

# **Versluys Groep**

## **Ketenanalyse: optimalisatie wegenonderhoud**

---

CO<sub>2</sub> Prestatieladder

## Inhoudsopgave

Inhoudsopgave .....	2
1. Inleiding .....	3
1.1 Vaststellen onderwerpen ketenanalyses .....	3
1.2 Betrokkenheid kennisinstituut .....	3
1.2 Doelstelling van het opstellen van de ketenanalyse .....	4
2. Vaststellen van de scope van de ketenanalyse .....	5
4. Vaststellen systeemgrenzen.....	6
4.1 Onderhoudsproces .....	6
4.5 Uitsluitingen .....	8
4.6 Datacollectie en datakwaliteit.....	8
6. Kwantificeren van emissies .....	9
6.1 Berekening.....	9
6.2 Onzekerheden .....	10
8. Reductiemogelijkheden ketenonderzoek .....	12
9. Strategie .....	13
9.2 Reductiedoelstellingen per jaar .....	14
Literatuur en databases .....	14

Versie	Naam	datum
0.1	Opgesteld: Peter Kerstens (Versluys) en Leo Smit (CO2Management)	5 juni 2015
1.0	Beoordeeld: Thijs van Hoof (Versluys, projectleider en materiaaldeskundige)	22 juni 2015

# 1. Inleiding

Op het gebied van asfaltbereiding en de diverse asfaltproducten die in de sector worden toegepast wordt er veel onderzoek gedaan door kennisinstellingen en wegenbouwbedrijven in het algemeen. Waar het echter bij bestaand onderzoek nog vaak aan ontbreekt is het inzichtelijk krijgen van het potentieel in de praktijk om de scope 3 uitstoot te verlagen. Hiervoor wordt geput uit de feitelijk toepassingen in de praktijk en de methode en technieken die een bedrijf zoals Versluys ter beschikking staan.

De Versluysgroep kent een traditie van 100 jaar van wegbereiding en kan zich daarmee beroepen op een grote praktijkervaring. Het betekent daarmee dat Versluys ook de vele ontwikkelingen kent als het gaat om de inmiddels bewezen materialen en werkmethodes, daarbij wordt doorlopend gekeken wordt naar innovatiemogelijkheden om tot de inzet van steeds milieuvriendelijkere producten te komen.

In deze ketenanalyse wordt op basis van beschikbare literatuur en ervaringsgetallen een inschatting gemaakt van het besparingspotentieel qua CO<sub>2</sub> reductie in de scope 3 conform het Green House Gas Protocol. Het gaat dan enerzijds om de direct beïnvloedbare uitstoot wat vooral in de upstream GHG categorie "Purchased Goods en Services" en anderzijds het duiden van de mogelijkheden in de downstream categorie "use of sold products" voor het inzichtelijk maken van het potentieel aan besparingen per m<sup>2</sup> wegoppervlak.

Bij het uitvoeren van de scope 3 analyse en de ketenanalyse is reeds rekening gehouden met de richtlijnen uit het CO<sub>2</sub> Prestatieladder handboek 3.0. Het onderkennen van de relevante ketenpartijen en de mogelijkheid tot beïnvloeding zijn hierbij een belangrijk uitgangspunt.

Deze ketenanalyse betreft een richtinggevende analyse, waarbij zoveel mogelijk gebruik gemaakt is van uit eerder onderzoek onderbouwde kentallen. Om tot een detailstudie te komen zal een nadere verdieping moeten plaatsvinden.

## 1.1 Vaststellen onderwerpen ketenanalyses

Een belangrijke ontwikkeling waar Versluys actief bij betrokken is, betreft de milieu impact beoordeling van deklagen (4). Een aspect wat onderbelicht is in de praktijk betreft het tijdig laten plaatsvinden van een oppervlakbehandeling. Hierdoor kan het meer intensieve deklaag onderhoud langer worden uitgesteld. De voordelen t.a.v. de scope 3 uitstoot voor de "use of sold products" fase zal om die reden nader worden bepaald.

Daarnaast zijn er voor Versluys een tweetal belangrijke ontwikkelingen als milieuvriendelijk alternatief voor de hedendaagse asfaltproducten. Op basis van de eigen scope 3 uitstoot de vanuit kennisinstellingen aangeleverde kentallen en de mogelijkheid om deze alternatieven in te zetten is een potentieel bepaald tot verbetering.

## 1.2 Betrokkenheid kennisinstituut

Deskundigheid is vanuit verschillende invalshoeken t.a.v. deze ketenanalyse geborgd. Thijs van Hoof is namens Versluys actief betrokken bij diverse productontwikkeling zoals deze vanuit de samenwerking tussen het Asfalt Kennis Centrum en NCOB tot stand worden gebracht.

Dhr. Van der Kooij is geconsulteerd vanuit zijn expertise en studies naar dunne deklagen bij de dienst Weg- en waterbouwkunde van de toenmalige dienst weg en waterbouwkunde te Delft.

Daarnaast is gebruik gemaakt van de kentallen van IQ-Box als het gaat om cradle to gate voor de toepassing van Gravilyn en LynPave (<http://www.lynpave.nl/iq-box.aspx>)

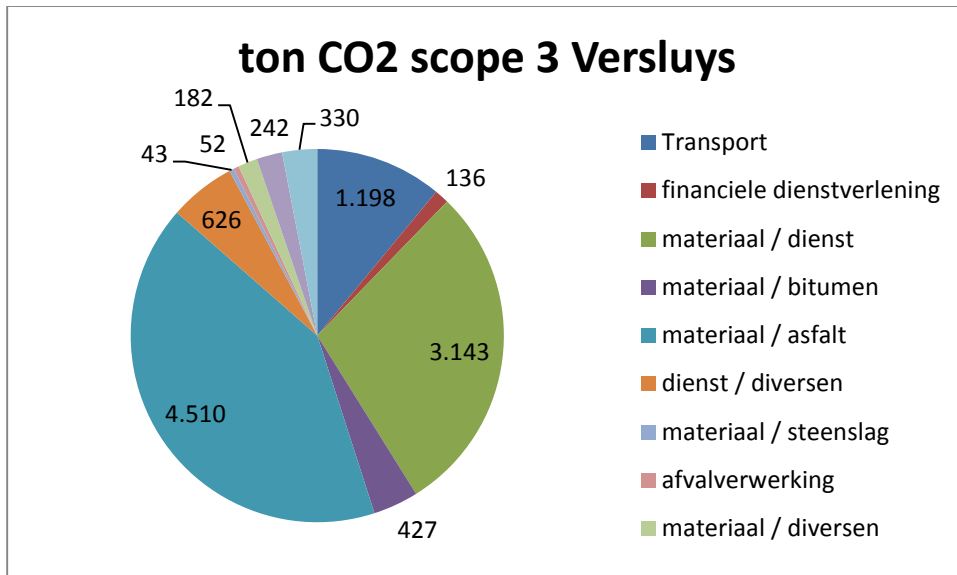
Leo Smit van CO2Management en mede auteur van deze ketenanalyse is als energeticus en docent energiebeheer direct betrokken geweest bij het uitvoeren van de scope 3 analyse en het beoordelen van de ervaringscijfers en overige kentallen.

## **1.2 Doelstelling van het opstellen van de ketenanalyse**

De grootste invloed van Versluys op haar scope 3 emissies zit in de gebruikte grondstoffen en het aanbrengen daarvan. Deze is te beïnvloeden door ontwerpkeuzes t.a.v. de materialen en de gehanteerde werkmethode. In deze ketenanalyse is er voor gekozen om inzichtelijk te maken hoe Versluys en bedrijven in de sector tot een positieve beïnvloeding kunnen komen.

## 2. Vaststellen van de scope van de ketenanalyse

Uitgaande van de scope 3 analyse is een kwantitatieve analyse gemaakt voor de “upstream” categorie Purchased goods & Services zoals benoemd in het Green House Gas Protocol.



De zogenoemde meest materiele emissie is terug te vinden bij ingekochte asfaltproducten. Daarnaast zijn de categorie materiaal / diensten die grotendeels bepaald wordt door onderaanneming en het transport de belangrijkste posten.

Als gedurende de levensduur van een weg minder materiaal hoeft te worden verwijderd of aangebracht heeft dit direct een positieve invloed op de genoemde posten.

## 4. Vaststellen systeemgrenzen

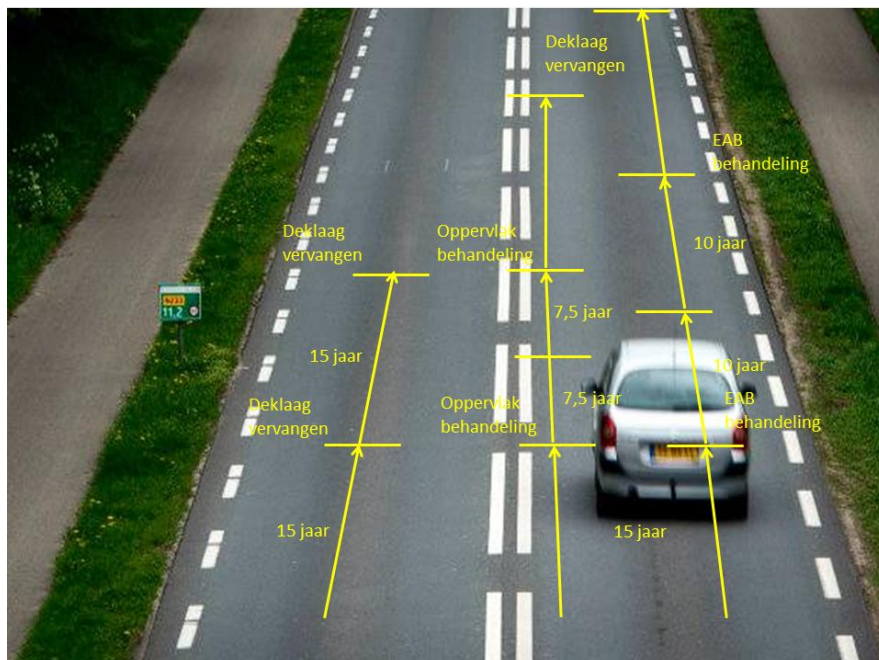
Zoals aangegeven bij het vaststellen van de scope c.q. afbakening heeft deze ketenanalyse invloed op het gehele proces van wegenbouw. Aangezien ruim 90% van de wegwerkzaamheden valt onder grootschalig of kleinschalig onderhoud is t.a.v. de in stand houding van wegen de belangrijkste voordelen te behalen.

In deze ketenanalyse wordt gekeken naar het effect van het tijdig toepassen van een dunne deklaag zoals emulsie asfaltbeton of een meer algemene oppervlakbehandeling t.o.v. het langer wachten met onderhoud en intensiever onderhoud van de deklaag met dicht asfaltbeton (DAB) of steenmastiek asfalt (SMA). Deze laatste wordt vooral gebruikt als geluidsreductie een belangrijk aspect is. Ook kan het dunner worden aangebracht.

Daarnaast wordt voor de situatie van Versluys specifiek aandacht besteed aan de mogelijkheid om de producten Lynpave en Gravilyn in te zetten vanwege de betere milieuprestaties t.o.v. de asfaltproducten die nu worden toegepast.

### 4.1 Onderhoudsproces

Er zijn een aantal mogelijkheden om de levensduur van een deklaag te herstellen en daarmee grotere schade aan de weg te voorkomen wat het noodzakelijk maakt om een nieuwe deklaag aan te brengen. Enerzijds zal periodiek de oude deklaag moeten worden vervangen en anderzijds kan deze vervanging in belangrijke mate worden uitgesteld door het toepassen van een oppervlakbehandeling (OB). Bij hogere eisen t.a.v. het wegdek kan er gekozen worden voor Emulsie-asfaltbeton (EAB). Dat is een uitstekend functioneel alternatief als de bevonden nadelen van een oppervlakbehandeling te groot worden geacht. EAB geeft ook een extra geluidsreductie t.o.v. een OB behandeling.



Figuur 1: Scenario's wegenonderhoud

Voor het wegonderhoud zijn er verschillende scenario's denkbaar. Deze worden in bovenstaande afbeelding geschetst. In de scenario's met OB en EAB zien we vooral de levensduur verlengde rol van deze behandelingen, waardoor de meer intensieve wegwerkzaamheden, het vervangen van een deklaag, langer kan worden uitgesteld. Uiteraard zijn de aangegeven termijnen bij de drie scenario's sterk afhankelijk van ondergrond en gebruikscondities. Het voorbeeld is bedoeld om in verhouding te laten zien welke voordelen er zijn te behalen t.a.v. de CO2 uitstoot per m2 wegoppervlak per tijdsperiode.. Uiteraard vertaalt dit zich ook direct in kosten van het wegenbeheer. Het juiste moment om een bepaalde behandeling uit te voeren zal uiteraard op basis van de wegdekinspectie worden vastgesteld.

#### Scenario 1: DAB

##### Materiaal:

- Ca 16 kg EAB per m2

##### Werkmethode:

#### Scenario X: SMA (Steenmastiekasfalt 10 - 30 mm )

##### Materiaal:

- Bitumen 80/100 vaak gemodificeerd, steenslag groevemateriaal
- SMA temperatuur 175 graden Celcius, ca 35 kg/m2

##### Werkmethode:

- belijning verwijderen, frezen, afvoeren, reinigen, kleeflaag, mengen en aanbrengen
- Verwerking bij ca. 140 graden Celsius.
- Aanvoer rechtstreeks van de asfaltcentrale.

#### Scenario 2: OB (Oppervlakbehandeling 4 – 10 mm)

##### Materiaal:

Een oppervlakbehandeling bestaat uit een bitumenemulsie 70% bitumen (ca 50% is polymeer gemodificeerd) en 30 % water waarop morene steenslag korrelgrote 4/8, en/of 2/6 wordt aangebracht.

- Bindmiddelfilm gem 1.7 kg/m2 emulsie (residueel 1.2 kg/m2 bitumen)
- Ca 11 kg/m2 steenslag

##### Werkmethode:

- Snelle uitvoering 25.000 á 40.000 m2 per dag per werkploeg
- Eventueel frezen t.b.v. vlakheid en eventueel belijning verwijderen en wegdekreinigen.
- Het bindmiddel wordt bij 50 á 60 graden aangevoerd en aangebracht en indien nodig opgewarmd in de sproeiauto.
- Vrachtauto's met steenslag strooi inrichting, afhankelijk van transportafstand in depot aangevoerd en beladen met mobilekraan.
- Losliggend steenslag opnemen en indien nodig afvoeren naar asfaltcentrale of puinrecycling.

Verder praktische aspecten als verkeersregelaars.

#### Scenario 3: EAB (Emulsie-asfaltbeton 4 - 10 mm)

Materiaal:

EAB bestaat uit een mix van breekszand en een mengsel morenesteenslag 0/6 of 0/3 gebonden met bitumen emulsie (met latex modificatie). Een totaal massagewicht bedraagt ca. 16 kg per m<sup>2</sup>.

- Breekszand
- Bitumen emulsie
- Steenslag

Werkmethode:

- De grondstoffen voor het Emulsie-asfaltbeton worden in een mobiele installatie bij omgevingstemperatuur gemengd en direct daarna op het wegdek aangebracht.
- Het bindmiddel wordt aangevoerd met ca. 50 graden. Tijdens verwerking geen verwarming.
- evt frezen tbv vlakheid, evt belijning verwijderen, wegdekreiniger. Productie project afhankelijk 2.000 – 8.000 m<sup>2</sup> per dag per werkmethode.

#### **4.5 Uitsluitingen**

OB kan zeer snel worden aangebracht. Naast dat dit de CO<sub>2</sub> overhead per m<sup>2</sup> sterk omlaag brengt leidt dit ook tot een relatief korte tijd dat de weg afgesloten dient te worden. Dit betekent in de praktijk veel minder omrijden door het verkeer en daarmee minder CO<sub>2</sub> uitstoot door het verkeer. Aangezien dit sterk situatie afhankelijk is, is er in de verdere berekening geen rekening mee gehouden.

#### **4.6 Datacollectie en datakwaliteit**

Door het groot aantal project van Versluys & Zoon B.V. is er een breed ervaringsveld. Er is zoveel mogelijk gekeken naar de werkelijke verwerkte hoeveelheden en marktontwikkelingen binnen de projecten van haar organisatie.

Waar mogelijk is gebruik gemaakt van de kentallen van eerder uitgevoerde studies naar de specifieke producten. Verder is er zoveel mogelijk gebruik gemaakt van kentallen uit de praktijk als het om de hoeveelheden materiaal gaat.



## 6. Kwantificeren van emissies

### 6.1 Berekening

Het vertrekpunt bij het uitwerken van de drie scenario's zijn de kentallen in MJ per m2 uit een specifieke studie naar (dunne) deklagen. Deze zijn achtereenvolgens verwerkt in een drietal tabellen, waarbij uiteindelijk op basis van het in Figuur 1: Scenario's wegenonderhoud, geschetste scenario de factor tijd is verdisconteerd.

Werkzaamheden	Scenario 1: DAB [MJ/m2]	Scenario 2: OB [MJ/m2]	Scenario 3: EAB [MJ/m2]
Uitfrezen	3,6	-	-
Afvoeren freesmateriaal	15	-	-
Productie	53,9	3,5 *1	4,6
Transport	12,3	0,2 *2	0,4
Verwerking	1,2	0,03 *3	0,2
<b>Totaal</b>	<b>86,0</b>	<b>3,73</b>	<b>5,2</b>

1. Bron: Life Cycle Inventory Bitumen: Published by the European Bitumen Association, 2012

2. Wegenbouw met Bitumen Emulsie, J. van der Kooij, 5 Juni 1997

3. Geschat op basis van CROW studie naar onderscheid OB en EAB

\*1 Op basis van materiaalgebruik en hoeveelheid.

\*2 OB kan lokaal worden bereid en hoeft niet via derden te worden aangevoerd.

\*3 OB wordt ca. 8 x zo snel aangebracht als EAB en kent daarom een relatief lage energie input voor het aanbrengen.

De in onderstaande tabel opgenomen kentallen zijn op basis van een het kental 0,04174 ton CO2 per ton asfalt omgerekend op basis van het soortelijk gewicht van asfalt (2500 kg per m3).

(<http://gwwmaterialen.blogspot.nl/p/soortelijk-gewicht.html>) naar een hoeveelheid CO2 per m2.

Uitgaande van 4 cm dikte voor DAB.

Werkzaamheden	Scenario 1: DAB [kg CO2/m2]	Scenario 2: OB [ kg CO2/m2]	Scenario 3: EAB [kg CO2/m2]
Uitfrezen	0,175	0,000	0,000
Afvoeren freesmateriaal	0,728	0,000	0,000
Productie en nieuw asfalt	2,616	0,170	0,223
Transport	0,597	0,010	0,019
Verwerking	0,058	0,001	0,010
<b>Totaal</b>	<b>4,174</b>	<b>0,181</b>	<b>0,252</b>

In de tabel hier boven is de CO2 prestatie per m2 uitgedrukt per levensjaar van de weg.

Op basis van de in Figuur 1: Scenario's wegenonderhoud, aangegeven scenario's kan de uitstoot in de tijd als volgt worden uitgedrukt.

Werkzaamheden	Scenario 1: DAB [kg CO2/m2 per jaar]	Scenario 2: OB [kg CO2/m2 per jaar]	Scenario 3: EAB [kg CO2/m2 per jaar]
behandelingen: periode 45 jaar	3x DAB	2x DAB, 2x OB	1 + 3/4 DAB, 2x EAB
Uitfrezen	0,012	0,008	0,007
Afvoeren freesmateriaal	0,049	0,032	0,028
Productie	0,174	0,124	0,112
Transport	0,040	0,027	0,024
Verwerking	0,004	0,003	0,003
<b>Totaal</b>	<b>0,218</b>	<b>0,153</b>	<b>0,138</b>
procentueel [%]	100	70	63

Op basis van de drie scenario's voor het wegenonderhoud is goed te zien hoe het tussentijds toepassen van een oppervlakbehandeling de totale CO2 uitstoot per m2 per jaar met ca. 25 tot 40% kan verminderen. Om uitgaven op de korte termijn uit te stellen wordt in de praktijk echter vaak (te) lang gewacht met het uitvoeren van deze werkzaamheden, waardoor alleen een DAB behandeling de weg weer in een acceptabele conditie kan brengen. Gesteld kan worden dat uitstellen van een oppervlak of EAB behandeling op langer termijn leidt tot een grotere CO2 uitstoot. De kosten zullen hier grotendeels gelijk mee oplopen. Een EAB behandeling is duurder dan een OB behandeling door de bereiding en verwerking. Niettemin heeft een EAB behandeling naar verwachting een langere levensduur, waarbij zowel de kosten als de CO2 impact over een langere termijn kunnen worden verdeeld. Daarnaast kennen beide behandelingsmethode ieder ook hun eigen specifieke toepassingsgebied.

## 6.2 Onzekerheden

In deze analyse is uitgegaan van een drietal scenario's. Uiteraard kent de praktijk veel meer variabele. Deze analyse is er echter voor bedoeld om inzichtelijk te maken hoe het tijdig toepassen van oppervlakbehandelingen een grote reductie in CO2 uitstoot en daarmee ook kosten kan bewerkstelligen.

Onzekerheden t.a.v. de aangenomen emissies op basis van bestaande rapporten van asfalt, OB en EAB zullen dit beeld niet veranderen.

## **8. Reductiemogelijkheden ketenonderzoek**

Deze ketenanalyse is een eerste stap om antwoord te geven op de vraag in hoeverre opdrachtgevers door een gewijzigd onderhoudsbeleid een verbetering kunnen bereiken van de CO2 uitstoot bij het beheren van provinciale en gemeentelijke asfaltwegen.

Ca. 50% van al het ingekochte asfalt is binnen de bedrijfsvoering van Versluys bestemd voor DAB (deklagen). Het kunnen uitstellen van het vervangen van deklagen biedt dus vanuit milieu oogpunt veel voordelen. Uiteraard worden deze behandelingen nu ook regelmatig gedaan dus het gaat om het potentieel wat nu onbenut blijft. Op basis van praktijkervaringen kan gesteld worden dat er in Randstedelijk gebied tot 15% meer dunne deklaag behandelingen kunnen worden toegepast en in de minder intensief bereden gebieden wel 30% extra toepassing kan plaatsvinden. Dit zijn uiteraard inschattingen op basis van waarneming in de praktijk zijn ingeschat. Uitgaande van een gemiddeld percentage van 20% meer dunne deklagen behandelingen en de daarmee verlengde levensduur voordat een DAB behandeling nodig is (op basis van hoofdstuk

6. Kwantificeren van emissies) is er na correctie voor de levensduur van de diverse producten en uitgaande van 20% een extra besparing per m<sup>2</sup> te behalen van ca. 0,05 kg CO<sub>2</sub> per m<sup>2</sup> per jaar.

Voor Versluys kan dit daarmee vanwege het voornamelijk (Rand)stedelijke gebied op basis van een voorzichtige aanname ca. 500 ton per jaar uitstoot schelen. Hierbij dient de kanttekening gemaakt te worden dat het beleid van opdrachtgevers nu eerder omgekeerd is geweest de afgelopen jaren. Het kan betekenen dat op dit punt eerst een achterstand moet worden ingehaald, waarbij uiteraard het positieve effect in de toekomst kan worden geogst.

de provinciale wegen hebben een lengte van 7.939 km en de overige gemeentelijke en waterschapswegen 123.237 km. (bron: <http://www.wegenwiki.nl/Nederland>)

Voor heel Nederland kan een consequente inzet van dunne deklaagtechnieken een besparing van ca. 40.000 ton CO<sub>2</sub> per jaar opleveren (afgeronde waarde). Hiervoor kunnen 13.000 auto's een heel jaar rijden bij uitgaande van een gemiddeld verbruik van 6,7 liter per 100 km gemiddeld verbruik en 15.000 kilometer per jaar). Dit komt tevens overeen met ca. 12 windturbines van 3 MW uitgaande van een omzettingsrendement van diesel naar elektriciteit van ca. 50%. Gesteld kan worden dat om de wegen in optimale conditie te houden je een kosten en CO<sub>2</sub> reducerende maatregel hebt. Dit vormt voor beleidsmakers een interessante overweging op het moment dat het onderhoudsbudget voor de wegen op de politieke agenda komt.

Op dit moment kan gesteld worden dat door achterstallig onderhoud op de huidige wegen deze werkmethode vooral een investering zal zijn in de toekomstige CO<sub>2</sub> uitstoot van het wegenonderhoud.

## 9. Strategie

Het belang van de juiste keuzes bij het onderhoud van wegen is in deze ketenanalyse kwantitatief onderbouwd. Het potentieel tot CO<sub>2</sub> reductie is zonder meer interessant. Echter de mate waarin dit potentieel benut kan worden is sterk afhankelijk van de gekozen strategie voor het wegenonderhoud bij de opdrachtgevers van Versluys.

Met deze ketenanalyse tracht Versluys bij haar opdrachtgevers het belang van tijdig onderhoud onder de aandacht te brengen.

Anderzijds zal Versluys haar inkoopkracht gebruiken om waar mogelijk innovatieve verhardingsproducten te gebruiken die beduidend beter scoren op de diverse milieucriteria.

In de wegenbouw wordt er al geruime tijd onderzoek gedaan naar minder energie intensieve varianten van de meest gangbare asfalt producten.

Versluys zet voor de toekomst in op de producten LynPave (<http://www.lynpave.nl/>) en Gravilyn.

LynPave is een alternatief asfaltproduct, waarbij enerzijds naar het gebruik van herwinbare grondstoffen (afhankelijk van de toepassing zoveel mogelijk lijnolie i.p.v. bitumen) is gekeken en anderzijds de energie impact. Lynpave is met de huidige techniek tegen een ca. 20% lagere CO2 uitstoot toe te passen dan het gangbare asfalt.

Versluys verwacht dat LynPave de komende 10 jaar tot een volume kan groeien van 80% van de totale asfalt inkoop. Daarmee kan vanaf dat moment 850 ton aan CO2 uitstoot per jaar vermeden worden.

Naast Lynpave is er ook het volledig koud bereide product Gravilyn. Het is een product met een specifiek toepassingsgebied voor minder zwaar belaste wegdekken. Niettemin biedt het veel voordelen t.o.v. het toepassen van regulier asfalt. Een CO2 reductie van 30% t.o.v. de standaard asfaltproducten is een op dit moment gangbaar getal. Op dit moment worden al de eerste grote projecten met dit product uitgevoerd, waarvan 20.000 m2 in Maastricht. Het is een product met een specifiek toepassingsgebied. Om die reden is de verwachting dat 5% van de huidige inkoop van regulier asfalt in een periode van 10 jaar vervangen kan worden door Gravilyn. Dit levert dan vervolgens een extra scope 3 reductie op van ca. 75 ton per jaar.

Een belangrijke conclusie die getrokken kan worden uit deze ketenanalyse is een aspect wat vaak naar voren komt als het gaat om invulling te geven aan een meer duurzame oplossingsvariant. Dit geldt of het nu gaat om de energievoorziening of ons materiaalgebruik. De oplossing zit niet in het kiezen van één ultieme variant maar het bepalen van wat het beste product is voor de specifieke situatie. Een goede informatievoorziening is hierbij van groot belang om tot de juiste keuzes te komen.

Samenwerkingsverbanden binnen de wegenbouw hebben inmiddels diverse alternatieve producten met een veel betere milieuprestatie naar voren gebracht dan de op dit moment veelal nog gangbare oplossingen. Deze producten kennen een eigen toepassingsgebied. Om de toepassing van deze alternatieven een goede kans van slagen te geven is het cruciaal dat in de planvormingsfase of het nu gaat om onderhoud of nieuwbouw aandachtig gekeken wordt naar het best passende product bij de gegeven situatie.

## **9.2 Reductiedoelstellingen per jaar**

Oplopend over een periode van tien jaar verwacht Versluys vanaf 2016 200 ton CO2 per jaar te kunnen besparen oplopend naar 1000 ton CO2 per jaar in 2026. Uiteraard zal dit worden gerelateerd naar het aantal m2. In procenten kan dit worden gezien als ca. 4% reductie oplopend naar ca. 20% in 2026.

### **Literatuur en databases**

4. Stadswerk 2008 #24, Thijs van Hoof, Deklagen genoeg, maar hoe kies je de juiste? 2008
5. Life Cycle Inventory Bitumen: Published by the European Bitumen Association, 2012
6. Wegenbouw met Bitumen Emulsie, J. van der Kooij, 5 Juni 1997
7. Ketenanalyse Jansma Wegen en milieu, 4 oktober 2011
8. Rapportage\_asfaltproductie\_2.1 Oosterhof Holman 10-10-2012

9. Ecoinvent, CO2emissiefactoren.nl, GWW materialen.nl