



Verbetering van de ecologische voetafdruk en de duurzaamheid van een weg door het gebruik van gebluste kalk in warmbereid asfalt

Co-Authors & Presenter:

Shtiza A., Denayer C., Lesueur D., Ritter H-J., Schlegel T.

Please use the following to refer to the paper:

Shtiza A., Denayer C., Lesueur D., Ritter H-J., Schlegel T., 2017. Verbetering van de ecologische voetafdruk en de duurzaamheid van een weg door het gebruik van gebluste kalk in warmbereid asfalt. 23rd Belgisch Wegens Congres. Brussels (Belgium). 4-6 October 2017. Platform presentation. Full paper in Dutch. Pp. 8.



EuLA, the European Lime Association, represents about 95% of the European lime production through its 21 national member associations. The European lime sector operates around 600 lime kilns in the EU, producing in total around 28,4 million tons of lime and dolime; and contributing around € 2,5 billion to Europe's GDP.

Take a look at our website: www.eula.eu



Verbetering van de ecologische voetafdruk en de duurzaamheid van een weg door het gebruik van gebluste kalk in warmbereid asfalt

A. SHTIZA¹, C. DENAYER², D. LESUEUR³, H-J RITTER⁴, T. SCHLEGEL⁵,

¹ European Lime Association (EuLA), Tweekerkenstraat 26/2, 1000 Brussel, BELGIË

² Carmeuse Coordination Centre, Boulevard de Lauzelle 65, 1348 Louvain-la-Neuve, BELGIË

³ Lhoist Southern Europe, Tour W, 102 Terrasse Boieldieu, 92085 Paris - La Défense Cedex, Frankrijk

⁴ Bundesverband der Deutschen Kalkindustrie (BV Kalk), Annastrasse 67-71, 50968 Keulen, Duitsland

⁵ EESAC, 230 Impasse de Fergy, 74410 Duingt, Frankrijk

SAMENVATTING

Gebleken is dat de toevoeging van gebluste kalk aan warm gemengd asfalt (WGA) velerlei voordelen oplevert voor de algemene prestaties van de weg (betere water- en vorstbestendigheid en hogere weerstand tegen spoorvorming, langzamer veroudering van bitumen) en de levensduur van asfaltverhardingen verlengt. Een levenscyclusanalyse (LCA) waarin het milieueffect van klassiek WGA werd vergeleken met dat van gemodificeerd WGA (met 1,5 % gebluste kalk) werd volgens de ISO-normen 14040-14044 uitgevoerd en door een kritische externe reviewer bekrachtigd. Uit deze analyse komt naar voren dat toepassing van gebluste kalk in WGA de duurzaamheid van een toplaag met 25 % verhoogt, wat de totale ecologische voetafdruk over de levensduur van een weg (vijftig jaar) voor alle categorieën van milieueffecten verkleint.

Als alleen naar de aanleg van de weg wordt gekeken, luidt de conclusie dat gemodificeerd WGA 19 % meer broeikasgassen (BKG's) uitstoot dan klassiek WGA. Zodra echter de volle levenscyclus van de verharding wordt beschouwd en ook met de verbeterde duurzaamheid rekening wordt gehouden, is gemodificeerd WGA wat uitstoot van BKG's betreft met 23 % in het voordeel, wat aanzienlijke gunstige effecten heeft. Daarom is het zeer belangrijk wegverhardingen over de volle levenscyclus te evalueren, om zich een totaalbeeld van de milieueffecten te vormen. Gemodificeerd WGA is over vijftig jaar gezien (bijna 30 %) goedkoper. Voorts dient voor ogen te worden gehouden dat iedere onderhoudsbeurt die vermeden kan worden tot minder verkeersopstoppingen door onderhoudswerkzaamheden leidt. Hierdoor is gebluste kalk een maatschappelijk en technisch duurzame oplossing voor betere verhardingen. De conclusies van deze LCA-studie liggen in de lijn van recente EU-initiatieven voor hulpbronnefficiëntie en duurzaam bouwen, waarbij de beschikbare financiële middelen en grondstoffen optimaal moeten worden aangewend.

Trefwoorden:

Levenscyclusanalyse (LCA); Warm gemengd asfalt (WGA); Duurzaamheid van wegen; Gebluste kalk

Inleiding

Kalk is een product dat via een industrieel proces uit kalksteen wordt verkregen. In de natuur voorkomend kalksteen bestaat vrijwel geheel uit calciumcarbonaat [CaCO_3], dat bij toevoer van warmte in ongebluste kalk [calciumoxide (CaO)] wordt omgezet. Bij toevoeging van water aan ongebluste kalk ontstaat gebluste kalk; dit is een droog poeder dat uit calciumhydroxide [$\text{Ca}(\text{OH})_2$] bestaat. Kalkproducten zijn veelzijdige materialen die voor veel verschillende toepassingen worden gebruikt, bijvoorbeeld in de industrie, in de landbouw, ter bescherming van het milieu, in de civiele techniek, enz.

Van gebluste kalk in warm gemengd asfalt (WGA) is bekend dat hij verscheidene gunstige effecten heeft op de algemene prestaties van een weg (minder schade door water en vorst, langzamer veroudering van bitumen), wat de duurzaamheid van de weg verhoogt. De *European Lime Association* (EuLA) heeft een levenscyclusanalyse (LCA) uitgevoerd om de milieueffecten van klassiek WGA te vergelijken met die van gemodificeerd WGA (met 1,5 % gebluste kalk), over de hele levensduur van een weg (Schlegel et al., 2012; 2016).

Gebluste kalk is al sinds het einde van de negentiende eeuw, en in de Verenigde Staten sinds de aanleg van de eerste wegen, als additief voor asfaltmengsels bekend. In de jaren zeventig van de vorige eeuw groeide in de Verenigde Staten het besef van het effect van gebluste kalk in WGA. Dit kwam deels door een algemene daling van de bitumenkwaliteit ten gevolge van de oliecrisis in 1973, toen water- en vorstschade een van de prangendste problemen in wegverhardingen werd. Proeven wezen toen uit dat gebluste kalk een van de doeltreffendste additieven was om bestandheid tegen water en vorst te verhogen, veroudering van bitumen tegen te gaan en de mechanische eigenschappen van asfalt (zoals bestandheid tegen spanningen en weerstand tegen spoorvorming, vermoeiing en thermische scheurvorming) te verbeteren, wat de algemene duurzaamheid van de weg ten goede kwam. Op grond van ervaring bij de wegenagentschappen in de staten van Noord-Amerika werd geschat dat toevoeging van 1 tot 1,5 % gebluste kalk (ten opzichte van de droge aggregaten) de levensduur van asfaltmengsels met twee tot tien jaar, dus met 20 tot 50 %, verlengde. Wegens deze gunstige effecten wordt gebluste kalk thans in veel staten voorgeschreven; naar schatting bevat 10 % van de asfaltmengsels die tegenwoordig in de Verenigde Staten worden geproduceerd gebluste kalk. Ook in Europa en in andere delen van de wereld wordt gebluste kalk sinds 1980 steeds meer gebruikt. Dit blijkt uit het uitgebreide literatuuronderzoek van [Lesueur \(2011\)](#). De algemene verkeerstoename, de vele verkeersopstoppingen, de hoge bevolkingsdichtheid, het gebrek aan ruimte om nieuwe wegen te bouwen en de vele milieuzorgen die uit deze situatie voortvloeien, hebben de Europese instellingen en landen ertoe aangezet hun bestaande praktijken voor het ontwerp en beheer van wegen te herzien via groene overheidsopdrachten in de wegenbouw ([EC, 2010 a; b](#)). Bovendien vereisen nieuwe grondstoffeninitiatieven, duurzaamheidsprincipes en financiële randvoorwaarden een optimaal gebruik van de beschikbare grondstoffen, financiële middelen en arbeidskrachten.

Nederland is het enige land in Europa waar toepassing van gebluste kalk in WGA verplicht is. Gemodificeerd WGA maakt in Nederland ongeveer 7 % van de totale asfaltproductie uit. In de overige Europese landen wordt volgens een uitgebreid literatuuronderzoek van de *European Lime Association* (EuLA) met gegevens uit verscheidene Europese landen ([Lesueur, 2011; Lesueur et al, 2013](#)) doorgaans minder dan 1 % gemodificeerd WGA gebruikt. SANEF, de vennootschap die de autosnelwegen in het noorden van Frankrijk beheert, schrijft momenteel gebluste kalk in de toplagen van haar wegennet voor; zij hebben gemerkt dat asfaltmengsels die met gebluste kalk zijn gemodificeerd een 20 tot 25 % langere levensduur hebben. Gelijksortige constatering hebben in Nederland geleid tot het voorschrijven van gebluste kalk in zeer open asfaltbeton, een mengsel dat inmiddels op 70 % van de wegen in dat land ligt. Onder impuls van nationale initiatieven wordt gebluste kalk in Europese landen steeds meer in asfaltmengsels toegepast; dit geldt meer bepaald voor Denemarken, Duitsland, Frankrijk, Nederland, Oostenrijk, Polen, het Verenigd Koninkrijk en Zwitserland. Gezien de extra voordelen die gebluste kalk biedt, valt te verwachten dat toepassing ervan in Europa de komende jaren verder zal toenemen.

De hierna beschreven LCA-studie door de EuLA had tot doel de ecologische voetafdruk van klassiek WGA (zonder gebluste kalk) en gemodificeerd WGA (met 1,5 % gebluste kalk) over de volle levensduur van een weg te bepalen en te vergelijken. De studie werd verricht volgens de eisen in de ISO-normen 14040-14044 (ISO 14040-14044, 2006 a; b) met betrekking tot relevante gegevens en consistente kwaliteit daarvan, en gelijkwaardige functionele eenheden.

Methodiek

Binnen het bestek van deze studie zijn de ecologische voetafdrukken van klassiek WGA (zonder gebluste kalk) en gemodificeerd WGA (met 1,5 % gebluste kalk), samengesteld volgens Tabel 1, vergeleken. De systeemgrenzen van de LCA omvatten de levenscyclus van wieg tot graf van WGA: winning en vervoer van de grondstoffen, productie en vervoer van het mengsel, aanleg van de weg, onderhoud van de weg, recycling van het teruggewonnen asfalt, en einde van de levensduur.

	Klassiek WGA (zonder kalktoeslag)	Gemodificeerd WGA (met kalktoeslag)
Bitumen	5 %	5 %
Zand	38 %	38 %
Fijn steenslag	26 %	26 %
Grof steenslag	29 %	29 %
Vulstof	2 %	0,5 %
Gebluste kalk	0 %	1,5 %

Tabel 1 – Bestanddelen van klassiek en gemodificeerd WGA

De primaire grondstoffen waarmee klassiek en gemodificeerd WGA worden bereid, zijn dezelfde. De grondstoffen die nodig zijn om WGA te produceren, zijn bitumen, zand, fijn steenslag, grof steenslag, vulstof voor klassiek WGA en een toeslag van gebluste kalk voor gemodificeerd WGA, zoals in Schlegel et al (2016) uitvoerig beschreven wordt. De mineralen (zand en steenslag) worden gedroogd en verwarmd tot 180 °C, waarna alle materialen (bitumen, mineralen en de facultatieve gebluste kalk) met elkaar worden gemengd. Naargelang van de aangewende technologie kan deze bewerking in een of twee fasen plaatsvinden. Wanneer het warm gemengde asfalt klaar is, wordt het over het wegoppervlak gespreid.

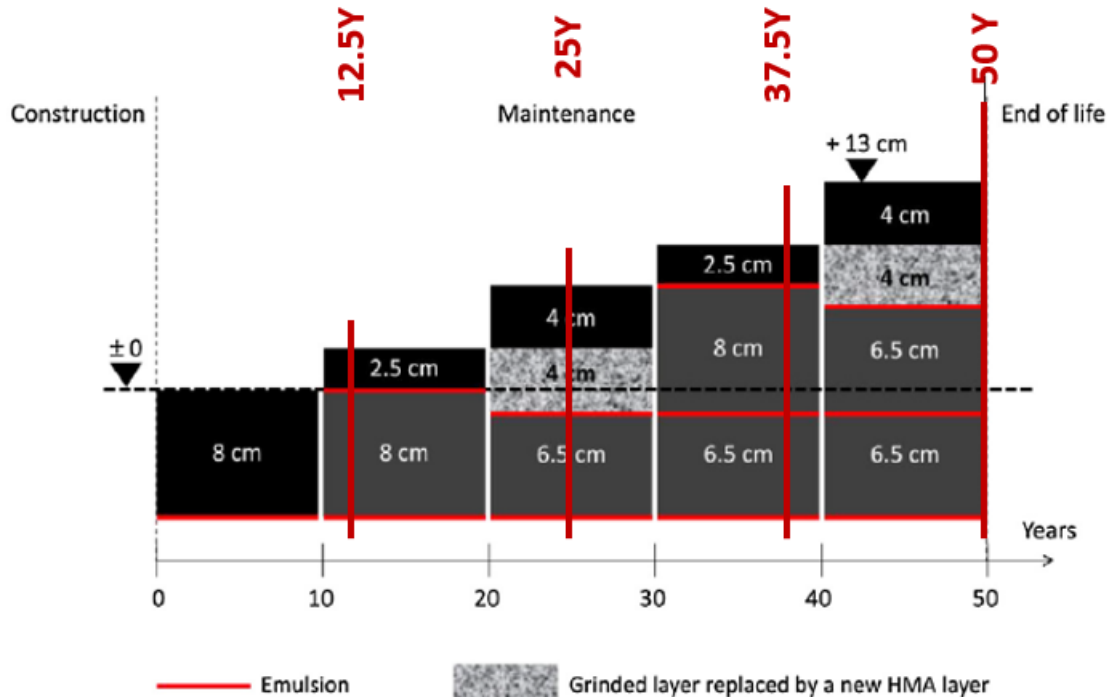
Omdat de toplaag als bovenste laag van de verharding veel minder lang meegaat dan de weg, wordt zij geregeld vervangen. De gegevens voor het onderhoudsscenario zijn overgenomen uit de LCA die Bilal et al (2008; 2009) voor USIRF, de vakvereniging van Franse aannemers van wegenwerken, hebben gemaakt. Volgens informatie van deze aannemers ligt de levensduur van een toplaag doorgaans tussen zeven en twaalf jaar. Bij de modellering in deze studie werd een gemiddelde van tien jaar gekozen. Voor klassiek warm gemengd asfaltbeton bestaat het onderhoud uit een pakket van 13 cm dat aan de bestaande verharding wordt toegevoegd, in de volgende fasen:

- na tien jaar wordt op de oorspronkelijke toplaag 2,5 cm WGA aangebracht;
- na twintig jaar wordt 4 cm WGA afgefreesd en 8 cm nieuw WGA aangebracht;
- na dertig jaar volgt hetzelfde scenario als na tien jaar;
- na veertig jaar volgt hetzelfde scenario als na twintig jaar;
- na vijftig jaar heeft het WGA het einde van zijn levensduur bereikt.

Als voor gemodificeerd WGA dezelfde onderhoudsprincipes worden gehanteerd als voor klassiek asfalt, resulteert dit in een pakket van 9 cm dat aan de bestaande verharding wordt toegevoegd, in de volgende fasen:

- na twaalf en een half jaar wordt op de oorspronkelijke toplaag 2,5 cm WGA aangebracht;
- na vijfentwintig jaar wordt 4 cm WGA afgefreesd en 8 cm nieuw WGA aangebracht;
- na zevenendertig en een half jaar volgt hetzelfde scenario als na twaalf en een half jaar;
- na vijftig jaar heeft het WGA het einde van zijn levensduur bereikt.

Figuur 1 geeft beide scenario's grafisch weer.



Figuur 1 – Overzicht van de verschillende fasen in de aanbrenging en het onderhoud van een toplaag van klassiek WGA (zonder gebluste kalk, op de achtergrond) en gemodificeerd WGA (met gebluste kalk, hangende rode tekst bovenaan), waarvan voor het LCA-model is uitgegaan

[Construction = Aanleg; Maintenance = Onderhoud; End of life = Einde levensduur; Years = Jaren; Y = J; Emulsion = Emulsie; Grinded layer ... = Afgefreeste laag vervangen door nieuwe laag WGA]
[decimale punten vervangen door decimale komma's]

Voor het recyclen van het WGA wordt het teruggewonnen asfalt van de locatie waar het werd aangebracht / onderhouden (de weg dus) overgebracht naar de WGA-installatie, waar het integraal opnieuw wordt gebruikt in de hierna beschreven.

Het nieuwe WGA wordt bereid met 50 % nieuwe primaire grondstoffen en 50% gerecycleerde materialen. In het LCA-model wordt dan aangenomen dat het oude, teruggewonnen asfalt nieuw bitumen, zand, steenslag en vulstof vervangt, die de WGA-fabrikant anders bij externe producenten had moeten inkopen. Het credit dat het model daarvoor toekent, omvat zowel de productie als het vermeden vervoer van deze nieuwe materialen.

De resterende 50 % wordt gerecycleerd als zand en steenslag vervangend materiaal voor funderingen. In dit geval wordt aangenomen dat potentiële gebruikers van zand en steenslag het teruggewonnen asfalt zullen gebruiken als een vervangstof voor materialen die zij anders bij externe producenten zouden hebben ingekocht. Het credit dat de LCA daarvoor in aanmerking neemt, wordt daarom beperkt tot de productie van de overeenkomstige massa's zand en steenslag.

De LCA-studie van WGA door de EuLa volgde het scenario dat gepubliceerd is in Bilal et al. (2008; 2009). De voornaamste aannamen waarop deze LCA-studie is gebaseerd is, zijn:

1. een levensduur van vijftig jaar voor de weg;
2. een dikte van 8 cm voor de WGA-laag;
3. aanleg- en onderhoudsscenario zoals in de gepubliceerde LCA-studie voor de USIRF: Bilal et al. (2008; 2009);
4. een levensduur van tien jaar voor een toplaag van klassiek WGA, en onderhoud om de tien jaar;
5. een 25 % langere levensduur als gemodificeerd WGA (+ 1,5 % gebluste kalk) wordt gebruikt (onderhoud dus om de twaalf en een half jaar).

De functionele eenheid die voor de LCA-studie werd gekozen, is: 1 km wegdek (toplaag) in een rijstrook van 3,5 m breed (dus een wegooppervlakte van 3 500 m²) in Frankrijk, en een functionele levensduur van vijftig jaar (in overeenstemming met de levensverwachting voor de weg).

Na vergelijking met andere, soortgelijke LCA's (Hochschule Biberach, 2009; Sebben Paranhos, 2007) werden de aannamen voor vervoersafstanden in deze LCA bepaald; in Tabel 2 zijn zij samengevat. Omdat de Franse LCA (Bilal et al., 2008) een grote verscheidenheid in de vervoersafstanden van mineralen voor de productie van WGA aan het licht had gebracht, werd in de gevoeligheidsanalyse met andere parameters ook de invloed van deze vervoersafstanden op de resultaten van de LCA ingeschat.

Input flow	Main assumptions for modelling the transportation (base case) from production sites to HMA plant							Main assumptions for modelling the transportation (base case) HMA plant to construction site (construction and maintenance)	
	Bitumen	Bitumen emulsion	Sand	Fine gravel	Coarse gravel	Filler	Hydrated lime	HMA	RAP (Reclaimed Asphalt Pavement)
Type of transportation	Truck for bulk goods, Euro norm IV								
Maximum payload	27 tonnes								
Load factor	100% (full) ^a							100% (full) ^b	0% (empty) ^b
Load factor	0% (empty) ^c							0% (empty) ^d	100% (full) ^d
Average transportation distance (km)	500	500		50	50	150	250	500	500
Driving share urban (%)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Driving share interurban (%)	25	25	100	100	100	25	25	100	100
Driving share motorway (%)	75	75	0	0	0	75	75	0	0
Sulphur content of the fuel (ppm)	10								
% Bio fuel in diesel	0								
LCI database used	ELCD/GaBi 4.4								

^a Load factor on the way back to the HMA plant.

^b Load factor on the way to the construction site.

^c Load factor on the way back from the HMA plant.

^d Load factor on the way back to the HMA plant.

Tabel 2 –Voornaamste aannamen voor de modellering van het vervoer

[Input flow = Invoerflow; Main assumptions ... to HMA plant = Voornaamste aannamen voor de modellering van het vervoer (basisgeval) van productieplaatsen naar de WGA-installatie; Main assumptions ... to construction site = Voornaamste aannamen voor het vervoer (basisgeval) van de HMA-installatie naar de bouwplaats (aanleg en onderhoud); Bitumen = Bitumen; Bitumen emulsion = Bitumenemulsie; Sand = Zand; Fine gravel = Fijn steenslag; Coarse gravel = Grond steenslag; Filler = Vulstof; Hydrated lime = Gebluste kalk; HMA = WGA; RAP = Teruggewonnen asfalt; Type of transportation = Soort vervoer; Truck for bulk goods ... = Vrachtwagen voor bulkgoederen. Euronorm IV; Maximum payload = Laadvermogen; tonnes = ton; Load factor = Beladingsgraad; full = vol; empty = leeg; Average transportation distance = Gemiddelde vervoersafstand; Driving share urban = Deel in de stad; Driving share interurban = Deel interlokaal; Driving share motorway = Deel over autosnelwegen; Sulphur content of the fuel = Zwavelgehalte brandstof; % Bio fuel in diesel = % Biobrandstof in diesel; LCI database used = Gebruikte LCI-database; ... on the way back to the HMA-plant = ... op de terugweg naar de WGA-installatie; ... on the way to the construction site = ... op de weg naar de bouwplaats]

Zoals geëist in ISO 14040-14044, werden de resultaten van de studie aangevuld met een gevoeligheidsanalyse. Daarin werden onder meer de volgende parameters gewijzigd: 1. De LCI-dataset voor de LCA; 2. Het energieverbruik en de brandstofsoorten in de WGA-installatie; 3. De vervoersafstanden voor aggregaten en zand; 4. De tijden (korter of langer) tussen onderhoudsbeurten; 5. Meer gebluste kalk in het WGA. Het resultaat van de wijzigingen in deze parameters is dat met gebluste kalk gemodificeerd WGA over de hele levensduur van een weg gezien altijd een kleinere ecologische voetafdruk heeft. Volgens de bepalingen in ISO-norm 14044 (ISO, 2006 a, b) werd de studie ex post kritisch nagelezen en bekrachtigd door een externe reviewer (TNO, Utrecht, Nederland).

Resultaten

Door de weg 25 % duurzamer te maken, leidt toepassing van gebluste kalk in warm gemengd asfalt tot een kleinere ecologische voetafdruk over de levensduur van een weg (vijftig jaar). Dit blijkt uit de levenscyclusanalyse die volgens de ISO-normen 14040-14044 is verricht. WGA met gebluste kalk heeft in de bovenbeschreven aannamen een kleinere ecologische voetafdruk voor de meeste categorieën van milieueffecten. Het totale primaire energieverbruik ligt bij gemodificeerd WGA 43 % lager dan bij klassiek WGA. Wegenonderhoud heeft in het totale energieverbruik het grootste

aandeel. Naar afnemend aandeel in het totale primaire energieverbruik kunnen de verschillende processen als volgt worden gerangschikt: productie van bitumen, productie van WGA, brandstofverbruik door vrachtwagens (vervoer van grondstoffen, WGA, teruggewonnen asfalt) en brandstofverbruik door mobiel materieel (aanleg en onderhoud). Bovendien verbruikt gemodificeerd HMA veel minder hulpbronnen dan de optie met klassiek WGA. De besparingen hierop zijn zoals op het energieverbruik. Dit is gemakkelijk te verklaren door het feit dat fossiele brandstoffen (vooral ruwe olie voor de productie van bitumen en van diesel voor vrachtwagens en mobiele materieel) goed zijn voor bijna 99 % van de index van de uitputting van abiotische hulpbronnen. Volgens de levenscyclusinventarissen (LCI's) zorgt CO₂ voor 90 tot 93 % van de totale uitstoot van broeikasgassen (BKG's).

Evenals voor energieverbruik is het onderhoud van de weg de levensduurfase die het meest bijdraagt aan de uitstoot van BKG's. In het scenario dat voor het einde van de levensduur is gekozen, leidt de optie met gemodificeerd WGA tot 23 % minder BKG-uitstoot dan de oplossing met klassiek WGA. Zelfs in een ander einde-levensduurscenario dat geen credit oplevert, zou de besparing op BKG-uitstoot volgens Figuur 2 nog 14 % bedragen.

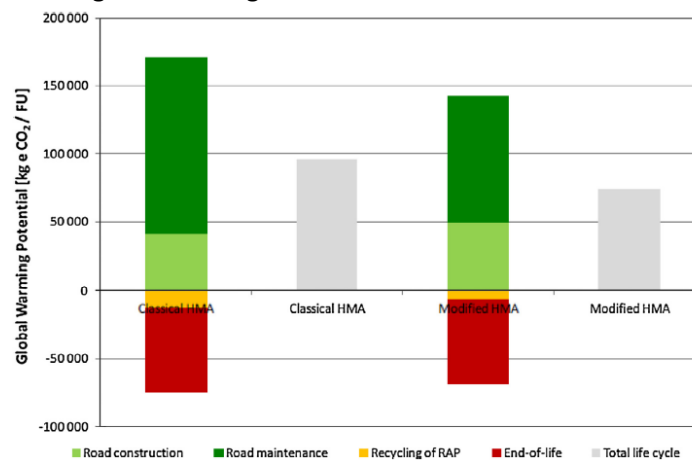


Figure 2 – Aardopwarmingsvermogen [kg eq. CO₂]/FU

[Global Warming Potential = Aardopwarmingsvermogen; Classical HMA = Klassiek WGA; Modified HMA = Gemodificeerd WGA; Road construction = Aanleg van de weg; Road maintenance = Onderhoud van de weg; Recycling of RAP = Asfaltrecycling; End-of-life = Einde levensduur; Total life cycle = Totale levenscyclus]

Het verschil in verzuringsvermogen tussen de twee oplossingen bedraagt ongeveer 44 % in het voordeel van de oplossing met gemodificeerd WGA. Het eutrofiëringsvermogen wordt voornamelijk toegeschreven aan de NO_x-emissies die tot nitraatvorming in oppervlaktewater leiden. Alle (bovengenoemde) grote verbrandingsprocessen die stikstofoxiden uitstoten, dragen dus indirect aan de eutrofiëring bij. Het verschil in eutrofiëringsvermogen tussen de twee oplossingen ligt rond 45 %, in het voordeel van gemodificeerd WGA.

Iedere onderhoudsbeurt die vermeden kan worden, leidt tot minder verkeersopstoppingen door onderhoudswerkzaamheden.

De resultaten van deze studie zijn door een kritische externe reviewer bekrachtigd. Ze zijn algemeen gunstig voor duurzame ontwikkeling in de wegenbouw. Bovendien liggen ze in de lijn van recente EU-initiatieven met betrekking tot grondstoffen, duurzaamheidsprincipes en financiële randvoorwaarden, die een optimaal gebruik van de beschikbare grondstoffen, financiële middelen en arbeidskrachten vereisen.

Conclusies

De voornaamste bevinding uit de EuLA-studie is dat toepassing van gemodificeerd WGA in toplagen de ecologische voetafdruk verkleint voor de voornaamste categorieën van milieueffecten: energieverbruik, abiotische uitputting, klimaatverandering, verzuring van de lucht, fotochemische oxidantvorming, stratosferische ozonuitputting en eutrofiëring. De levensduurverlenging die

gemodificeerd WGA oplevert, is groot genoeg om tijdens de levenscyclus van een weg in vergelijking met klassiek WGA ten minste één onderhoudsbeurt te kunnen overslaan. In verband hiermee moet voor ogen worden gehouden dat iedere onderhoudsbeurt die vermeden kan worden tot minder verkeersopstoppingen door onderhoudswerkzaamheden leidt.

Dankbetuiging

De auteurs danken Darren Scutt voor zijn helpende commentaren om het Engels van de originele versie van deze bijdrage te verbeteren. Een uitvoerige versie is verschenen in het tijdschrift *Transportation Research Part D: Transport and Environment*.

Literatuur

Bilal J., Grosshenny V., Lecouls H., Le Noan C., Marcilloux J., Quéro J.-F., Verhée F., 2009. Caractéristiques environnementales des matériaux routiers – Rectitatif – Analyse de Cycle de Vie des enrobés bitumineux: vers un amendement Matériaux routiers à la norme NF P01 010, Union des Syndicats de l'Industrie Routière Française (USIRF). Rev. Gén. Routes Aérodrômes 872.

Bilal J., Grosshenny V., Lecouls H., Le Noan C., Marcilloux J., Quéro J.-F., Verhée F., 2008. Caractéristiques environnementales des matériaux routiers – Analyse de Cycle de Vie des enrobés bitumineux: vers un amendement Matériaux routiers à la norme NF P01 010. Rev. Gén. Routes Aérodrômes 865, 60–67.

European Commission, 2010a. Green Public Procurement Road Construction and Traffic Signs Background Report, pp. 1–49. http://ec.europa.eu/environment/gpp/pdf/road_construction_and_traffic_signs_GPP_background_report.pdf.

European Commission, 2010b. Road Construction Traffic Signs Product Sheet, pp. 1–12. http://ec.europa.eu/environment/gpp/pdf/road_construction_and_traffic_signs_GPP_product_sheet.pdf.

ISO-14040, 2006a. Environmental Management – Life Cycle Assessment – Principles and Framework. International Organization of Standardization, 1–12.

ISO-14044, 2006b. Environmental Management – Life Cycle Assessment – Requirements and Guidelines. International Organization of Standardization, pp. 1–46.

Lesueur, D., 2011. Hydrated Lime: A Proven Additive for Durable Asphalt Pavements – Critical Literature Review. Ed. European Lime Association (EuLA), Brussels. pp. 1–96. Beschikbaar in EN, FR, DE en PL op <http://www.eula.eu/documents/hydrated-lime-proven-additive-durable-asphalt-pavements-critical-literature-review-paper>

Lesueur, D., Petit, J., Ritter, H.-J., 2013. The mechanisms of hydrated lime modification of asphalt mixtures: a state-of-the-art review". Road Materials Pavement Design, Volume 14, pp. 1–16.

Schlegel T., Puiatti D., Ritter H.-J., Lesueur D., Denayer C., Shtiza A., 2016. The limits of partial life cycle assessment studies in road construction practices: A case study on the use of hydrated lime in Hot Mix Asphalt. Transportation Research Part D: Transport and Environment, Volume 48, pp. 141–160.

Schlegel T., Puiatti D., Ritter H-J., Lesueur D., Denayer C., Petit J., Shtiza A., 2012. Use of hydrated lime to improve environmental footprint of Hot Mix Asphalt and road durability. 18th Life Cycle Assessment Symposium Copenhagen (Denmark): Sustainability Assessment in the 21st century Tools, Trends & Applications. 26-28 November 2012. Proceedings, p. 74. Platform presentation.

Sebben Paranhos R., 2007. Approche multi-échelles des émissions d'un procédé d'élaboration des enrobes à chaud (Thèse de doctorat en Physique). Université de Rouen, France, pp. 1–295.

Hochschule Biberach, 2009. Ökopprofil für Asphalt- und Betonbauweisen von Fahrbahnen – Aktualisierung 2009. Deutscher Asphaltverband (DAV) 2009, pp. 1–55.