallatie – met rode achtergrond, én module A3 met de asfaltproductie in de asfaltmenginstallatie – met groene achtergrond).

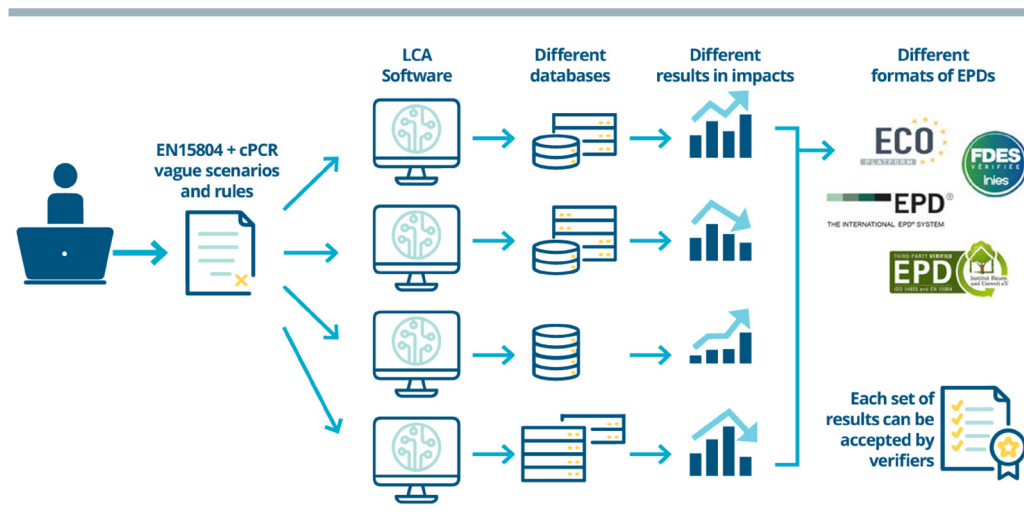


Figuur A1.1 – Diagram van de systeemgrenzen, processen en gegevenstypes voor asfalt in de productfase (van-wieg-tot-fabriekspoort: informatie modules A1 – A3) (CEN, 2020, Figure 3)

Voor elk van de processen moet dan bepaald worden wat de inputs (grondstoffen, energie) en outputs (tussen- of eindproducten, andere energievorm, emissies) zijn en hoeveel die emissies bijdragen tot de verschillende impactcategorieën die worden onderzocht. Hiervoor kan worden gesteund op zogenaamde **emissiefactoren**, die voor elk procesonderdeel de emissie voor een standaard hoeveelheid kwantificeren. Als we voorbeeld de impactcategorie “klimaatopwarming” (via GWP) als voorbeeld nemen, dan hebben we in de grondstoffenaanvoerketen (module A1) nood aan de bepaling van de bijdrage op het vlak van GWP van zowel de aggregaten, de verwerking van asfaltgranulaat, het bitumineus bindmiddel als de additieven. Deze elementen worden in bovenstaande figuur voorgesteld als respectievelijk de gegevenstypes A1:3 (steengroeve met aggregaatextractie), A1:5 (RA-verwerking), A1:1 (olieraffinaderij en polymeerfabriek) en ten slotte A1:4 (productie van additieven, zoals vulstof en verjongingsmiddel).

Informatie over deze emissiefactoren wordt gegeven in zogenaamde milieuproductverklaringen of EPD's. Deze worden opgesteld voor een bepaald product met liefst zo specifiek mogelijke informatie – aangeleverd door een individuele fabrikant of leverancier – ofwel met meer generieke (gemiddelde) waarden bezorgd door een groep van producenten of een sectorfederatie.

Hoewel er internationale normen bestaan die bepalen hoe een LCA moet worden uitgevoerd én hoe een EPD moet worden opgesteld, is het zeer moeilijk een éénduidige waarde te vinden voor de emissiefactoren voor een bepaald product (grondstof, tussenproduct of samengevoegd tot bv. een asfaltmengsel). Bovendien evolueren de resultaten in de tijd doordat nieuwe processen worden ingevoerd bij de fabrikanten of nieuwe technologieën hun intrede doen. Ook gebruiken de auteurs van deze studies verschillende software en berekeningsmodellen, en halen ze hun data uit verschillende gegevensbanken, die wel of niet diezelfde evoluties kennen na een nieuwe update. Figuur A1.2 schetst deze oorzaken van variabiliteit in de EPD's.



Figuur A1.2 – Uitdagingen inzake EPD's en hun variabiliteit (bron: interview met Baijia Huang, ROCKWOOL International [Toth & Volt, 2021])

► Duurzaamheidsevaluatie van asfaltmengsels

In België heeft de FOD Leefmilieu en Gezondheid een databank voor EPD's gemaakt, toegankelijk via de website www.b-epd.be, waar enerzijds fabrikanten (of federaties) de LCA en EPD voor hun product kunnen declareren en anderzijds burgers en bedrijven die EPD's kunnen consulteren en verder gebruiken in hun duurzaamheidsanalyses (Federale Overheidsdienst [FOD] Volksgezondheid, Veiligheid van de Voedselketen en Leefmilieu, s.d.).

In de volgende paragrafen gaan we dieper in op waar deze informatie kan worden gevonden, en duiden we deze wat betreft interpretatie van de gegevens of hun variabiliteit. We behandelen vooral de EPD's van bitumen, aggregaten, AG, vulstof en verjongingsmiddel.

A1.2 Emissiefactoren voor klimaatveranderingspotentieel

A1.2.1 Bitumen

De federatie van Europese bitumenproducenten heeft in 2012 een inventarisatiestudie (*life cycle inventory*) gepubliceerd voor de bitumenproductie (van-wieg-tot-fabriekspoort) (Blomberg et al., 2011). Zulke veralgemeende sectorspecifieke gegevens zijn goed bruikbaar indien er geen data beschikbaar zijn voor het specifieke bitumen dat wordt gebruikt in het asfaltmengsel.

Voor wat betreft de parameter GWP (bijdrage tot de klimaatverandering) berekent die studie een waarde van 0,191 kg CO₂-equivalent per kg bitumen (*straight-run*), en een waarde van 0,323 kg CO₂-eq per kg voor polymeergemodificeerd bitumen (met 3,5 % SBS).

Ondertussen werd deze studie geüpdatet naar een nieuwe versie, gepubliceerd in 2020 (Ducreux et al., 2020). Deze studie zou representatief zijn voor de productie van wegebouwbitumen in een Europese raffinaderij, omdat ze rekening houdt met de gemiddelde gegevens van meerdere Europese raffinaderijen qua herkomst en aanvoerlijnen van de ruwe aardolie, technologieën en conversierendementen van ruwe aardolie naar bitumen. Figuur A1.3 toont een schets van de systeemgrenzen van de bitumenproductie.

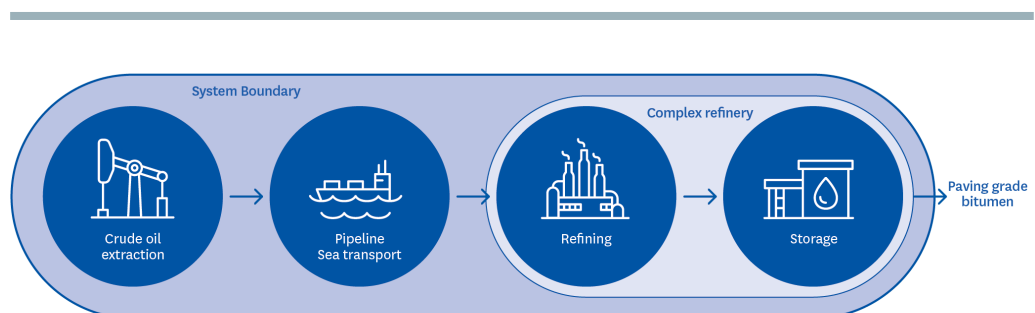


Figure 1. System boundaries for the bitumen LCI (cradle-to-refinery gate approach)

Figuur A1.3 – Afbakening van de systeemgrenzen in de LCI (inventarisatiestudie) van bitumen (bron: Ducreux et al., 2020, Figure 1)

Het stroomschema van de (aardolie-tot-bitumen) raffinaderij ziet er als volgt uit:

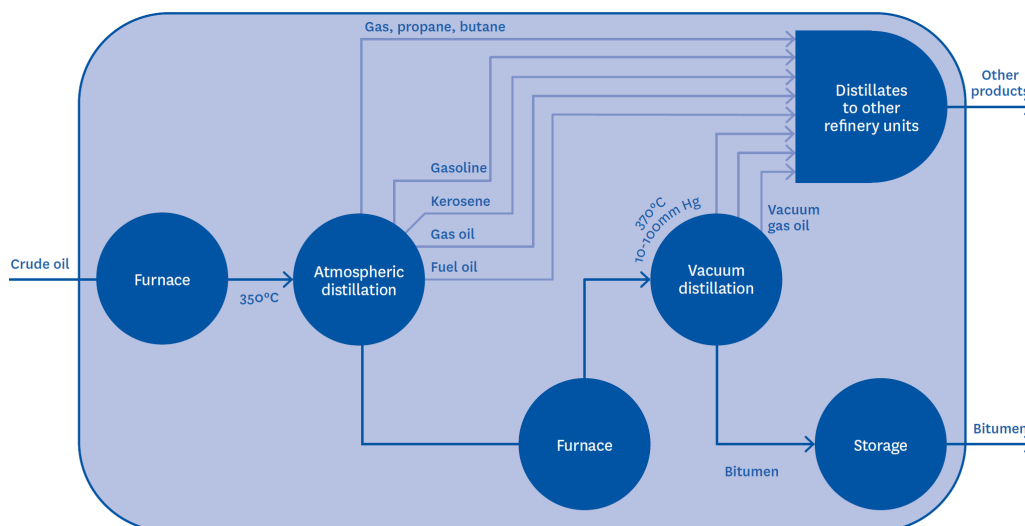


Figure 6. Schematic diagram of the refinery process

Figuur A1.4 – Stroomschema bitumenproductie in olieraffinaderij (bron: Ducreux et al., 2020, Figure 6).

In deze LCI kan verder een onderscheid worden gemaakt of deze mét of zonder de “infrastructuur” is. “Mét infrastructuur” betekent dat, naast de impacts van het eigenlijke proces van bitumenproductie zelf – van ontginning van de aardolie over het vervoer van de olie via pijplijn of zeeschip tot de verwerking in de raffinaderij – er inclusief rekening wordt gehouden met de bijkomende stromen geassocieerd met het bouwen van de infrastructuur (installaties en machinerie) die nodig zijn om de ruwe aardolie te ontginnen, te transporteren en te raffineren: niet enkel de energie die verbruikt wordt voor de aandrijving van de olietanker wordt in rekening gebracht, maar ook de energie en grondstoffen die nodig waren om het schip zelf te bouwen, a rato van zijn bijdrage in het transport van die ene ton aardolie, en dit zo voor alle onderdelen van de infrastructuur.

In deze inventarisatiestudie analyseert EuroBitume alle *input* en *output* stromen die verbonden zijn met de meest relevante onderdelen van de bitumenproductieprocesketen, als daar zijn: verbruik van ruwe aardolie (deels als materiaal, deels als energiebron voor vele procesonderdelen), verbruik van aardgas (als energiebron), emissie naar de lucht van gasvormige pollutanten zoals koolstofdioxide (CO₂), zwaveldioxide (SO₂), stikstofoxides (NO_x), methaan (CH₄) en niet-methaan vluchtige organische componenten (NMVOC). Omwille hiervan meent EuroBitume dat de LCI bruikbare data aanlevert voor de analyse van welbepaalde milieu-impactindicatoren zoals:

- uitputting van abiotische grondstoffen/ niet-hernieuwbare fossiele energie;
- klimaatveranderingspotentieel;
- aantasting van de ozonlaag;
- verzuring;
- fotochemische oxidatie (smogvorming).

► Duurzaamheidsevaluatie van asfaltmengsels

De auteurs geven zelf aan dat de LCI-studie minder bruikbaar is voor de analyse van toxiciteits- en ecotoxiciteitsindicatoren (daarover zijn geen resultaten gerapporteerd). Merk op dat deze inventarisatiestudie dus niet conform de genormeerde eisen voor een EPD is. N.v.d.r.: Na het afwerken van deze publicatie heeft EuroBitume eind oktober 2022 een update (EuroBitume, 2022) gepubliceerd in een supplement aan de studie van 2020. Dat nieuwe document bevat nu wel alle milieu-impactindicatoren van de EN 15804+A2 (NBN, 2012+2019/2021).

Het LCI-rapport van Eurobitume berekent het klimaatopwarmingspotentieel van de productie van 1 ton wegenbitumen afkomstig van een Europese raffinaderij (exclusief de "infrastructuur") als zijnde 150 kg CO₂-equivalent; met inbegrip van de infrastructuur komt dit uit op een potentieel van 208 kg CO₂-equivalenten per ton bitumen.

Ter vergelijking verwijzen we hier ook naar de gelijkaardige studie uitgevoerd in 2019 door het Amerikaanse *Asphalt Institute* als belangenvereniging van bitumenproducenten. In hun LCA-studie (Wildnauer et al., 2019) rapporteren ze hun levenscyclusanalyse van het asfaltbindmiddel representatief voor de Noord-Amerikaanse markt. Hun focus ligt op de activiteiten in de olieraffinaderij (gegevens verzameld uit 12 raffinaderijen in de VS en Canada) en aansluitend in de bitumendepots (gegevens verzameld bij 11 terminals), dus een van-wieg-tot-fabriekspoort-benadering zoals ook hun Europese collega's toepassen. Als resultaat voor de impactanalyse LCIA geeft Wildnauer et al., 2019 voor de parameter "klimaatverandering" (GWP₁₀₀) een waarde van 0,637 kg CO₂-equivalent per kg asfaltbindmiddel, of 637 kg CO₂-eq per ton bitumen. De berekening gebeurt met exclusie van "infrastructuurelementen" (*capital goods, infrastructure, human labor and employer transport*) omdat hun resultaten weinig relevant worden geacht. Heel wat meer broeikasgasemissies dus.

Als model voor de LCA-berekeningen werd het *GaBi software system for life cycle engineering* gebruikt, ontwikkeld door het Duitse bureau thinkstep AG. Naast de primaire data (voor de raffinaderijen en terminals) aangeleverd door een bevraging bij de leden van het Asphalt Institute werd vooral op de GaBi 2017 LCI database gesteund voor de secundaire data in de inventarisatie, met het hele model van hoe ruwe aardolie wordt ontgonnen en tot aan de raffinaderijen gebracht.

Activiteitengroep ▼	Studie ►	(Ducreux et al., 2020) zonder infrastructuur	(Ducreux et al., 2020) mét infrastructuur	(Wildnauer et al., 2019)
extractie en voorbereiding van crude oil		102	146	403
transport van de ruwe aardolie		22	35	23
bewerkingen in olieraffinaderij		19	20	77
transport raffinaderij naar bitumendepots		7	7	33
activiteiten in bitumendepot				101
Totaalcijfer voor GWP (kg CO₂-eq)		150	208	637

Tabel A1.1 – Totaalcijfer voor GWP (in kg CO₂-eq. per ton bitumen) opgesplitst per hoofdactiviteit in de bitumenproductieketen (gegevens uit Ducreux et al, 2020 & Wildnauer et al., 2019)

De verschillen qua GWP-score tussen de Amerikaanse en de Europese studie zijn dus aanzienlijk: meer dan een factor 4 verschil! De grote verschillen situeren zich in zowel de stroomopwaartse (ontginning van aardoliën) als de stroomafwaartse activiteiten (stockage op temperatuur in de bitumendepots), zoals geïllustreerd wordt in tabel A1.1, die het totaalcijfer opsplijst per hoofdactiviteit.

Een deel van het verschil tussen de resultaten in beide LCA-studies kan waarschijnlijk worden verklaard door verschillen in kenmerken (fysicochemisch en geografisch) van de aardoliemix (o.a. belangrijk deel Canadese olie-zanden in de AI-studie) en de daaruit volgende verschillen in inspanningen die nodig zijn voor de exploitatie en het vervoer van de oliebron naar de raffinaderijen en vervolgens het energieverbruik voor de raffinage zelf: bij EuroBitume (Ducreux et al., 2020) gaat het vooral om ruwe aardolie uit het Midden-Oosten en Rusland, terwijl het in de AI-situatie gaat om ruwe olie die voor 44 % afkomstig is van olie-zanden (teerzanden in de Canadese provincie Alberta). AI (Wildnauer et al., 2019) rapporteert een herkomstverdeling als zijnde 53 % uit Canada, 26 % uit de VS, 12 % uit het Midden-Oosten en 8 à 9 % uit Zuid-Amerika.

De grote verschillen in de werking van de bitumendepots zijn ook opvallend; in de AI-studie is dit waarschijnlijk een overschatting vermits deze 11 bitumendepots allen *off-site* gelegen zijn ten opzichte van de olieraffinaderij (wat lange-afstandstransport en weer opwarmen van het bitumen noodzaakt). In Europa is dat misschien anders aangezien raffinaderij en terminal vaker geïntegreerd zijn op dezelfde site, zoals bijvoorbeeld het geval is in de Antwerpse haven).

De AI-studie (Wildnauer et al., 2019) geeft aan dat 4,98 kg ruwe aardoliemix uiteindelijk na allocatie leidt tot 1 kg bitumen als eindproduct uit het raffinageproces. In de EuroBitume-studie (Ducreux et al., 2020) is dit gegeven niet duidelijk.

In zijn *critical review statement* (ingesloten als annex in de EuroBitume-studie [Ducreux et al., 2020]) acht de Zwitserse specialist dr. Jungbluth de aanpak van de studie wel conform de geldende normen, maar op vele punten tonen de resultaten een veel positievere balans dan gebruikelijk is in de gespecialiseerde LCA-databanken. Onder andere op het vlak van klimaatverandering schat hij dit in als een onderschatting met een factor 2. Dat zou voornamelijk te wijten zijn aan de onderschatting van het belang van het ontsnappen (venting) van methaan tijdens de aardolie-extractie. Ook voor andere impactcategorieën is er blijkbaar een onderschatting.

We merken op dat er een belangrijke variatie zit in de basisgegevens, en dat is zo in vele bronnen van LCA-studies. Bij verder doorrekenen met deze uiteenlopende cijfers kunnen ook de finale resultaten een grote spreiding vertonen. Het is evenwel niet oké om zomaar een gemiddeld cijfer te fabriceren. Daarom verkiezen we om wat betreft bitumen en klimaatopwarmingspotentieel verder te werken met de waarde van **208 kg CO₂-eq per ton bitumen** (cf. EuroBitume mét infrastructuur [Ducreux et al., 2020]).

A1.2.2 Minerale bestanddelen (steenslag, zand en vulstof)

Een gelijkaardige aanpak kunnen we volgen voor de minerale componenten in de grondstoffenmix voor asfalt, namelijk de vulstof, het zand en de stenen.

Als specifieke gegevens beschikbaar zijn, is het aangewezen die te gebruiken. Bijvoorbeeld indien de asfaltmenginstallatie staat opgesteld naast een steengroeve en alle stenen, zand en vulstof steeds exclusief afkomstig zijn uit deze groeve, dan is het evident te werken met de zeer specifieke gegevens uit de EPD-fiche van deze groeve.

► Duurzaamheidsevaluatie van asfaltmengsels

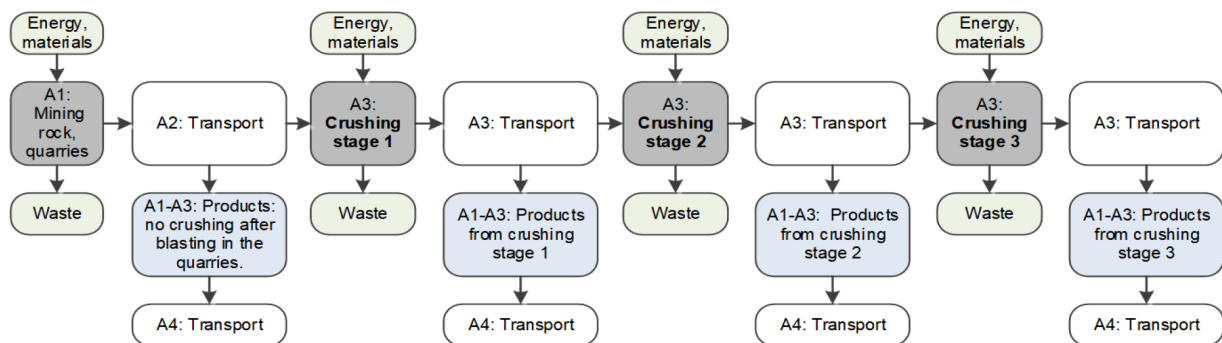
Op dit moment zijn er in de Belgische databank van milieuproductverklaringen (FOD Volksgezondheid, Veiligheid van de Voedselketen en Leefmilieu, s.d.) nog maar weinig EPD-fiches beschikbaar omtrent materialen relevant voor de wegenbouwsector.

Bij gebrek aan een EPD-fiche zou de steengroeve benaderende berekeningen kunnen maken door op jaarbasis het energieverbruik voor alle installaties en machines die instaan voor het breken, zeven en vermalen van rotsen te rapporteren, door te rekenen naar de emissies van equivalente hoeveelheden broeikasgassen en dit te delen door de jaaroutput van de minerale aggregaten.

Bij gebrek aan specifieke milieu-informatie voor een welbepaalde steenslagsoort kunnen generieke data worden gebruikt, zoals bijvoorbeeld vermeld in de ICE-databank (*Inventory of embodied carbon and energy*) van de universiteit van Bath (UK), die gegevens verzamelt over de broeikasgasintensiteit van bouwproducten (Hammond et al., 2011). De gegevens in deze databank zijn verzameld in het scenario van-wieg-tot-fabriekspoort. Het gaat om zogenaamde *embodied carbon*, de som van alle directe en indirecte koolstofemissies, van materiaalextractie (uit groeve of mijnbouw) tot afgewerkt product aan de poort van de fabriek. Deze ICE-database probeert de gegevens van heel veel bronnen in rekening te brengen en te verwerken tot een statistisch gemiddelde waarde, en geeft ook een score aan de betrouwbaarheid van die data, maar merkt ook op dat er vaak een grote spreiding in de individuele data per bron is, en dat indien mogelijk meer specifieke data moeten worden gebruikt.

In zijn meest recente versie geeft de ICE-databank (Circular Ecology, 2019) voor het materiaaltipe "aggregaten en zand" volgende waarde weer als statistisch gemiddelde waarde van alle steenslag en zand (*general, virgin aggregates, 89% land won and 11% marine won aggregate, bulk, loose*): 4,93 kg CO₂-eq. per ton. Er wordt daarbij opgemerkt dat dit gemiddelde waarden zijn met een grote spreiding in de individuele data, en dat indien mogelijk specifiekere data moeten worden gebruikt.

Specifiekere data kunnen bijvoorbeeld gevonden worden in EPD-declaraties van individuele producenten. Als voorbeeld vermelden we hier de milieu-informatie zoals beschikbaar in de EPD-fiche van twee Europese aggregaatproducenten, enerzijds een steengroeve uit Noorwegen waar het rotsmassief via explosieven wordt verbrijzeld en anderzijds een Italiaanse groeve waar zand en grind via baggeren worden gewonnen. Als derde voorbeeld bekijken we ook de sectorale EPD-fiche van de Belgische steengroeven van Fediex, die zeer recent is gepubliceerd.



Figuur A1.5 – Schema van inputs en outputs en producten (steenslag) per module in de steengroeve (bron: Franzefoss Pukk, 2018)

- In de nationale EPD-databank van Noorwegen (<http://www.epd-norge.no>) vinden we bijvoorbeeld de EPD-fiche van steenslag gewonnen in de groeve van de Noorse producent *Franzefoss Pukk AS* te Bondkall (Oslo), die daar een natuursteengroeve van het type syeniet exploiteert (een grofkristallijn stollingsgesteente uit de familie van graniet en basalt). De fiche documenteert de milieugegevens van de verschillende gebroken steenproducten van de groeve, opgesplitst als functie van het aantal stappen nodig in het breek- en zeefproces (figuur A1.5).

Deze fiche vermeldt een GWP-waarde van 3,40 kg CO₂-equivalent per ton steenslag bekomen na drie stappen in het breek- en zeefproces (bijvoorbeeld voor de aggregaatfracties 4/8, 8/11 of 8/16 die gebruikt worden in asfalttoepassingen) en een waarde van 2,79 kg CO₂-equivalent voor gebroken zand fractie 0/4 (waarvoor slechts twee stappen nodig zijn in het breek- en zeefproces).

De cijfers in de EPD hierboven gelden voor een van-wieg-tot-fabriekspoort benadering, van de groeve tot aan de poort van de steenslagfabriek (module A1 tot A3 volgens EN15804 [NBN, 2012+2019/2021]). De fiche merkt op dat de bijdrage van de explosieven om de rotsmassieven te doen ontploffen, niet meegerekend is.

Aanvullend geeft de EPD-fiche ook de milieu-informatie voor module A4, het transport van de steenslagproductieplaats tot aan de verwerkingsplaats (bijvoorbeeld bouwplaats, betoncentrale of asfaltmenginstallatie in de nabije stad). Dit aanvullend transport naar de klant is gemodelleerd voor een afstand van 12,5 km enkele rit, waarbij een vrachtwagen met motoremissie-efficiëntieklasse EURO 5 en laadvermogen categorie 16/32t een volledige belading (gemiddeld 13 ton steenslag) heenrijdt en leeg terugrijdt en daarbij 5 liter diesel verbruikt (overeenkomstig een specifiek verbruik van 0,031 liter per ton.km. De GWP-waarde die daaruit volgt bedraagt 1,57 kg CO₂-equivalent per ton.

Merk op dat dit bulktransport naar de bouwplaats een relatief belangrijke bijdrage levert aan het klimaatopwarmingspotentieel: extrapolatie naar een dubbel zo grote transportafstand van 25 km enkele rit zou overeenkomen met eenzelfde grootteorde als de bijdrage van de gehele exploitatie van de steengroeve en de verschillende bewerkingsstappen om te komen tot het product steenslagfractie.

- In de nationale EPD-databank van Italië (<http://www.epditaly.it>) vinden we de EPD-fiche van zand en grind gewonnen in de groeve van de Italiaanse producent *Gruppo Bassanetti* te Piacenza (Emilia-Romagna), die daar nabij de Po-rivier een natte groeve exploiteert van natuurlijk zand en grind. De fiche documenteert de milieugegevens van zowel zand als grind en dit voor acht gevallen, bepaald door het type granulaat en het soort verpakking (in bulk, in big bags voor 1500 kg of voor 25 kg in plastic zakken). We onthouden een GWP-waarde van 2,67 kg CO₂-eq. per ton nat zand of grind, in bulk (Gruppo Bassanetti, 2020).
- Betreffende de productie van steenslag vertrekkende van massieve rotsen en representatief voor de Franse markt geeft de milieu-informatiefiche (EPD) opgesteld door de Franse unie van granulaatproducenten (www.UNPG.fr) een GWP-waarde van 2,6 kg CO₂-eq per ton steenslag (module A1: *du berceau à la sortie de l'usine*). Er wordt geen verdere detaillering vermeld per kaliber van de geproduceerde granulaten. De input qua type rotsen bestaat gemiddeld uit 50 % eruptieve gesteenten, 30 % uit metamorfe gesteenten en voor 20 % uit kalksteengesteente (Union Nationale des Producteurs de Granulats [UNPG], 2017c).
- Betreffende de productie van granulaten van het type grind en zand representatief voor de Franse markt vertrekkende van niet-massieve rotsen (*roches meubles*, sedimentgesteenten van diverse oorsprong: marien, fluviatiel, fluvio-glaciaal, eolisch, enz.), geeft de milieu-informatiefiche

► Duurzaamheidsevaluatie van asfaltmengsels

(EPD) opgesteld door de Franse unie van granulaatproducenten een GWP-waarde van 2,75 kg CO₂-eq per ton granulaat (module A1: *du berceau à la sortie de l'usine*). Er wordt geen verdere detaillering vermeld per kaliber van het geproduceerde grind of zand. De input qua type rotsen of gesteente bestaat per ton granulaten gemiddeld uit 984 kg silicieuze rotsen of zanden en uit 115 kg alluvionaire gesteenten (UNPG, 2017d).

Uit bovenstaande voorbeelden blijkt duidelijk dat er wel wat spreiding zit in de cijfers van de verschillende bronnen, en dat de specifieke data uit de recente EPD-fiches over het algemeen iets gunstiger zijn dan de generieke data uit bijvoorbeeld de ICE-databank.

- In de Belgische databank voor EPD-informatie (<http://www.b-epd.be>) was er tot eind 2021 geen informatie beschikbaar aangaande aggregaten van Belgische producenten van steenslag of zand. Begin 2022 heeft Fediex (Belgisch Verbond van Ontginningsbedrijven) een EPD-fiche in de Belgische databank geplaatst die betrekking heeft op een mix van Belgische kalksteen-, zandsteen- en porfieraggregaten (Belgisch Verbond van Ontginningsbedrijven [FEDIEX], 2022). Zoals gebruikelijk in de Belgische EPD-regels moeten minstens de informatiemodules A1 tot en met A4 worden gedeclareerd, dit is dus van-wieg-tot-fabriekspoort (A1-A3) aangevuld met een standaardtransportscenario (A4). In deze EPD wordt als resultaat voor de milieu-impactcategorie GWP (totaal) een cijfer gegeven van 4,35 kg CO₂-eq. per ton voor het totale productieproces (waarbij modules A1 en A2 feitelijk geïntegreerd zijn in A3). Het gaat hier om een sectorgemiddeld resultaat (op basis van 20 leden van Fediex, overeenkomend met 58 % van de productie van alle Fediex-leden in 2019), voor een mix van Belgische kalksteen-, zandsteen- en porfieraggregaten, in verschillende kalibers, gewassen en ongewassen. De onderlinge verhouding van de steenslagsoorten is niet letterlijk vermeld in de EPD, maar uit de begeleidende informatie in de databankfiche blijkt dat het gaat om (op massabasis) gemiddeld ongeveer 77 % kalksteen, 4 % zandsteen en 19 % porfier als brongesteentetypes. Toch nog opmerkelijk: voor wat betreft module A4 (het transport van de aggregaten in bulkvorm volgens een Belgisch standaardscenario) vermeldt deze EPD-fiche een waarde voor het klimaatopwarmingspotentieel van 16,3 kg CO₂-eq. per ton aggregaten. Deze waarde is 3,75 keer wat wordt aangerekend voor het ontginnen/producieren zelf van deze aggregaten. Dat impliceert ook dat het logischer is om verbeterpotentieel te zoeken in het transport dan in de grondstoffenwinning zelf.

Auteur (jaar)	Geografische reikwijdte	Type aggregaat (evt. mix)			
		steenslag	breekzand	rond zand/ grind	vulstof
(Hammond et al., 2011)	Europa (UK)	4,93			32
(UNPG, 2017a-d)	Frankrijk	2,6 en 2,75			-
(Franzefoss Pukk, 2018)	individuele groeve in Noorwegen	3,40	2,79	-	-
(Gruppo Bassanetti, 2020)	individuele groeve in Italië	-	-	2,67	-
(FEDIEX, 2022)	België	4,35			-
Selectie voor deze studie		4,35	3	3	32

Tabel A1.2 – Emissiefactor voor aggregaten uit diverse bronnen (GWP, in kg CO₂-eq. per ton aggregaat)

Uit de hierboven besproken EPD-fiches voor aggregaten in Europa blijkt dus wel enige variabiliteit, maar al bij al is dit eerder beperkt, zoals samengevat in tabel A1.2.

Wij rekenen verder met een waarde van 4,35 kg CO₂-eq voor de steenslagfracties en 3 kg CO₂-eq voor de zandfracties.

Voor fabrieksvulstof (ook “aanvoervulstof” geheten) is enkel de waarde voor de CO₂-emissiefactor voor kalksteenmeel (*ground limestone* in de rubriek “*miscellaneous*”; gegevens uit versie 2.0 van 2011) beschikbaar in de ICE van Bath University: 32 kg CO₂ per ton kalksteenmeel. ICE geeft geen verdere details van de berekening, en maakt de opmerking dat het enkel CO₂ als broeikasgas betreft, dus geen CO₂-eq. (Hammond et al., 2011).

A1.2.3 Asfaltgranulaat

Betreffende het asfaltgranulaat dat als grondstof wordt verwerkt voor de productie van nieuw asfalt –hergebruik van zowel de minerale componenten (steenslagfracties, zand en vulstof) als van het bitumineuze bindmiddel – wordt soms de redenering gevolgd dat hiervoor geen emissiefactor moet worden aangerekend, omdat die emissies behoren tot de levenscyclus van het vorige product (met name de verwerking aan het einde van de levensduur van de oorspronkelijke asfaltweg, zie module C3). Dat zou zo zijn als van die asfaltweg een volledige LCA wordt bepaald, van wieg-tot-graf of van wieg-tot-wedergeboorte.

In vele oefeningen, en zo ook hier, wordt enkel een beperkte analyse gedaan, bijvoorbeeld van-wieg-tot-fabriekspoort. In dat geval is het wel belangrijk om de winning van asfaltgranulaat te beschouwen zoals het geval is met de winning van andere aggregaten.

De Franse unie van granulaatproducenten heeft bijvoorbeeld een milieu-informatiefiche (EPD) opgesteld voor de productie van recyclinggranulaten, verkregen door de behandeling (sorteren, breken en zeven) van bouw- en slooppuin. Hierbij wordt expliciet gesteld dat deze activiteiten eigenlijk in twee delen kunnen worden opgesplitst (en daarom in twee complementaire fiches worden gepubliceerd) (UNPG, 2017a-b). Enerzijds een deel dat behoort tot het vorige leven (afvalbehandeling van het gebouw of de constructie die wordt gesloopt; dit is eigenlijk informatiemodule C3 in het onderdeel eindelevensduur; *du sortie de l'usine à la tombe*) en anderzijds een deel dat toegerekend kan worden aan het nieuwe leven (productie van recyclinggranulaten uitgaande van bouw- en slooppuin; deze valt dan binnen de module A1; *du berceau à la sortie de l'usine*).

De cijfers voor de emissiefactor voor klimaatopwarming (GWP) voor de productie van 1 ton recyclinggranulaten uitgaande van bouw- en slooppuin, representatief voor de Franse markt, vermeldt een waarde van 1,5 kg CO₂-eq voor de module A1 en een waarde van 1,3 kg CO₂-eq voor module C3 (UNPG, 2017b). De UNPG merkt op dat door in de gecombineerde waarde van 2,79 kg CO₂-equivalent per ton recyclinggranulaat het deel van module C3 af te splitsen (omdat deze eigenlijk toebehoort aan de eindelevensduurfase van de vorige constructie), en enkel te rekenen met de 1,5 kg CO₂-eq voor de module A1, recyclinggranulaten zo een lagere GWP-waarde krijgen dan diegene die geldt voor de productie van granulaten van primaire / natuurlijke oorsprong, wat gunstig is in het kader van de promotie van de circulaire economie.

We gaan ervan uit dat deze gereduceerde waarde van 1,5 kg CO₂-eq per ton als gemiddelde voor alle soorten recyclinggranulaten ook valabel is voor de bijzondere soort die ons hier interesseert, namelijk asfaltgranulaat. Deze waarde geldt dus enkel voor de activiteiten van het breken en zeven

► Duurzaamheidsevaluatie van asfaltmengsels

van asfaltpuin tot asfaltgranulaat (module A1-A3), en dus niet voor de activiteiten van slopen (af-frezen) en afvoer naar de puinbewerkingsinstallatie (zaken die behoren tot modules C1 – C3 in de eindelevensfase van de oude asfaltweg).

A1.2.4 Additieven (andere dan verjongingsmiddelen)

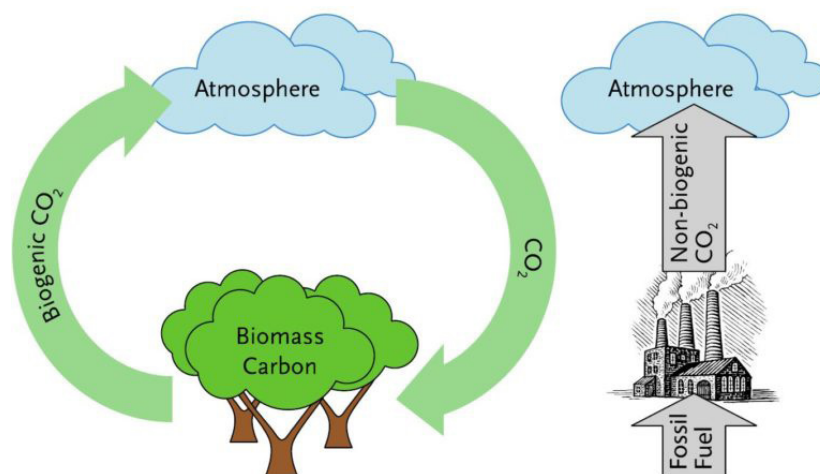
Geen informatie; niet aanwezig in ons referentiemengsel noch in de alternatieven.

A1.2.5 Verjongingsmiddelen

In de literatuur is weinig data beschikbaar over de 'Life Cycle Inventaris' (LCI) van verjongingsmiddelen. We gebruiken hier verder de gegevens van de milieu-informatiefiche van één van de verjongingsmiddelen aangewend in dit project. Volgens de producent is dit product geschikt voor gebruik bij hoge AG-recyclingpercentages, of bij hergebruik van een verouderd hard bitumen.

De LCI-fiche geeft als resultaat voor de GWP een waarde van $-1,22 \text{ kg CO}_2\text{-eq}$ per kg product, wat we om beter vergelijkbaar te zijn met de andere emissiefactoren ook kunnen schrijven als $-1\,220 \text{ kg CO}_2\text{-eq}$ per ton verjongingsmiddel (KRATON Corporation, 2018 via University of Antwerp, EMIB & OCW, 2021).

Dat is inderdaad een (zeer groot) negatief getal, omdat het verjongingsmiddel voor een belangrijk deel bestaat uit een olie van plantaardige herkomst (*bio-based*): CTO (*crude tall oil*) afkomstig als afval of bijproduct uit een verwerkingsproces van pijnbomen voor de productie van cellulosevezels voor papier (pulp). De juiste samenstelling van het verjongingsmiddel wordt in de fiche niet onthuld wegens bedrijfsgeheim; wel dat het als polyolester een combinatie is van twee componenten waarvan een door een externe partner wordt aangeleverd en de andere door de fabrikant zelf wordt geproduceerd vanuit CTO). Tijdens hun natuurlijke groei onttrekken (daarom wordt dit ingerekend als een negatief getal) de bomen CO_2 uit de atmosfeer en slaan die koolstof op in de houtstructuur; deze CO_2 wordt biogene CO_2 genoemd (figuur A1-6).



Figuur A1.6 – Schematische voorstelling van biogene CO_2 -cyclus (IEA Bioenergy, 2022)

Specifiek voor producten van plantaardige oorsprong is de biogene CO₂ van groot belang, vooral omdat het gaat om een negatieve emissie (een zogenaamde *removal*). De rekenregels voor de koolstofintensiteit (cf. EN 17472 [CEN, 2022]) houden uitdrukkelijk rekening met biogene CO₂, en bepalen dat voor het klimaatveranderingspotentieel GWP een totaalwaarde wordt bepaald rekening houdend met de broeikasgassen (BKG) afkomstig van alle bronnen: fossiele koolstofbronnen, biogene bronnen, van landgebruik of van de transformaties van landgebruik. Dit zowel voor emissies als voor verwijderingen (*removal*) zoals door planten opgenomen tijdens hun groeifase.

Het productieproces van dit *bio-based* product genereert natuurlijk ook broeikasgassen, door energieverbruik in het proces van de opwerking, chemische modificatie (vb. verestering) en alle transportactiviteiten, maar deze blijven (alvast bij een van-wieg-tot-fabriekspoortbenadering) netto lager dan de grote negatieve waarde veroorzaakt door de CO₂-absorptie tijdens de plantengroeifase. Deze vaststelling kan wellicht worden uitgebreid naar tal van *bio-based* verjongingsmiddelen, in tegenstelling tot additieven op basis van aardoliefracties.

ICE merkt voor de categorie van houtproducten op dat op het vlak van *carbon storage* veel EPD-declaraties inderdaad deze koolstofopname inrekenen, en dus aan een negatief cijfer komen, maar dat dit enkel relevant is voor *sustainable sourced timber*, dus enkel voor hout afkomstig van bossen waarvan de gerooide bomen opnieuw worden aangeplant met jonge plantjes. Zo niet, dan is een EPD die enkel van-wieg-tot-fabriekspoort is niet correct, ze moet dan van-wieg-tot-wedergeboorte zijn, waarbij het van vitaal belang is dat de eindelevensduurfase (module C) wordt meegenomen in de berekeningen. Dit laatste heeft veelal tot gevolg dat het negatieve cijfer (van de CO₂-opname) wordt bijgesteld tot een positief cijfer (van CO₂-emissie). Ter info: het statistisch gemiddelde van alle 211 gegevenspunten omtrent houtproducten in de ICE-databank geeft een van-wieg-tot-fabriekspoortwaarde van -1,03 kg CO₂-eq per kg houtproduct (inclusief koolstofopname), waarvan 0,493 kg CO₂-eq voor de reguliere emissie (exclusief koolstofopname) en -1,52 kg CO₂-eq koolstofopname (Hammond et al., 2011).

Volgens de publicaties ERG, Franklin Associates, 2013 en Cashman et al., 2016 van de Amerikaanse federatie van verwerkers van pijnboomproducten is de broeikasgasemissie van de gemiddelde raffinageproductmix van CTO (*crude tall oil*) in een van-wieg-tot-fabriekspoort-analyse (van het beheer van de mature pijnboombossen tot net na de verwerking van de CTO in de bioraffinaderij) globaal genomen gelijk aan 1 171 kg CO₂-eq. per ton CTO-distillatieproduct, berekend als het gewogen gemiddelde van de Amerikaanse (met 1 466 kg CO₂-eq. per ton) en de Europese (met 740 kg CO₂-eq. per ton) ketens van pijnboomolieverwerking.

Hierbij wordt uitdrukkelijk geen koolstofopslag in de opgroeiende bomen en zo in alle afgeleide producten mee ingerekend, om beter vergelijkbaar te zijn met de alternatieve producten en biodiesel (zoals het doel van die studie was). In dit totaalcijfer is een grote bijdrage van CO₂-emissies afkomstig van het verpulpingsproces (van boomstam tot *kraft* houtpulp), evenals van het distillatieproces en de bosbouwactiviteiten om de pijnbomen te kweken en oogsten.

De grote verschillen tussen de Europese en Amerikaanse productieketens liggen vooral in het feit dat de Europese fabrieken (verpulping en bioraffinaderij) wél voor een belangrijk deel steunen op kringloopprocessen (waarbij houtafval en tussen- en eindproducten van de bioraffinaderij worden gebruikt als biobrandstof voor energielevering voor de andere processen) en de Amerikaanse niet. Omdat deze energiedragers uit biomassa komen waarvoor dan een nulwaarde voor de CO₂-emissie wordt ingerekend bij verbranding, verlagen ze de koolstofintensiteit in vergelijking met de (Amerikaanse) procesketen waar de brandstoffen koolstofintensiever zijn.

► Duurzaamheidsevaluatie van asfaltmengsels

Verdere processtappen om van de CTO-distillatieproducten (zoals *tall oil fatty acid*, *tall oil rosin*, *distilled tall oil*, *pitch*) te komen tot onder andere het verjongingsmiddel dat ons hier interesseert, brengt uiteraard nog extra broeikasgassen voort, dus dit cijfer van 740 kg CO₂-eq. per ton product voor de Europese keten van CTO is zeker een ondergrens indien we ze zouden beschouwen als indicatiewaarde voor het verjongingsmiddel, met exclusie van de biogene koolstofopname. Zoals reeds hoger beschreven zullen we in de verdere berekening toch rekening houden met de biogene CO₂-absorptie en dus met het negatieve cijfer van -1 220 kg CO₂-eq. per ton) voor de BKG-emissie.

A1.2.6 overzicht

De verzameling van alle eenheidsemissiefactoren voor de milieu-indicator “klimaatveranderingspotentieel” (GWP) wordt samengevat in tabel A1.3. Voor de andere parameters (van luchtverontreiniging) geeft tabel A1.4 een overzicht van de relevante emissiefactoren en hun bronnen.

	Steenslag	Zand (gebroken)	Zand (ongebroken)	Vulstof	AG	Bitumen	Verjongingsmiddel
Emissiefactor (GWP) (kg CO ₂ -eq/ton)	4,35	3	3	32	1,5	208	-1 220

Tabel A1.3 – Eenheidsemissiefactoren voor parameter GWP (klimaatverandering, partim module A1)

Uit deze gegevens blijkt duidelijk dat per massa-eenheid vooral het verjongingsmiddel (negatieve waarde want *bio-based*) en het bitumen, en in mindere mate de vulstof, fors hogere emissiefactoren hebben in vergelijking met de aggregaten (zand en steenslag scoren vergelijkbare emissiefactoren). Dit betekent dat de parameter bitumen een belangrijkere rol speelt in de BKG-voetafdruk dan de minerale bestanddelen, en dat daarop vooral moet worden ingezet om tot een duurzamer asfaltmengsel te komen.

A1.3 Emissiefactoren voor luchtverontreinigingsparameters

Belangrijke indicatoren voor het luchtverontreinigingsprobleem zijn de aantasting van de troposferische ozonlaag (*Ozon Depleting Potential of ODP*), vorming van fotochemische smog in de lagere luchtlagen (*Photochemical Ozone formation Potential of POP*) en de emissie van verzurende gassen, vooral zwaveldioxides (*atmospheric Acidification Potential of AP*). In vele EPD's wordt ook de “vermesting” of eutroficatie (*Eutrofication Potential of EP*) als milieu-indicator gerapporteerd. Hoewel deze vervuiling in de eerste plaats ontstaat via emissies naar de lucht van gasvormige elementen (hoofdzakelijk fosfaten en stikstofoxiden), heeft ze vooral een impact op het waterige milieu (vervuiling van oppervlaktewater, wat leidt tot overmatige algengroei en verlies van zuurstofconcentraties – nodig voor het waterleven) en minder op het milieucompartiment “lucht”.

Tabel A1.4 geeft een overzicht van de voor luchtverontreiniging relevante emissiefactoren en hun bronnen.

Bij het overzicht van deze emissiefactoren (voor enkele parameters luchtverontreiniging, per ton materiaal, tabel A1.4) hoort de opmerking dat de EuroBitume LCI inventarisatiestudie uit 2020 (Ducreux et al., 2020) geen resultaat vermeldt voor de impactcategorie “vermesting” (*eutrofication*), en voor de indicatoren “verzuring” en “smogvorming” andere referentie-eenheden gebruikt, die niet vergelijkbaar zijn met de EPD-gegevens uit de andere bronnen. N.v.d.r.: Na het afwerken van deze publicatie heeft EuroBitume eind oktober 2022 een update gepubliceerd in een supplement (Eurobitume, 2022) aan de studie van 2020; dat nieuwe document bevat nu wel alle milieu-impactindicatoren van EN 15804+A2 (NBN, 2012+2019/2021). We werken daarom verder met de gegevens uit de Amerikaanse studie van AI voor deze vier indicatoren van milieu-impacts.

Bron van de gegevens ►	(FEDIEX, 2022)	(UNPG, 2017c)	(Gruppo Bassanetti, 2020)	(UNPG, 2017b)	(Wildnauer et al., 2019)	(Ducreux et al., 2020)	(Kraton Corporation, 2018)
Emissiefactoren (eenheid, per ton materiaal)	steenslag en zand	steenslag	ongebroken zand	AG	bitumen	bitumen	verjongingsmiddel
Verzuring (kg SO ₂ -eq.)	- (0,0318 mol H+ equiv.)	0,0147	0,0199	0,0096	1,64	- (2,18 mol H+-eq.)	5,84
Smogvorming (kg etheen-eq.)	- (0,0331 kg NMVOC equiv.)	0,00071	0,00056	0,00005	0,424	- (1.790 kg NMVOC-eq.)	2,73
Vermesting (kg fosfaat-eq.)	- (EP-marine, 0,011 kg N-equiv.)	0,00308	0,00509	0,00206	0,585	-	1,00
Ozonlaag-aantasting (kg CFC-11-eq.)	7,07E-07	5,83E-07	3,31E-07	2,70E-07	2,55E-08	1,75E-05	6,98E-08

Tabel A1.4 – Emissiefactoren voor luchtverontreiniging, per asfaltgrondstof, zoals gebruikt in deze studie

In deze tabel valt het op dat de emissie-eenheidsfactoren voor verzuring, smogvorming en vermesting vanwege zowel bitumen als verjongingsmiddel weer dominant zijn, want veel groter dan de overeenkomstige factoren voor de minerale bestanddelen van asfalt. Enkel voor de parameter “ozonlaagaantasting” is de emissiefactor vanwege het verjongingsmiddel een factor 4 tot 8 kleiner dan deze van de minerale bestanddelen.

De emissiefactor vanwege bitumen is voor deze parameter dan weer sterk verschillend tussen de twee gegevensbronnen: de Amerikanen (Wildnauer et al., 2019) geven een factor 6 tot 10 keer kleinere emissiefactor op (ten opzichte van de mineralen) terwijl volgens EuroBitume (Ducreux et al., 2020) die een waarde krijgt die 30 tot 60 keer belangrijker is dan deze van de minerale bestanddelen.

Verder is het interessant eens te kijken naar het verschil in de eenheidsemissiefactoren van enerzijds bitumen en anderzijds verjongingsmiddel: telkens is de eenheidsfactor (dus per kg van het materiaal) voor het verjongingsmiddel enkele malen groter dan de waarde voor bitumen, wat een indicatie is dat het verjongingsmiddel (zelfs een bio-based product op basis van een plantaardige grondstof zoals in ons voorbeeld) schadelijker is voor het leefmilieu dan een aardolie derivaat zoals bitumen.

► Duurzaamheidsevaluatie van asfaltmengsels

► Bijlage 2

Overzicht van milieu-impactcategorieën volgens EN 15804 (NBN, 2012+2019/2021)

MILIEU- IMPACTCATEGORIE 	INDICATOR 	EENHEID 
Uitputting van abiotische grondstoffen, ex fossiele energiedragers	ADP-elementen	kg antimoon
Uitputting van fossiele energiedragers	ADP-brandstof ⁷	kg antimoon
Klimaatverandering	GWP-100j	kg CO ₂
Ozonlaagaantasting	ODP	kg CFC 11
Fotochemische oxidantvorming	POCP	kg etheen
Verzuring	EP	kg SO ₂
Vermesting	AP	kg (PO ₄) ³⁻
Humaan-toxicologische effecten	HTP	kg 1,4 dichloorbenzeen
Ecotoxicologische effecten, aquatisch (zoetwater)	FAETP	kg 1,4 dichloorbenzeen
Ecotoxicologische effecten, aquatisch (zeewater)	MAETP	kg 1,4 dichloorbenzeen
Ecotoxicologische effecten, terrestrisch	TETP	kg 1,4 dichloorbenzeen

MILIEU- IMPACTCATEGORIE 	INDICATOR 	EENHEID 
Klimaatverandering - totaal	GWP-totaal	kg CO ₂ -eq
Klimaatverandering - fossiel	GWP-fossiel	kg CO ₂ -eq
Klimaatverandering - biogeen	GWP-biogeen	kg CO ₂ -eq
Klimaatverandering - landgebruik en verandering in landgebruik	GWP-luluc	kg CO ₂ -eq
Ozonlaagaantasting	ODP	kg CFC ₁₁ -eq
Verzuring	AP	mol H ⁺ -eq
Vermesting zoetwater	EP-zoetwater	kg PO ₄ -eq
Vermesting zeewater	EP-zeewater	kg N-eq
Vermesting land	EP-land	mol N-eq
Smogvorming	POCP	kg NMVOC-eq
Uitputting van abiotische grondstoffen mineralen en metalen	ADP-mineralen & metalen	kg Sb-eq
Uitputting van abiotische grondstoffen fossiele brandstoffen	ADP-fossiel	MJ, net cal. val.
Watergebruik	WDP	m ³ world eq. deprived
Fijnstof emissie	Ziekte door PM	Ziekte-incidentie
Ioniserende straling	Humane blootstelling	kBq U235-eq
Ecotoxiciteit (zoetwater)	CTU ecosysteem	CTUe
Humane toxiciteit, carcinogeen	CTU humaan	CTUe
Humane toxiciteit, non-carcinogeen	CTU humaan	CTUh
Landgebruik gerelateerde impact/ bodemkwaliteit	Bodemkwaliteits Index	Dimensieloos

Figuur A2.1 – Overgang van de oude (bovenaan in de figuur) naar de nieuwe set van milieu-impactcategorieën (De bepalingmethode, 2021)



► Duurzaamheidsevaluatie van asfaltmengsels

► Bijlage 3

Energieverbruik en gerelateerde broeikasgasemissies op de asfaltmenginstallatie

Informatiemodule A3 in de levenscyclus heeft betrekking op de activiteiten in de asfaltmenginstallatie zelf, namelijk de productie van de asfaltmengsels vertrekkende van de minerale grondstoffen, bitumen en (mogelijks) additieven. In het bijzonder wordt in deze module 3 de GWP-score (BKG-emissies in massa CO₂-equivalenten) berekend die rechtstreeks gepaard gaat met het energieverbruik van de machines en de diverse onderdelen van de installaties.

Dat betreft vooral het aardgas- of stookolieverbruik voor de droogtrommel (drogen en verhitten van de stenen en het zand), de elektriciteit nodig bij de verwarming van bitumen en de elektrische motoren van de centrale (zoals menger, transportbanden, ventilatoren en pompen, weegtoestellen, enz.) en de diesel voor de laadschopmotor. We houden dus geen rekening met de BKG-emissies in ruimere zin die verbonden zijn met de infrastructuur en kapitaalgoederen (bouw en onderhoud van de centrale zelf of vervangonderdelen).

Als bron van primaire cijfers verwijzen we naar de publicatie van de asfaltmenginstallatie van Ascoville (*joint venture* van de firma's Aswebo/Willemen en Colas) te Villers-le-Bouillet, een van de weinige asfaltmenginstallaties in België die gecertificeerd zijn volgens het EMAS-milieubeheerssysteem, wat hen verplicht periodiek en openbaar te communiceren over de vorderingen in hun milieuprestaties. Zulke gegevens worden soms als vertrouwelijke bedrijfsgegevens beschouwd waardoor er weinig openbaarheid aan wordt gegeven. In zijn verklaring dd. mei 2020 over het werkjaar 2019 meldt Aswebo dat de CO₂-emissie gemiddeld 0,017 ton (dus 17 kg) CO₂ per ton asfalt bedraagt (ASCOVIL, 2020).

Omdat het hier gaat om gegevens van een primaire bron, zijn deze zeer representatief voor de betrokken asfaltmenginstallatie zelf. Andere asfaltproductiecentrales kunnen evenwel (meer of minder) afwijkende cijfers laten optekenen, deze zijn immers afhankelijk van de lokale organisatie van het bedrijf zoals type brandstof, energie-efficiëntie van de installatie, gebruik van opslagplaatsen onder dak, moderniteit van de volledige installatie en van de bedrijfsvoertuigen, enz.

De cijfers die de asfaltproducent geeft zijn gemiddelden over de volledige asfaltproductie van het betrokken jaar, dus zowel voor topplagmengsels als voor onderlaagmengsels, zowel met als zonder recycling. Het gaat daarbij in dit geval over een jaarproductie van 225 498 ton asfalt op jaarbasis, verdeeld over 38 % mengsels voor toplagen (zonder recycling van AG en met een gemiddeld bitumenpercentage van 6,3 %), en 62 % mengsels voor onderlagen (60 % zijn mengsels met recycling à rato van ca. 50 % AG en toevoeging van 2 à 2,5 % nieuw bitumen, en 2 % zijn onderlaagmengsels zonder AG en met gemiddeld 4,4 % bitumentoevoeging). De publicatie meldt een totale CO₂-emissie van 3 801 ton CO₂ in 2019. Omgerekend per ton asfalt (bij een jaarproductie van 225 498 ton asfalt) zou dat neerkomen op een specifieke CO₂-emissie van de asfaltmenginstallatie van 16,9 kg CO₂ per ton asfalt.

Er worden geen details inzake emissiefactoren beschreven, maar de publicatie detailleert wel de volgende gegevens over het gas-, elektriciteits- en diesilverbruik:

- De brander voor de droogtrommel(s) voor de droging en opwarming van de mineralen (en het AG) is de grootste energieverbruiker op een asfaltmenginstallatie. In dit geval gaat het om een brander die gevoed wordt met aardgas als brandstof, wat vanuit emissie-oogpunt de beste keuze is van alle fossiele brandstoffen en te verkiezen boven stookolie of bruinkoolstof als brandstof (Leysens et al., 2013). Ook elementen zoals het voldoende geïsoleerd zijn van de droogtrommel, beperking van het watergehalte door opslag van aggregaten en AG onder afdak, continu productieritme in de plaats van vele stops/starts, bepalen mee de (energie-)efficiëntie van de asfaltproductie. Het gasverbruik bedroeg 1,82 miljoen Nm³, met een gecumuleerde energiewaarde van 20 845 MWh, overeenkomend met een specifiek energieverbruik per ton asfalt van 7,13 Nm³ per ton asfalt of 92 kWh per ton asfalt.
- Het elektriciteitsverbruik voor de diverse elektromotoren, de controlekamer en het lab bedroeg 1 275 MWh, wat neerkomt op 5,66 kWh per ton asfalt (er is geen zelfproductie van elektriciteit door een windmolen).
- Het diesilverbruik van de laadschoppen bedroeg in 2019 41 715 liter, wat neerkomt op een specifiek verbruik van 0,185 liter diesel per ton asfalt.

Maken we op basis van de emissiefactoren van de website www.CO2emissiefactoren.be (Energied & CO2logic, s.d.) (die ruimer berekend zijn want niet enkel *tank-to-wheel* maar ook *well-to-tank*, dus inclusief de broeikasgassen die ontstaan bij de ontginning, bewerking en transport van de energiedrager) zelf een berekening, dan bekomen we de resultaten zoals weergegeven in tabel A3.1.

Qua elektriciteit is hier gerekend met de emissiefactor voor zogenaamde “grijze” stroom, die voor België anno 2021 gemiddeld bestaat uit 53 % nucleaire productie en 47 % aardgasgestookte elektriciteitsproductie. Een verbeteringspotentieel voor de sector ligt hier in het inschakelen van meer elektriciteitsproductie gebaseerd op hernieuwbare energiebronnen zoals wind- en zonne-energie, die een veel lagere emissiefactor hebben dan de fossiele bronnen.

Energiedrager ►	Aardgas	Elektriciteit	Diesel	Totaal
Eenheid	kWh	kWh	liter	
Energieverbruik (eenheden)	20 845 000	1 275 357	41 475	
Emissiefactor (kg CO ₂ -eq. per eenheid)	0,244	0,205	3,25	
Totaal berekende emissie (kg CO ₂ -eq.)	5 074 096	261 448	134 794	5 399 ton CO ₂ -eq.
Ton asfalt op jaarbasis				225 498
Specifieke emissie (kg CO ₂ -eq. per ton asfalt)	22,5	1,16	0,60	24,3

Tabel A3.1 – Voorbeeldberekening van specifieke BKG-emissies voor een bestaande asfaltmenginstallatie in België (naar ASCOVIL, 2020)

► Duurzaamheidsevaluatie van asfaltmengsels

De berekening in tabel A3.1, met de emissiefactoren volgens de hogervermelde website en toegepast op de voorbeeldcentrale, geeft duidelijk een hogere totale BKG-emissie dan vermeld in de publicatie, namelijk een specifieke emissie van 24,3 kg CO₂-eq. per geproduceerde jaargemiddelde ton asfalt in plaats van 16,9 kg als vermeld.

We werken verder met deze berekende waarde, en proberen deze nu verder te verduidelijken naar een eventuele invloed van wel of niet recyclen van AG.

Is er een verschil in energiebehoefte (en dus bijbehorende emissies) bij de productie voor een mengsel enerzijds zonder AG en anderzijds een mengsel mét AG (en eventueel verjongingsmiddel), en zo ja, hoeveel bedraagt dat verschil dan?

Dat is moeilijk te berekenen en er zijn weinig bronnen uit de literatuur beschikbaar. Veronderstellen we voor de eenvoud dat we het antwoord al kennen: door het feit dat er twee droogtrommels zijn (een voor de "witte" materialen en een voor het AG) die elk een bepaalde warmteverliesfactor veroorzaken, en dat bij recycling de oververhitting van de witte mineralen die nodig is om de thermische balans te bereiken ook een bepaalde energie-inefficiëntie inhoudt, is er qua energiebehoefte een nadeel in het geval van recycling. We schatten dit nadeel als volgt in: het energieverbruik en bijbehorende CO₂-emissie ligt 10 % hoger voor recycling bij een zeer hoge recyclingratio van 50 % AG, en er is een verschil van 4 à 5 % in het nadeel van recycling bij een gematigde recyclingratio van 20 % AG. Op het vlak van elektriciteitsverbruik kan er daarentegen een besparing zijn in het geval van recycling, omdat er minder nieuw bitumen nodig is en er dus een besparing is in elektriciteitsverbruik om die kleinere hoeveelheid bitumen op temperatuur te houden in de bitumenstockagetanks.

Deze inschatting inzake energieverval wordt bevestigd door de gegevens in de Nederlandse studie die aan de basis ligt van hun nationale PCR-rapport. Publicatie (Schwarz et al., 2020) maakt een inschatting van het energieverbruik voor de productie van asfalt (levenscyclusmodule A3) voor de gemiddelde situatie in Nederland, en dit voor 19 verschillende types asfaltmengsels (tabel A3.2).

Tabel 5: Energieverbruik per ton asfaltmengsel

	Asfaltmengsel	Aardgas (m³)	Elektriciteit (kWh)	Diesel (liter)
1	AC surf 0% PR	8,81	6,61	0,12
2	AC surf 30%PR	9,18	5,92	0,12
3	AC surf G.M. 0%PR	8,81	6,61	0,12
4	AC surf G.M. 30%PR	9,18	5,92	0,12
5	AC bin/base 50% PR	9,26	4,40	0,12
6	AC bin/base 50% PR met gemodificeerd bitumen	9,26	4,40	0,12
7	ZOAB Regulier	7,48	5,86	0,12
8	DZOAB	7,43	6,26	0,12
9	DZOAB 30% PR	8,00	5,64	0,12

10	2L-ZOAB toplaag G.M.	7,50	6,26	0,12
11	2L-ZOAB onderlaag	7,40	5,57	0,12
12	2L-ZOAB onderlaag 30% PR	7,99	5,30	0,12
13	SMA 8-11	8,04	7,08	0,12
14	SMA 5	7,37	7,42	0,12
15	SMA G.R.	7,53	7,06	0,12
16	Asfaltbeton, WB	8,75	6,79	0,12
17	Open Steenasfalt, WB	8,82	4,93	0,12
18	Gietasfalt, WB	8,42	9,06	0,12
19	Asfaltmestiek, WB	7,88	12,14	0,12

Tabel A3.2 – Gemiddeld energieverbruik per ton asfalt voor negentien mengseltypes in de Nederlandse asfaltmenginstallaties (Schwarz et al., 2020)

Hieruit blijkt dat het al of niet toepassen van recycling van AG de energiebehoefte bij de productie van asfalt beïnvloedt: bij het specifiek energieverbruik per ton asfalt tussen enerzijds de mengsels zonder recycling van AG en anderzijds de vergelijkbare mengsels mét AG is er steeds een vermeerdering qua aardgasverbruik en tegelijk een vermindering qua elektriciteitsverbruik voor de mengsels mét ten opzichte van zonder recycling.

De verschillen voor gasverbruik bedragen gemiddeld + 6 %, namelijk +4,2 % tussen mengseltypes 1 en 2 en 3 en 4, + 7,7 % tussen mengseltypes 8 en 9, en + 8,0 % tussen mengseltypes 11 en 12, waarbij telkens 30 % AG of geen AG wordt gebruikt (een extrapolatie naar 50 % recycling van AG zou dan neerkomen op ongeveer + 10 % gas). Voor elektriciteitsverbruik gaat het om een besparing van de grootteorde van - 9 %, namelijk gemiddeld - 11,4 % tussen mengseltypes 1 en 2 en 3 en 4, - 10,0 % tussen mengseltypes 8 en 9, en - 4,8 % tussen mengseltypes 11 en 12 (voor een recyclingratio van 30 % AG; een extrapolatie naar 50 % recycling zou dan neerkomen op ongeveer minus 16 % elektriciteit). We gaan ervan uit dat deze verschillen lineair kunnen worden opgeschaald naar hogere recyclingratio's (zoals in ons geval hier tot 50 % AG). Voor het dieselverbruik wordt er geen verschil in rekening genomen.

Gezien de warmte-energie veel belangrijker is dan de elektriciteitsbehoefte en het dieselverbruik (zie tabel 3.1) is het nadeel qua (aardgas)brandstof de bepalende factor in deze vergelijking. Daarom rekenen we verder met deze worst-case-inschatting (10 % meer energie(gas)verbruik bij de hoge recyclinggraad van 50 % AG ten opzichte van geen AG), wat zich omrekenet naar een waarde van 23 kg CO₂-eq. voor een mengsel zonder recycling, en een waarde van 24 kg CO₂-eq. per ton asfalt voor een lage recyclingratio (van 20 % AG) en een BKG-emissiewaarde van 25,3 kg CO₂-eq. per ton voor de productie van een asfaltmengsel met hoge recyclingratio (van 50 % AG).

► Duurzaamheidsevaluatie van asfaltmengsels

► Bijlage 4

Toelichting bij de MKI-methode

MKI is de afkorting van MilieuKosten Indicator. Het is een indicator van de kosten die gerelateerd zijn aan de **milieuschade** die samenhangt met een bepaald product of systeem. Het is bovenal een manier om verschillende milieu-indicatoren samen te brengen in een enkele indicator.

De monetarisatie die in de MKI-methode wordt toegepast op de milieu-impacts is een manier om in een enkele score de impact van verschillende potentiële milieu-impacts te becijferen, om zo gemakkelijk varianten met elkaar te kunnen vergelijken. Ze steunt op het resultaat van een volledige levenscyclusanalyse (LCA) met elf verschillende indicatoren (conform de Europese norm EN 15804 [NBN, 2012+2019/2021]). Ze realiseert een afweging van deze verschillende indicatoren door aan elke indicator een monetaire wegingsfactor te koppelen en deze te sommeren tot één enkele indicator met een enkelvoudige score, uitgedrukt in een geldwaarde (euro's).

De grootte van deze kostprijs qua milieuschade kan uiteraard onderwerp zijn van discussie, en voortschrijdend inzicht kan deze weegfactoren laten evolueren.

A4.1 Voorbeeld van berekening van de MKI-waarde

asfaltmengsel AC surf 0 % (modules A1+A2+A3)				
functionele eenheid:	1 ton asfalt			
Milieu-effect categorie	Equivalentente eenheid	Hoeveelheid (eq.) over deel v/d levenscyclus	Weegfactor (€/ kg eq.)	Resultaat
1. Uitputting abiotische grondstoffen	kg antimoon equivalent	1,09E-05	0,16 €	0,00000 €
2. Uitputting fossiele energiedragers	kg antimoon equivalent *	1,71E+00	0,16 €	0,27 €
3. Klimaatverandering	kg CO ₂ equivalent	9,78E+01	0,05 €	4,89 €
4. Ozonlaagaantasting	kg CFK-11 equivalent	1,03E-05	30 €	0,0003 €
5. Smogvorming (fotochemische oxidantia)	kg C ₂ H ₄ equivalent	1,66E-01	2,00 €	0,33 €
6. Verzuring	kg SO ₂ equivalent	6,30E-01	4,00 €	2,52 €
7. Vermesting	kg PO ₄ equivalent	6,81E-02	9,00 €	0,61 €
8. Humaan-toxicologische effecten	kg 1,4-dibenzeenchoride	2,45E+01	0,09 €	2,20 €
9. Ecotoxicologische effecten, aquatisch (zoetwater)	kg 1,4-dibenzeenchoride	2,34E+00	0,03 €	0,07 €
10. Ecotoxicologische effecten, aquatisch (zeewater)	kg 1,4-dibenzeenchoride	1,02E+04	0,0001 €	1,02 €
11. Ecotoxicologische effecten op landorganismen	kg 1,4-dibenzeenchoride	3,26E-01	0,06 €	0,02 €
	*: of in megajoule (met equivalentie-factor 0,000481 kg Sb / MJ)			bovenstaande optellen geeft
				11,93 €
De LCA inventariseert de effecten van een product, dienst of werk en ordent deze in elf milieu-effect categorieën.	Elk milieu-effect wordt uitgedrukt in een equivalentente eenheid (uitputting of emissie). Koolstofdioxide, methaan en lachgas worden uitgedrukt in CO ₂ -equivalenten.	Deze kolom toont de hoeveelheden equivalentente impact van een ton asfalt.	De "hoeveelheid" wordt vermenigvuldigd met een "weegfactor".	Het resultaat van de vermenigvuldiging zijn de milieueffecten in euro's maatschappelijke kosten.

Figuur A4.1 – Voorbeeld van de berekeningsmethode voor MKI (bron: eigen berekening op basis van de gegevens uit (Schwarz et al., 2020) en naar analogie van (Prinssen & Rademaker, 2020, figuur 3))

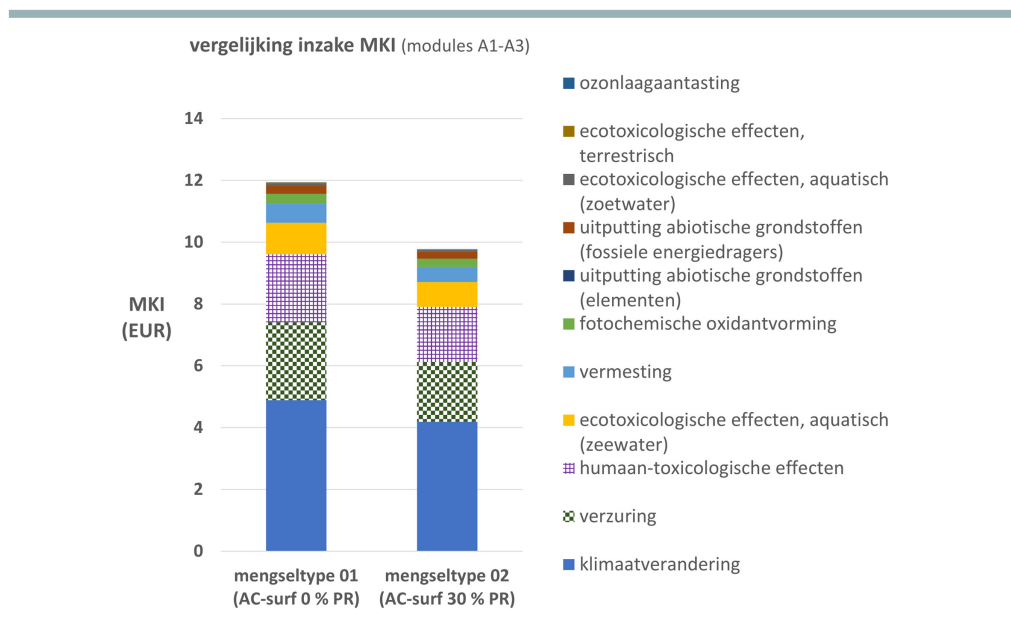
De MKI-waarde wordt berekend uitgaande van de LCA-resultaten door voor elke milieu-impactcategorie de waarde (in equivalente eenheden) te vermenigvuldigen met de monetaire wegingsfactor, en vervolgens te sommeren over alle impacts. Zoals in hoofdstuk 5 toegelicht, wordt de MKI-aanpak voornamelijk toegepast in Nederland, niet in andere landen.

Om de berekeningsmethode eenvoudig voor te stellen hebben we hierna een voorbeeld uitgewerkt. Figuur A4.1 geeft, aan de hand van een voorbeeldberekening voor 1 ton asfalt (van een Nederlands typemengsel), de stappen weer om van een LCA-milieuprofiel (in dit voorbeeld van-wieg-tot-fabriekspoort modules A1 tot A3) tot een MKI te komen.

Voor dit voorbeeld gebruikten we de resultaten van de LCA-studie opgesteld voor een gemiddelde (virtuele) asfaltmenginstallatie in Nederland, voor het typemengsel 'asfalt voor toplagen, zonder recycling', gerekend over een deel van de levenscyclus (modules A1 tot en met A3) (Schwarz et al., 2020). De milieukostenindicator MKI bedraagt hierbij 11,9 euro per ton asfaltmengsel.

In dit voorbeeld wordt de grootste bijdrage (ongeveer 45 %) tot de totale MKI geleverd vanuit het milieueffect "klimaatverandering", gevolgd door "humaan-toxicologische effecten" (20 %) en "verzuring" (17 %). "Ecotoxicologische effecten op zeewatermilieu" telt mee voor bijna 8 %, "vermesting" telt mee voor bijna 5 %, "smogvorming" en "uitputting fossiele energiedragers" tellen elk mee voor ongeveer 2 %. De milieueffecten "uitputting abiotische grondstoffen", "ozonlaagaantasting", "ecotoxicologische effecten op zoetwaterorganismen" en "ecotoxicologische effecten op landorganismen" dragen elk minder dan 1 % bij tot de totale MKI.

Dat wordt duidelijk geïllustreerd door figuur A4.2, die voor het standaardmengsel voor toplagen (enerzijds zonder recycling en anderzijds met 30 % AG-recycling) de bijdrage tot de totale Milieukostenindicator uitsplitst als de som van de elf verschillende milieu-impactcategorieën.



Figuur A4.2 – Voorbeeld MKI met invloed van recycling (van-wieg-tot-fabriekspoort analyse van het Nederlandse typemengsel voor toplagen) (eigen berekening op basis van de gegevens van (Schwarz et al., 2020))

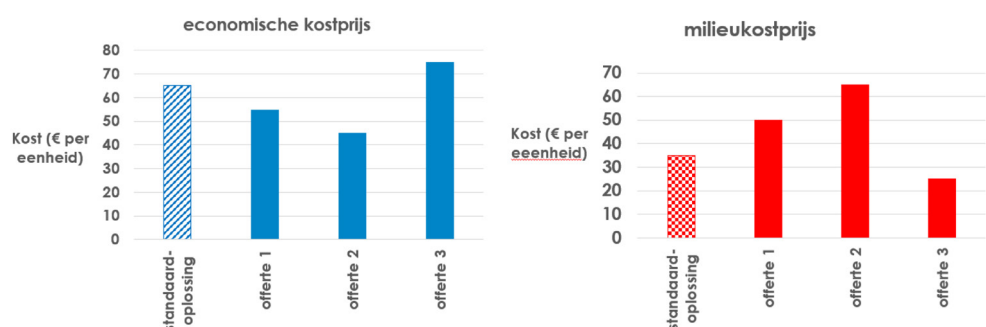
► Duurzaamheidsevaluatie van asfaltmengsels

Opmerking: de in rekening te brengen categorieën van milieu-impacts zullen wegens het toekomstig inwerkingtreden van annex 2 voor EN 15804 (NBN, 2012+2019/2021) uitgebreid worden van een set van elf indicatoren naar een set van negentien indicatoren. Zie **Bijlage 2** voor een oplijsting van deze sets van milieu-indicatoren. Daardoor zal ook de MKI-berekening uitgebreider worden, en moeilijker vergelijkbaar zijn met vroegere berekeningen. Voor deze nieuwe, ruimere set van indicatoren zijn ook nieuwe eenheidsprijzen als weegfactor vereist, want het gaat om andere milieu-impacts. Hierover is momenteel nog geen consensus bereikt.

A4.2 Duurzaam aanbesteden met de MKI

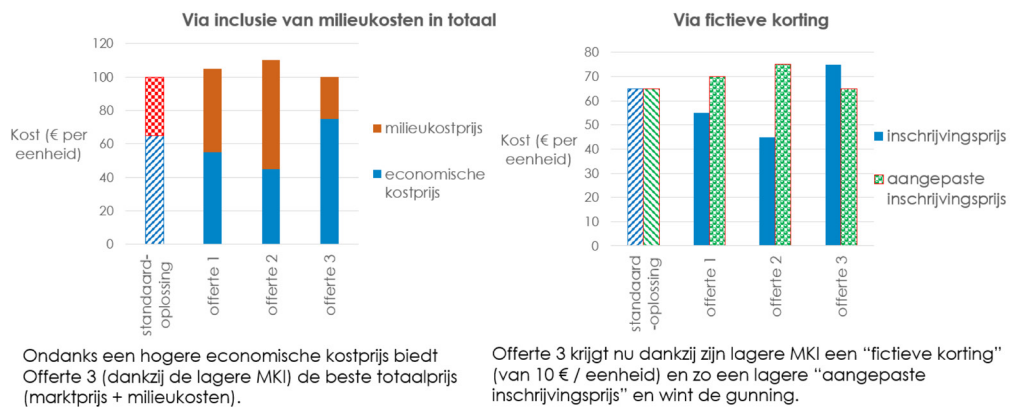
De MKI-methode heeft een interessant voordeel, namelijk zijn ogenschijnlijk eenvoudig resultaat. Door de monetarisatie slaagt de methode erin om de grote variatie aan individuele scores voor elf abstracte milieu-impacts op een eenvoudige manier samen te brengen tot een enkelvoudige score, namelijk de milieukundige euro's voor de schaduwkostprijs. Variante oplossingen kunnen op basis van hun MKI-score gemakkelijk worden vergeleken, wat niet het geval is met een (in meervoudige eenheden uitgedrukte) LCA-tabel.

Door de schaduwkosten zichtbaar te maken in de milieukostenindicator kan de MKI helpen in het duurzaam aanbesteden (GPP): door de MKI als schaduwprijs inclusief mee in rekening te brengen (bv. door ze op te tellen bij de marktprijs van het goed) worden die externaliteiten mee geïntegreerd in de echte totaalprijs (economische kost + maatschappelijke milieukost). Op die wijze kan een duurzamere oplossing (want met een lagere MKI) ondanks een hogere economische kostprijs uiteindelijk toch als meest voordelige oplossing worden aanvaard en zo aan de milieuvriendelijkere aanbieder worden gegund. Figuur A4.3 toont een vereenvoudigd voorbeeld van zo een aanpak.



Offerte 3 maakt in een traditionele manier van gunnen geen kans, want veel duurder dan andere varianten.

Offerte 3 heeft wel een belangrijk voordeel qua milieu-impact, die tot uitdrukking komt in de veel lagere MKI.



Figuur A4.3 – Voorbeeld van een offertevergelijking met inrekening van de MKI (De Bock, 2022)

In dit voorbeeld heeft offerte 2 de laagste economische kostprijs, maar ze kampt tegelijk met de hoogste milieukost. Offerte 3 heeft een duidelijk hogere economische kostprijs, maar een lagere milieukost. In een klassieke aanbesteding is offerte 2 de economisch voordeligste oplossing. In de aanpak gebaseerd op duurzaamheid daarentegen heeft offerte 3 de laagste totaalprijs. De aanbestedende overheid die een duurzame oplossing (met een lage MKI) echt belangrijk vindt, kan door deze manier van werken duurzaamheid integreren in zijn aanbestedingspolitiek (GPP) en de aanbieder van offerte 3 het werk gunnen, aangezien deze de interessantste oplossing biedt bij het samenbrengen van economische én milieukost.

Door de MKI kan de aanbestedende overheid de aannemer aanzetten en belonen (monetair compenseren) voor de extra inspanning (en extra kosten die hij maakt) om een duurzamere oplossing aan te bieden in zijn offerte. Deze compensatie kan een-op-een gebeuren (per euro winst op de MKI een euro gunningsvoordeel) of met een hefboom worden versterkt (meer dan 1 euro gunningsvoordeel per euro lagere MKI) om zo nog meer in te zetten op duurzaamheid.

Maatschappelijke zetel

Woluwedal 42
1200 BRUSSEL
T 02 775 82 20

Laboratoria

Fokkersdreef 21
1933 STERREBEEK
T 02 766 03 00

Avenue A. Lavoisier 14
1300 WAVRE.
T 010 23 65 00