

Waarom de remix en repave methoden
nooit van de grond kwamen, een
onderzoek naar hot ‘in place’ asfalt
recycling in Nederland voor RWS.



Opdrachtgever:
Rijkswaterstaat
PPO Zuid Nederland

Opdrachtnemer:
Factstory Business Recovery BV
Mark Tieleman

Maart 2022



Managementsamenvatting



Rijkswaterstaat heeft de ambitie om bij te dragen aan klimaatdoelstellingen die zijn gesteld vanuit het ministerie. Hiertoe onderzoekt zij de mogelijkheden om meer circulair en duurzaam te zijn. Eén van de initiatieven die zij hiervoor is gestart is het onderzoek naar de *asphalt recycle train* (ART) in samenwerking met Dura Vermeer. Tijdens de presentatie van de ART vroegen oud-RWS'ers zich af of dit initiatief niet hetzelfde is als de vergelijkbare methoden van remix en repave voor het hergebruik van asfalt ter plekke (*in place*), waarnaar RWS in de jaren 90 ook al onderzoek naar heeft gedaan, maar deze methode nooit geïmplementeerd heeft.

Dit rapport heeft de vraag beantwoord waarom RWS ooit is gestopt met het implementeren van deze methoden door middel van literatuuronderzoek en de betrokkenen te interviewen. De literatuur bleek geen eenduidig antwoord te kunnen bieden op de onderzoeksvraag, maar dankzij de welwillendheid en expertise van de geïnterviewden kon er toch een hoogstwaarschijnlijk antwoord geformuleerd worden op deze vraag.

De repave en remix methode leken ook destijds al veel potentie te hebben om toegepast te worden. Ze hadden de potentie om kosten en materialen te besparen, maar desondanks zijn ze nooit geïmplementeerd door Rijkswaterstaat. Er waren namelijk twijfels over de kwaliteit met betrekking tot de waterdoorlatendheid, de geluidsreductie en de levensduur van gerecycled ZOAB, maar bovenal duurde deze methoden langer dan het asfalt gewoonweg vervangen en zou het nog langer kunnen duren als het regent, omdat het mengsel eerst moet drogen voordat het weer opgewarmd kan worden. Verkeershinder voorkomen tijdens onderhoud was destijds misschien wel de hoogste prioriteit van Rijkswater. Repave of remix werd dus niet als eis gesteld in de opdrachten die werden uitgezet door RWS en de markt ((onder)aannemers en asfaltcentrales) zelf had er geen enkel (economisch) belang bij om hiermee aan de slag te gaan omdat ze juist een winstmarge hadden op de geleverde materialen. Zodoende is het in place recyclen nooit van de grond gekomen.





Doordat duurzaamheid een zwaarder wegende prioriteit is geworden dienen deze (en vergelijkbare) methoden voor het hergebruiken van asfalt in place weer onderzocht te worden in de huidige context. Bovendien is het ook qua kostprijs voor de benodigde materialen interessanter geworden om meer te recyclen omdat deze over de gehele linie stijgende zijn. In essentie is de ART vergelijkbaar met de repave en remix methoden, maar er zijn wel nieuwe ontwikkelingen die de ART meer kans van slagen geven, zoals: nieuwe reinigingsmachines, andere opwarmtechnieken en een veranderd areaal; er liggen nu lange, aaneengesloten stroken ZOAB die tegelijk vervangen kunnen worden. Eenieder van de geïnterviewde experts geeft daarom *hot in place* recycling een goede kans om in de toekomst een veelvuldig toegepaste methode te worden, maar om dit tot een succes te maken, is er nog wel een goed en gedegen onderzoek nodig. Wat dit rapport in ieder geval laat zien is dat RWS een meer actieve rol moet nemen in de verduurzaming van zijn opdrachtnemers, omdat het belang om te verduurzamen bij hen ontbrak. Er is nog wel meer onderzoek nodig naar de prijsindex van asfalt, want hier is een indicatie gegeven o.b.v. olieprijs en in hoeverre de asfaltcentrales hier invloed hebben.



Inhoud



Managementsamenvatting.....	2
Inhoud.....	4
Inleiding	5
1.1. Onderzoeksopzet	5
1.1.1. Literatuuronderzoek	6
1.1.2. Interviews	6
2. Zeer Open Asfalt Beton en hergebruik	7
2.1. Levensduur.....	9
2.2. Krachtenveld in wegenbouw	10
2.3. De repave en remix methoden	11
2.4. De huidige stand van zaken m.b.t. hergebruik	12
3. Redenen waarom er met repave en remix gestopt is.....	14
3.1. Technische moeilijkheden met hergebruik ZOAB.....	14
3.1.1. Kwaliteit (levensduur verlengend i.p.v. sprake van 'nieuw' asfalt)	14
3.2. Niet-technische moeilijkheden met hergebruik ZOAB	16
3.2.1. Prioriteiten	16
3.2.2. Markt	17
3.2.3 Complexiteit.....	20
3.3 Nieuwe ontwikkelingen	20
Conclusie.....	22
Advies	24
Bronnen	27



Inleiding



Duurzaamheid is een steeds belangrijker thema geworden voor de samenleving, de wereld en natuurlijk ook voor overheidsinstanties. Dit geldt zeker ook voor Rijkswaterstaat (RWS), die de doelstelling heeft om in 2050 CO2 neutraal te zijn en te werken met circulaire materialen. Hiervoor moeten al voor 2030 de kaders klaarliggen conform de 'materialenstrategie'.¹ Dit is ook de reden dat RWS in samenwerking met Dura-Vermeer de ontwikkeling van *Asphalt Recycle Train* (ART) voor het hergebruik van Zeer Open Asphalt Beton (ZOAB) heeft gestimuleerd en de toepassing ervan nog verder wil opschalen. Bij de presentatie hiervan werden er echter door ervaren mensen binnen en buiten Rijkswaterstaat vragen gesteld in hoeverre deze methode verschilt van de repave en remix methoden waarnaar in de jaren 90 onderzoek is gedaan, maar die nooit breed zijn ingezet voor het hergebruiken van ZOAB. Er werd geïmpliceerd dat hier waarschijnlijk wel een goede reden voor was, maar niemand dit kon precies benoemen. Dit onderzoek probeert een antwoord te formuleren op de vraag: 'waarom is RWS ooit gestopt met het implementeren van de repave en remix methoden?' en het hoopt er zodoende aan bij te dragen dat er alsnog lering getrokken wordt uit de lessen van het verleden.

1.1. Onderzoeksopzet

Om deze vraag te beantwoorden is er eerst een literatuuronderzoek gedaan. Hiernaast zijn er interviews geweest met mensen die relevante informatie konden toevoegen vanuit hun kennis en expertise, of door hun betrokkenheid bij de eerste onderzoeken naar repave en remix. Zodoende is er inzicht verkregen in de redenen waarom deze methoden niet verder zijn toegepast in het verleden en uiteindelijk ook welke uitdagingen er zijn voor het hergebruik van ZOAB nu. Er zijn acht

¹ Marieke Bos, Thessa Lageman en Lie Chahboun. *Circulair durven en doen: Vijf jaar Impulsprogramma CE Rijkswaterstaat*. RWS, 2021, van: https://puc.overheid.nl/rijkswaterstaat/doc/PUC_701445_31/2/



gesprekken gevoerd met verschillende stakeholders, daarnaast is er ook met meerdere intensief mail contact geweest met de stakeholders en experts op dit gebied.

1.1.1. Literatuuronderzoek



Het literatuuronderzoek begon veelbelovend. Er waren allerlei rapporten te vinden over de onderzoeksfase van het gebruik van ZOAB d.m.v. remix en repave, zoals de tussenrapporten (1995) en het eindrapport (1998) van *Hergebruik van Zeer Open AsfaltBeton door middel van De REMIX en de REPAVE techniek* en *Hergebruik ZOAB : dat gaat ZO!! : stand der techniek 1998 : hergebruik Zeer Open Asfalt Beton* (1998). Deze rapporten stellen dat er veel kansen zijn voor deze methoden en ze voorzien mogelijkheden om ze in de praktijk te brengen. Dit is ook het concluderende advies. ZOAB was destijds een nieuw type deklaag in Nederland. Na deze eerste onderzoeken wordt het mogelijke hergebruik plotseling bijna nergens meer genoemd en er is hiervoor geen reden gevonden in de literatuur. Sinds 2012 wordt repave en remix hier en daar genoemd in mogelijkheden van hergebruik doordat duurzaamheid en circulariteit belangrijker worden, maar er wordt in de recentere literatuur nergens diep op ingegaan.² De logische vervolgstap werd daardoor in dit onderzoek al snel gezet; de onderzoekers, (oud-)RWS'ers en Freesmij werden benaderd voor een interview om de onderzoeksvraag van het waarom er nooit echt is doorgezet met het hergebruik van ZOAB te beantwoorden.

1.1.2. Interviews

Nadat het meeste literatuuronderzoek gedaan was zijn er vervolgens interviews ingepland met personen die tijdens het literatuuronderzoek kwamen bovendrijven als stakeholders. Met de overige is er mailcontact geweest waarin er wat vragen zijn voorgelegd. Iedereen was hiervoor zeer behulpzaam en heeft ruim de tijd genomen om mij, als leek, geduldig van antwoorden te voorzien. Hier ben ik hen ook zeer erkentelijk voor. Deze personen zijn:

- Jan Voskuilen, ex-projectleider onderzoek en adviseur RWS en eigenaar Groen Asfalt

² Bijvoorbeeld in deze thesis: Pol, Chris van de. *Heating of porous asphalt for in-situ recycling*, 2019. Hierin worden ook de oude rapporten benoemt in de inleiding en dat het destijds veelbelovend was, maar er wordt niet diep op het waarom ingegaan.



- Jasper van der Kooij, ex-projectleider bij RWS en eigenaar Asfaltblik
- Andre Molenaar, emeritus professor TU Delft, gespecialiseerd in asfalt
- Ron van der Aa, senior-adviseur asfalt PPO bij RWS
- Hans van der Aa, senior materiaal adviseur RWS
- Wilfred Nijssen, senior-adviseur materiaaltechnologie bij RWS
- Henk Snoeijink, regioleider bij Freesmij
- Dave van Vliet, TNO
- Robbin Veenema, Operationeel Technisch Manager RWS Oost.

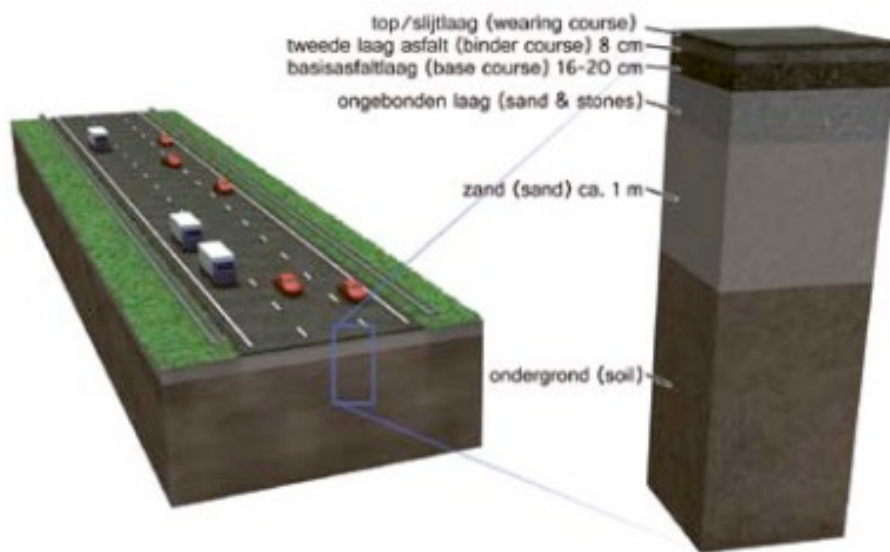
2. Zeer Open Asfalt Beton en hergebruik

Voor de volledigheid van het onderzoek zal er eerst stil gestaan worden bij asfalt in zijn algemeen en ZOAB in het bijzonder voordat er ingegaan wordt op manieren van hergebruik van dit speciale type asfalt.

Asfalt is een mengsel van zand, steentjes (steenslag), vulstof en bitumen. De samenstelling kan dus variëren doordat er afweken kan worden in de soorten van deze vier componenten. Voor de vulstof kan bijvoorbeeld vliegias, of kalksteenmeel gebruikt worden. Bitumen is in de regel een restproduct van het raffinageproces van aardolie, maar er zijn momenteel ook bitumen in ontwikkeling van biologische materialen. “Rijkswaterstaat is in de jaren vijftig overgeschakeld van beton naar asfalt (zogenaamd dicht asfaltbeton (DAB) voor de Rijkswegen. De innovatie droeg bij aan de moderne automobilititeit.



figuur 1: asfaltlagen op een weg



De 'lineaire' karakteristieken van asfalt speelden in het hele innovatieproces destijds geen enkele rol."³ Bij wegwerkzaamheden werd het oude asfalt afgevoerd en in eerste instantie amper hergebruikt. Dit stond pas decennia later ter discussie. "Inmiddels is Nederland wel koploper in de wereld als het gaat om hergebruik in algemene zin van asfalt. Samen met Japan lopen wij ver voor op de rest van de wereld."⁴ Nederland is slechts een klein land met weinig gebieden waar materiaal gewonnen kan worden en nauwelijks gebieden waar materiaal gestort kan worden."⁵ Vandaar dat het van maatschappelijk belang is om te hergebruiken. "Deze koppositie hebben we de afgelopen 20 à 30 jaar bereikt en daar zijn we erg trots op." aldus Jan van der Zwan, projectmanager hergebruik asfalt bij RWS, in: *Otar* 87, 2006, okt., 8. "Er is echter nog steeds veel te winnen op het gebied van het hergebruiken van asfalt. Bij de winning, productie en toepassing van beton, asfalt, wegverharding en staal stoot RWS circa 340 kiloton CO₂ uit (rapport Primum+, CW/183583, 28 juni 2018, 11). En asfalt is na grondverzet de grootste materiaalstroom van Rijkswaterstaat."⁶

Nederland is dus goed op weg op het gebied van circulariteit, maar er is ook nog veel te winnen op dit terrein, bijvoorbeeld met het hergebruiken van ZOAB. Dit is in vergelijking met DAB een

³ Harry Lintsen & Eric Berkers. *Wat leert de geschiedenis ons over circulariteit: een historisch essay over Rijkswaterstaat en circulariteit*, 2021.

⁴ Ibid.

⁵ Ibid.

⁶ Ibid.



complexer mengsel, en daarom ook moeilijker te hergebruiken. ZOAB staat voor Zeer Open Asfalt Beton. Doordat het 'open' is, zit er meer lucht in. Het mengsel moet voor minimaal 20% uit holle



ruimte bestaan om van een hoogwaardig ZOAB te kunnen spreken. In 1972 zijn er voor het eerst tests gedaan met ZOAB. Er is toen een proefvak aangelegd in Ugchelen, waarna vele ZOAB-proefvakken volgden op snelwegen. Pas in 1987 werd ZOAB in beperkte mate vrijgegeven t.b.v. veiligheid voor een aantal locaties. Pas in 1990 was het beleid om standaard bij nieuwbouw en groot onderhoud op het gehele hoofdwegennet geluid reducerend asfalt aan te leggen in de vorm van ZOAB. De bovenste laag is de belangrijkste en de meest complexe. Deze brengt wel de grootste voordelen van ZOAB met zich mee, doordat het zorgt voor grotere waterdoorvoer en de geluidsreductie.

2.1. Levensduur

De onderste lagen zorgen voor draagkracht en zijn een stuk duurzamer en kunnen ook wel tot 40 jaar meegaan. De bovenste deklaag van ZOAB gaat maar tussen de 10 en 15 jaar mee voordat deze aan vervanging toe is. De gemiddelde levensduur van ZOAB-deklagen als gevolg van rafeling is 12-13 jaar met een brede spreiding tussen 7 en 19 jaar.

De oorzaken voor een kortere levensduur zijn:

1. beschadiging door schade;
2. wordt op ruime afstand gevolgd door verminderde stroefheid, spoorvorming en scheuren vanuit de ondergrond;
3. vorst in combinatie met oud-ZOAB (einde levensduur); waardoor de steentje niet meer verbonden worden met elkaar, omdat de vloeistoflagen teveel zijn geoxideerd (mede door ultraviolette straling van zon).



Het zelfherstel van huidig asfalt gebeurt nu 's nachts door het bitumen in het asfalt, maar deze eigenschap van bitumen neemt met het verloop van tijd af.⁷



Daarbij draagt meer en zwaarder verkeer bij aan meer schade aan het wegdek van de rijkswegen. Daarentegen is er steeds minder tijd beschikbaar om onderhoudswerkzaamheden uit te voeren, om zodoende de verkeershinder te beperken – voor weggebruiker én wegwerker.⁸

2.2. Krachtenveld in wegebouw

Bij het aanleggen en onderhouden van rijkswegen spelen diverse partijen een rol. Zo is de Rijksoverheid de opdrachtgever voor nieuw aan te leggen rijkswegen en ook de regisseur van het onderhoud aan het hoofdwegennet. Als uitvoerende instantie binnen het Rijk draagt Rijkswaterstaat zorg voor de realisatie van beide taken. Binnen stedelijk gebied en op provinciale wegen hebben de gemeenten respectievelijk provincies een vergelijkbare rol als Rijkswaterstaat. Wegbouwers voeren de daadwerkelijke werkzaamheden uit – zowel aanleg als onderhoud – in opdracht van Rijkswaterstaat, Provincies en Gemeenten. Industriële toeleveranciers leveren componenten zoals bitumen, steen- en zandmengsels en toeslagstoffen, die samengevoegd een mengsel vormen dat de wegbouwers bij de aanleg verwerken. De wetenschap – in de vorm van universiteiten en onderzoeksorganisaties – levert vernieuwende oplossingen – al of niet ‘op de vierkante centimeter’ – die in een later stadium – bijvoorbeeld met andere partijen – kunnen worden opgeschaald tot oplossingen in de praktijk.

Rijkswaterstaat is de grootste opdrachtgever in de grond-, weg- en waterbouw in Nederland, en ook veruit de grootste gebruiker van grondstoffen. Toch is de dienst geen alleenheerser in de sector. Zij is een van de vele klanten van materiaalproducenten en grondstoffenleveranciers. Rijkswaterstaat verwerkt grofweg 5 á 15 % van het totaal aan bouwstoffen in de bouwsector (zand, grind, klei, beton,

⁷ Eddy Brinkman, Eddy. Zelfherstellende verhardingen in de wegebouw, RWS 2010

⁸ Vliet, D. van. Hergebruik ZOAB-granulaat met schuimbitumen, 2003



metaal et cetera, exclusief zandsuppletie) en dat percentage verschilt per materiaal, voor beton is dat 0,5 á 1% van de Nederlandse markt en voor asfalt circa 15%.⁹

2.3. De repave en remix methoden

Er zijn drie soorten methoden te onderscheiden voor het hergebruik van asfalt in place: repave, remix en remix-plus. Deze zijn opgenomen in de RAW-begrippen 2010:

30.41.01 Begrippen repavemethode

01 te verstaan is onder:

- a. *het aanbrengen van een repave-overlay*: het in één arbeidsgang verwarmen, loswoelen en herprofilen van de bovenlaag van een bestaande asfaltverharding en het daarop aanbrengen van een laag nieuw asfalt;
- b. *het aanbrengen van een repave-inlay*: het door middel van vooraf frezen verwijderen van (een gedeelte van) de bovenlaag van een bestaande asfaltverharding en vervolgens het in één arbeidsgang verwarmen, loswoelen en herprofilen van de bestaande asfaltverharding en het in diezelfde arbeidsgang daarop aanbrengen van een laag nieuw asfalt;

30.51.02 Begrippen remixplusmethode

01 te verstaan is onder:

- a. *het aanbrengen van remixplus-overlay*: het in één arbeidsgang verwarmen en loswoelen van de bovenlaag van een asfaltverharding, het losgewoelde materiaal opnemen, homogeniseren en eventueel mengen met een bindmiddel, het profileren van het materiaal en het hierop aanbrengen van een laag nieuw asfalt;
- b. *het aanbrengen van een remixplus-inlay*: het door middel van vooraf frezen verwijderen van (een gedeelte van) de bovenlaag van een asfaltverharding en het daarna in één arbeidsgang verwarmen, loswoelen van de bestaande

⁹ Lintsen, H. & Berkers, E. *Wat leert de geschiedenis ons over circulariteit: een historisch essay over Rijkswaterstaat en circulariteit*, 2021.



asfaltverharding, het losgewoelde materiaal opnemen, homogeniseren en eventueel mengen met een bindmiddel, het profileren van het materiaal en het daarop aanbrengen van een laag nieuw asfalt.



30.51.02 Begrippen remixmethode

01 te verstaan is onder:

- a. *remixmethode*: Het in één arbeidsgang verwarmen en loswoelen van de bestaande asfaltlaag, het losgewoelde materiaal mengen, zo nodig onder toevoeging van een bindmiddel, met nieuw asfalt, zodanig dat een homogeen asfaltmengsel wordt verkregen en het spreiden en voor-verdichten van dit asfaltmengsel;
- b. *remixasfalt*: het asfalt dat wordt verkregen met de remixmethode;
- c. *het aanbrengen van remix-overlay*: het behandelen van een bestaande bovenlaag van asfalt met de remixmethode;
- d. *het aanbrengen van een remix-inlay*: het door middel van vooraf frezen verwijderen van (een gedeelte van) de bovenlaag van een asfaltverharding en het daarna behandelen van de resterende lagen met de remix-methode, zodanig dat geen hoogteverschillen aanwezig zijn tussen de bovenkant van de aangebrachte laag remixasfalt en de bovenkant van de laag waarop aangesloten wordt.¹⁰

Het verschil tussen repave en remix is dat er bij remix het losgemaakte materiaal meer wordt gemengd en er (meestal) materiaal wordt toegevoegd.

2.4. De huidige stand van zaken m.b.t. hergebruik

Repave en remix zijn echter nooit op grote schaal toegepast bij opdrachten van Rijkswaterstaat. Straks wordt er ingegaan op het waarom, maar eerst wordt er gekeken wat er nu wel gedaan wordt

¹⁰ CROW, Standaard RAW bepalingen, 2010



aan het hergebruik van ZOAB. Zoals eerder al gezegd wordt er veel gedaan om zoveel mogelijk (algemeen) asfalt te hergebruiken. De huidige stand van zaken m.b.t. hergebruik ZOAB is als volgt:



Hergebruik van asfalt gebeurt in Nederland voornamelijk 'in plant'. Dat betekent dat asfaltgranulaat wordt hergebruikt in asfaltcentrales in plaats van het lokaal hergebruik wordt ('in place'), zoals bij de remix en repave methoden van toepassing is. Dit recyclen 'in plant' gebeurt in twee typen asfaltcentrales: een continu proces of met een discontinu proces. Dit laatste komt het meest voor, en zo'n menger wordt ook wel charge menger genoemd. Alle asfaltcentrales kunnen asfalt maken op basis van hergebruikt asfaltgranulaat. Een van de beste asfaltcentrales op dit moment is bijvoorbeeld de HERO asfaltcentrale van KWS. Deze kan tot 100% asfaltgranulaat gebruiken. Een andere ontwikkeling is de zogenaamde 'LE2AP DZOAB Circulair' van BAM.¹¹ Hierbij wordt ZOAB-granulaat gescheiden in stenen (PA stone) en mastiek (mengsel van bitumen, vulstof en zand). BAM hergebruikt PA stone in LE2AP DZOAB Circulair en kan hiermee door mastiek te verschuimen en te hergebruiken 95% hergebruik bereiken. Bovendien kan dit mengsel bij ca. 100 graden Celsius worden geproduceerd i.p.v. 160 graden Celsius en dat levert een zeer lage MKI op.¹² Dit zijn goede stappen met betrekking tot hergebruik, maar dit valt buiten de onderzoeksvraag die voor dit onderzoek leidend is, omdat de repave en remix methoden, net zoals de ART 'in place' zijn. Er zijn dus wel ontwikkelingen toegepast met het oog op hergebruik van asfalt, maar geen een daarvan is in place. In het volgende hoofdstuk wordt er ingegaan waarom dit nooit op grote schaal in de praktijk is gebracht door RWS.

¹¹ BAM heeft een speciaal hergebruik proces ontwikkeld, genaamd LE2AP DZOAB Circulair: <https://www.bamle2ap.com/nl>

¹² Zie hiervoor het certificaat van AsphaltNu (is een samenwerking van BAM en Heimans), die uitgegeven is door het asfaltloket van CROW: <https://www.crow.nl/getattachment/Asfalt-Impuls/Projecten/Asfaltkwaliteitsloket/Gevalideerde-producten/Certificaat-Asfaltkwaliteitsloket-AsfaltNu-LE2AP-DZOAB-95-Circulair.pdf.aspx?lang=nl-NL>, andere gevalideerde innovaties van asfalt staan in het volgende overzicht van CROS: <https://www.crow.nl/asfalt-impuls/projecten/asfaltkwaliteitsloket/gevalideerde-producten>



3. Redenen waarom er met repave en remix gestopt is.



Er zijn twee hoofdcategorieën te onderscheiden. Technische, en niet-technische aspecten, zoals marktwerking en beleidskundige oorzaken.

3.1. Technische moeilijkheden met hergebruik ZOAB

Het klinkt het eenvoudig, want in feite verliest ZOAB over de jaren niet aan materiaal (tenzij er flinke stukken worden uitgereden, maar dit is eerder uitzondering dan regel), en wordt het weer bewerkbaar wanneer het maar voldoende opgewarmd wordt. Er komt helaas meer bij kijken dan het opgewarmde mengsel te reinigen en er wat nieuw bindmiddel aan toe te voegen om weer hoogwaardig ZOAB te verkrijgen. De belangrijkste uitdagingen en hordes zijn:

3.1.1. Kwaliteit (levensduur verlengend i.p.v. sprake van 'nieuw' asfalt)

Er zitten bepaalde kwaliteitseisen aan ZOAB en het is maar de vraag of deze wel voldoende gehaald worden als er gebruik zou worden gemaakt van de repave en remix methoden.

3.1.1.1. Geluidreductie en Waterdoorlatendheid

Een risico voor het gerecyclede asfalt is dat het niet de vereiste 20% holle ruimte haalt die noodzakelijk is om van ZOAB te spreken. Volgens 'één van de geïnterviewde is dit namelijk maar 15% en dit komt voornamelijk door de vervuiling van klein materiaal.¹³ Hierdoor zou de waterdoorstroming minder worden, maar vooral ook de geluidsvermindering tenietgedaan worden. Er zijn geluidsplafonds afgesproken rondom wegen, dus het is van belang dat hieraan voldaan blijft worden, want anders moet RWS ook andere geluidsoverlast verminderende maatregelen nemen, zoals het plaatsten van geluidsmuren o.i.d.

Er zijn momenteel geavanceerdere machines voor het reinigen van ZOAB dan toen het eerste onderzoek naar repave/ remix is uitgevoerd. Deze 'cleaners' worden nu ook al in Nederland gebruikt

¹³ Interview 4, bijlage.



voor het schoonmaken van wegen die ernstig verontreinigd zijn, maar zijn nog niet gebruikt voor pilots in combinatie met repave of remix. Deze cleaners werken met hoge waterdruk en zijn in staat om onder verschillende hoeken te spuiten, wat het resultaat ten goede kan komen. Het is dus goed mogelijk dat er met de nieuwe reinigingsmachines die er nu zijn een hoger kwaliteit asfalt gehaald wordt, maar 100% gereinigd in place asfalt realiseren lijkt nu nog onmogelijk.

3.1.1.2. Levensduur

Het is zeer de vraag of de levensduur van gerepaved, of geremixt ZOAB gelijkwaardig is als die van een deklaag uit een vaste installatie. De homogeniteit van het gerecycled mengsel komt namelijk in het geding en dit, in combinatie met de hoge verkeersintensiteit, lijdt tot een verminderde levensduur, die dusdanig kort kan worden waardoor er weer teveel concessies gedaan worden op de doorstroom van het verkeer (waarover later meer). Het is volgens sommigen geïnterviewden daarom beter om gerepaved asfalt ook niet beschouwd te worden als nieuw asfalt, maar is het beter te spreken over een levensduur verlengende techniek.

3.1.2. ZOAB blijft na regen lang nat

ZOAB blijft na neerslag lang nat. Dit kost of heel veel energie, want het water moet er dan eerst uitgekookt worden om het mengsel tot 130+ graden op te warmen, of een lange wachttijd (paar dagen) om te wachten totdat het asfalt weer droog is, mits het in de tussentijd niet regent. Daarbovenop komt nog eens dat repave sowieso al twee keer zo lang duurt in vergelijking met frezen en een nieuwe laag aanbrengen.

3.1.3. Technisch Complex

Remix en repave zijn veel complexer. Het is bijvoorbeeld aan te raden om proefboringen uit te voeren om te zien welke compositie het te repaven asfalt heeft, en in welke mate het verontreinigd is. Hiermee vergeleken is frezen en vervangen veel eenvoudiger. Oud ZOAB is tevens lastiger te hergebruiken omdat het bindmiddel in veruit de meeste gevallen zodanig is verhard (tot een penetratie van 10 - 15) dat het moeilijk is op te werken tot een penetratie van ca 80. Het oude harde bitumen lost niet zo gemakkelijk op in de toegevoegde, nieuwe, veel zachtere bitumen. De kans dat het zgn. opgewerkte bitumen niet de eigenschappen heeft die het eigenlijk zou moeten hebben is dus reëel. Bovendien is de opbouw van het korrelskelet van groot belang; dat moet een bepaalde opbouw hebben anders haal je de noodzakelijke 20% holle ruimte niet. Omdat bij de repave techniek

het oude asfalt nog eens een forse hitte schok krijgt waardoor het bitumen verder zal verharderen en omdat bij het loswoelen het korrel skelet (de gradering) altijd zal worden verstoord (er zullen meer fijne delen dan wenselijk ontstaan) is het ter plekke hergebruiken van ZOAB bij lange na niet zo eenvoudig als het op het eerste gezicht mag lijken.



Verder is het zo dat de samenstelling en eigenschappen van het oude ZOAB van plaats tot plaats variëren en dit compliceert het ter plekke hergebruik nog verder. Dit allemaal in ogenschouw nemend is het misschien wel logisch dat het tot nu toe de voorkeur heeft genoten om het hergebruik van ZOAB in de asfaltcentrales de voorkeur te geven, ook omdat het bereidingsproces met een asfaltcentrale veel beter te sturen is.

3.2. Niet-technische moeilijkheden met hergebruik ZOAB

3.2.1 Prioriteiten

Er waren destijds vaak andere prioriteiten die zwaarder wogen dan inzetten op hergebruik en duurzaamheid. Vaak werd er voorrang gegeven aan andere zaken, zoals de doorstroom, kosten en de kwaliteit van het asfalt.

3.2.1.1. Doorstroom

Wegbeheerders worden sterk afgerekend op files, dus daar was de aandacht vooral op gericht. RWS was uiterst voorzichtig met het inplannen van onderhoud; het doel hierbij was het minimaliseren van hinder voor de weggebruiker. Als de weersomstandigheden bij één techniek vertraging kunnen opleveren – bijvoorbeeld als er sprake is van regen met de repave en remix methode voor van ZOAB – dan werd er gekozen voor die andere methode. Dit is een reden dat ZOAB (Zeer Open Emulsie Asfaltbeton) werd geïmplementeerd en niet repave of remix. Repave duurt twee keer zo lang en wanneer het regent moet er gewacht worden, of enorm veel energie gebruikt worden om het mengsel op te warmen.

3.2.1.2. Economische belangen

Essentieel voor de duurzaamheid en economische slagkracht van repave is dat het veel rendabeler is als er grote stroken (30km+) in place gerecycled kan worden; voor het 'postzegelwerk' die de eerste



jaren van ZOAB nodig waren was het minder geschikt. In de jaren '80 bestond de deklaag van het hoofdwegenet nog uit bijna alleen maar uit DAB, dus toen waren er grote lengtes in place te recycleren, wat repaven economisch aantrekkelijk maakte.



Na 1987 werd er steeds meer ZOAB aangelegd, waardoor er vaak nog maar twee of drie km in place gerecycled kon worden. Omdat er dan voor dergelijke kleine stukken tevens ook kernen moesten worden geboord om de samenstelling te bepalen en te berekenen hoeveel nieuw materiaal moest worden toegevoegd, was een lange repave trein niet rendabel meer en was er geen vraag meer naar repave. De eerste repave machines (van de jaren 80) die in Nederland zijn gebruikt, eigendom van het bedrijf Freesmij, verdwenen hierdoor uit Nederland.

3.2.1.3 Kwaliteit

ZOAB bracht bepaalde voordelen met zich mee, zoals: geluidsreductie en waterdoorlaatbaarheid. Deze kwaliteiten komen wellicht in het geding wanneer er een ZOAB-deklaag aangebracht wordt met gerecycled asfalt en omdat deze voordelen zwaar wogen voor RWS wilden ze hier geen (mogelijke) concessies op doen.

3.2.1.4. Geen beschikkingen

Duurzaamheid en circulariteit stond vroeger minder hoog op de agenda. Ondanks dit, en vele investeringen van RWS, Freesmij en andere bedrijven en personen om bijvoorbeeld repave en remix in de RAW-begrippen te laten opnemen kwamen er geen bestekken die repave, of remix als eis stelden. Het was zelfs zo, dat er tot voor kort, de deklaag maar beperkt uit hergebruikt materiaal mocht bestaan.¹⁴ Dat brengt ons vervolgens naar de markt, die er zelf ook geen belang bij had om mee aan de slag te gaan.

3.2.2. Markt

De markt had er geen belang bij om met repave of remix aan de slag te gaan, omdat:

¹⁴ Interviews, punt 2 van mailwisseling 1; 0% volgens interview 5; 30% (RAW, 2010).



3.2.2.1. Meer materialen leveren = meer winst



Aannemers hadden een marge op de materialen die benodigd waren voor projecten. Hierom hadden zij er geen belang bij dat de hoeveelheid materialen die nodig was werd teruggedrongen. Bovendien waren deze toen veel goedkoper dan dat ze nu zijn. Freesmij heeft bijvoorbeeld de machine nog best lang aangehouden, ondanks dat deze niet winstgevend meer was.¹⁵

3.2.2.2. Asfaltcentrales

De repave en remix technieken vroegen om flinke investeringen, maar deze methoden waren niet de enige waarin veel geïnvesteerd werd destijds. Ook alle asfaltcentrales, die over het hele land verspreid zijn, deden investeringen voor nieuwe apparatuur. In de begintijd was bijvoorbeeld Freesmij, die al langer én met succes de repave machine in zijn bezit had (t.b.v. dichte asfaltdeklagen), niet of beperkt afhankelijk van deze centrales. Er werd vaak nog max. 60% hergebruikt, in dichte asfaltdeklagen. Deze centrales hadden er door hun investeringen geen belang bij dat er in deklaagtechnieken voor hergebruik in place werd geïnvesteerd en de aannemers hadden vaak een belang in deze centrales. Bovendien is er een relatief grote dichtheid aan asfaltcentrales in Nederland.¹⁶ De stijgende kosten van de investeringen die nodig zijn hebben er wel voor gezorgd dat er nu minder zijn dan twintig jaar geleden, maar alsnog is er een grote dichtheid in Nederland. Deze dichtheid maakt dat transportafstanden en transporttijden altijd relatief beperkt zullen zijn. Hierom was er minder noodzaak om te investeren in een nieuwe techniek. Wel levert 'in plant' productie waarschijnlijk een beter product op dan 'in place' productie. De onderaannemers, zoals Heimans en BAM, zijn bovendien vaak de eigenaren van deze asfaltcentrales, zij hebben bijvoorbeeld co-eigenaren in de grootste keten van Nederland: AsfaltNu.¹⁷

¹⁵ Interview 6, bijlage.

¹⁶ Dit zijn er nu 28, maar waren er destijds zelfs meer dan 50 en ook toen waren er al twijfels over hun concurrentie positie zoals hieronder te lezen; <https://www.trouw.nl/nieuws/asfaltmakers-te-dominant~ba1add80/>

¹⁷ Zoals in het volgende artikel van BAM is te lezen: <https://www.bam.com/nl/pers/persberichten/2020/11/heijmans-en-bam-brengen-asfaltcentrales-samen-in-asfaltnu>



3.2.2.3. Prijzen ruwe olie versus consumenten prijzen



In 1996 was de prijs van een vat ruwe olie relatief hoog en dalende, waardoor het gebruik van nieuw asfalt goedkoper was dan hergebruik van asfalt. De prijs van een vat daalde in de proefperiode van 1998 met 30% t.o.v. 1998c Deze daling had een beperkte invloed op de consumentenprijsindex die wel stijgende was.

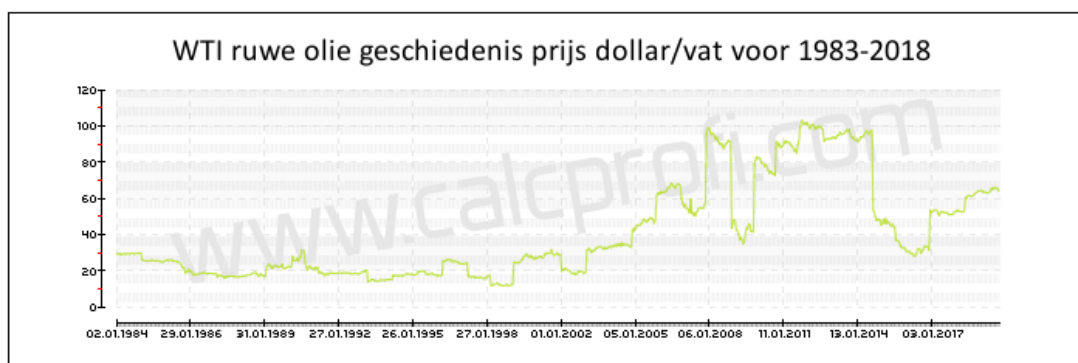
Sinds 2012 zijn prijzen voor een vat ruw olie volatiel en met extreme pieken, waardoor het voor beheerder moeilijk is een inschatting te maken van de inzet van nieuwe ruwe olie. T.o.v. van 1996 is een vat ruwe olie gestegen met 510%, wat niet in verhouding staat met consumentenprijsstijgingen die in dezelfde periode 152% zijn gestegen. Tevens is het bewustzijn van de burger m.b.t. de schadelijke effecten van de inzet mineralen grondstoffen ook spectaculair toegenomen dat circulair inzet van Repave/Remix ook vanuit PR als commercieel oogpunt zeer interessant is geworden.

Jaar	CBS consument enprijs index CPI010000	Verhoging in %	Prijs ruwe olie in US dollar	Verhoging in %
1996	74,49	100,0%	\$ 20,00	100,0%
1998	77,7	104,3%	\$ 14,00	70,0%
2012	97,04	130,3%	\$ 100,00	500,0%
2022	113,89	152,9%	\$ 102,00	510,0%

Zie bijlage met indexering



WTI ruwe olie koersgrafiek 1983-2022



3.2.3 Complexiteit

De CROW Standaard regelgeving bevat voorschriften en eisen waaraan aannemer en opdrachtgever moeten voldoen. Deze kwaliteitseisen zijn het uitgangspunt voor de controlesystemen. Er zouden door RWS proefprojecten opgezet worden waarvoor regelgeving nodig was, maar dit is er uiteindelijk nooit helemaal van gekomen. Er is wel tot twee keer toe een aanzet gegeven door Jasper van der Kooij, projectleider bij enkele van de onderzoeken naar het hergebruik van asfalt.

Eén machine voor heel Nederland, complex alternatief, geen kennis

De enige repave machine in Nederland was dus van Freesmij en daardoor kon de methode niet overall toegepast worden door de aannemers. Bovendien zat er weinig kennis bij de opdrachtnemers over deze methode en machine. Kortom; het was een complex, minder winstgevend alternatief.

3.3 Nieuwe ontwikkelingen

Er zijn nieuwe ontwikkelingen, die de redenen waarom repave en remix destijds niet is doorgezet kunnen opheffen. Er zijn bijvoorbeeld al sowieso nieuwe bitumen beschikbaar en zijn er nog nieuwe in ontwikkeling. Op dit moment zijn er ook al veel geavanceerdere reinigingsmachines in Nederland dan degene die destijds gebruikt werden, en tevens zullen er ook nog nieuwe ontwikkelingen volgen. Er zijn tevens nieuwe, en zuinigere verwarmingstechnieken in momenteel beschikbare remixers.¹⁸ Qua prioriteiten is duurzaamheid en circulariteit nu veel belangrijker en wegen dus veel zwaarder in de afweging.

¹⁸ Oa remixers van Witgen. Zie, Van der Pol, 2019.





CO2-reductie bij wegverharding is allereerst gebaat bij het hoogwaardig recyclen van asfalt, waarbij bitumen in opeenvolgende cycli kunnen worden geregenereerd en opnieuw gebruikt. Verder zijn alternatieven voor bitumen door andere materialen (onder andere lignine) interessant.¹⁹ Hoe lignine zich gedraagt in zeer open asfaltbeton moet nog onderzocht worden in labtests. Het materiaal is al wel in andere andere typen asfaltmengsels gebruikt, op 18 proefvakken in Nederland, fietspaden en gemeentelijke wegen. Rijkswaterstaat hoopt in 2022 een eerste proefvak aan te kunnen leggen.

Het areaal is bovendien veranderd; er liggen nu grote stroken ZOAB die in één keer behandeld kunnen worden met repave/ remix machines. Op zeker 95% van de Rijkswegen ligt ZOAB en er kunnen in één keer lange stroken tegelijk gerecycled worden. Bij 'in place' kun je bijna 100% ZOAB hergebruiken. Het zou wat betreft circulariteit en MKI-score natuurlijk een enorme positieve boost kunnen geven als dit op een duurzame manier gerealiseerd kan worden. De AC bin tussenlaag hoeft, als deze lichtelijk opgewarmd wordt, niet meer van een kleeflaag te worden voorzien, want deze warme laag zal goed hechten met de ZOAB-deklaag. Deze ontwikkelingen implementeren zou leiden tot minder uitstoot bij het wegenonderhoud – geen vervoer van gefreesd ZOAB naar de asfaltcentrale en geen (of minder) aanvoer van nieuwe materialen vanuit de asfaltcentrales, en een efficiënter proces.

¹⁹ Marieke Bos, Thessa Lageman en Lie Chahboun. *Circulair durven en doen: Vijf jaar Impulsprogramma CE Rijkswaterstaat*. RWS, 2021, van: https://puc.overheid.nl/rijkswaterstaat/doc/PUC_701445_31/2/



Conclusie



Er zijn een veelvoud aan redenen aan te wijzen waarom de repave en remix methoden nooit echt van de grond zijn gekomen, maar desondanks zijn de geïnterviewden en de rapporten wel hoopvol gestemd; de mogelijkheid blijft bestaan dat er in toekomst nog gewerkt gaat worden met deze, of vergelijkbare methoden, omdat er bij een betere toepassing veel gewonnen kan op vlak van duurzaamheid en kosten. Uit dit onderzoek valt lering te trekken voor de ambities met betrekking tot de ART. Van de niet-technische redenen zijn het voornamelijk beleidsmatige beslissingen vanuit RWS geweest die de ontwikkeling van repave en remix stopten.

Dit onderzoek bracht de volgende in beeld:

- Er werden geen beschikkingen uitgezet met *in place* gerecycled materiaal als eis.
- Aan andere prioriteiten werd voorrang gegeven.
- Het werd dus aan de markt overgelaten om dit toe te passen, en voor hen was er geen enkel belang om hiermee aan de slag te gaan.
- De technische moeilijkheden droegen ook aan bij aan het niet-implementeren van de remix of repave methode voor ZOAB.

Hergebruik van verouderd ZOAB is van een andere orde dan van dichte asfaltbetondeklagen, want de regeneratie-eisen zijn anders en ingewikkelder dan van nieuw ZOAB. In theorie klinkt repave en remix dus heel mooi, maar er komen wel belemmeringen bij kijken die het toepassen in de praktijk complex maken. Dit kan overkomen worden als de wil er is om vergelijkbare initiatieven tot een succes te maken. Hiervoor is nog wel goed technisch onderzoek nodig. In het advies wat hierop volgt wordt hier nog dieper op ingegaan.





Vanuit de markt zou het kunnen dat de kostprijs van nieuw asfalt sterk beïnvloed wordt door de kostprijs van een vat ruwe olie, welke de grondstof is voor bitumen. Opvallend is wel dat de repave en remix een parallel vertoond met de prijsfluctuaties van ruwe olie. Om meer inzicht in dit mogelijke mechanisme te krijgen zou de prijsindex van asfalt nog onderzocht moeten worden, waarbij ook gekeken dient te worden wat de invloed is van de asfaltcentrales, aannemers en de kostprijs van de andere materialen.



Advies



De geïnterviewden zien geen onoverkoombare obstakels met betrekking tot het in de praktijk brengen van methoden die vergelijkbaar zijn met de remix en repave methoden. Wel worden er een aantal zaken benoemd die in acht moeten worden genomen voor het onderzoek en de uiteindelijke implementatie van vergelijkbare methoden, zoals;

- Het nemen van regie op de ontwikkeling, implementatie richting opschaling, door o.a.
 - Hierbij rekening houden met verdienmodellen;
 - Barrières herkennen en gericht wegnemen;
- Het doen van meer en gedegen onderzoek
 - Verschillende manieren van reinigen: onder verschillende hoeken en onder verschillende waterdrukniveaus;
 - Verschillende manieren van opwarmen; uitstoot en kwaliteit meten
 - Langer wachten na reinigen, zodat het asfalt beter opgedroogd is²⁰;
 - Onderzoeken welke machines er nodig zijn en of deze nog te bestellen zijn²¹;
 - De in place recycle technieken niet te snel implementeren;
 - MKI-score toetsen van ART, en vergelijken met andere duurzame innovaties op het gebied van asfalt;
 - De afhankelijkheid van de kostprijs van het aanbrengen van ZOAB van de kostprijs van de materialen;
 - Prijsindex van asfalt over de jaren heen in kaart brengen;
- Goed testen ter plekke (proefboren) voor hergebruik 'in place';
- Invloed uitoefenen op de markt;
 - Duurzaamheid en circulariteit eisen van de markt en proactief op toezien;

²⁰ Interview 4, bijlage.

²¹ Er is al een vergelijkingsonderzoek gedaan. Deze kan als opzet dienen. Pol, *Chris van de. Heating of porous asphalt for in-situ recycling*, 2019.



- RWS is een grote speler, als zij het eist, dan volgt de markt wel;



- Prioriteiten op orde;
 - Realiseren dat het onderhoud meer tijd in beslag kan gaan nemen en dat het uiteindelijk product van een lagere kwaliteit kan zijn op het gebied van geluidreductie en waterdoorlaat;
 - Bepalen of MKI een zwaardere weegfactor wordt ten opzichte van kwaliteit en verkeersdoorstroom;
- Rekening houden met regen;
- Verwachtingen temperen, waarop hieronder nog verder ingegaan wordt.

Verwachtingen


Het is belangrijk dat de verwachtingen niet te hoog gespannen zijn, zodat er bij tegenvallende resultaten niet meteen besloten wordt om het project te stoppen. Op de site van DuraVermeer wordt bijvoorbeeld gesteld dat het gemakkelijk ZOAB kan produceren uit oud-ZOAB met 100% hergebruik, of als er alleen een beetje verjongingsmiddel wordt toegevoegd. Dit moet niet de verwachting zijn, aangezien het zeer de vraag is of dit het geval is. Er zal waarschijnlijk iets meer toegevoegd moeten worden, waardoor het bijvoorbeeld op 70 a 80% hergebruik uitkomen om alle functies en eigenschappen te herstellen. Dit zou natuurlijk alsnog een hele mooie MKI-score kunnen opleveren.²²

Of misschien is levensverlengend al goed genoeg? Daarvoor zou een onderzoek dat de gehele keten weegt op basis van MKI aan te raden zijn, want: “De beste manier moet nog gevonden worden voor duurzaam gebruik, en hergebruik, van asfalt.”²³ Hiervoor moeten namelijk veel factoren meegewogen worden, zoals: uitstoot wegwerkzaamheden en oponthoud en de winst die het oplevert tegenover andere duurzame alternatieven.

²² *Hergebruik ZOAB Dat gaat ZO!!!*, 1998. en interview 5.

²³ Interview 6, bijlage.





Het kan bijvoorbeeld blijken dat Lage Emissie Asfalt Beton beter scoort dan de ART, remix, of repave op basis van MKI. Helemaal als de machine het asfalt weer op hoge temperatuur moet brengen d.m.v. oude en inefficiënte gasbranders. Het verwachte gasverbruik van de machine voor de proef met de ART ligt ongeveer tussen de 7000 en 8000 liter gas per dag en dat is mits er geen water in de ZOAB zat, want dan is het veel meer. Dit is natuurlijk een oude machine, dus als er een nieuwe wordt aangeschaft kan dit verbruik veel lager liggen.

Vervolgonderzoek

Het onderzoek dat gepland staat met onder andere de proefstroken op de A79 is een goed initiatief en kan waardevol zijn om een beter antwoord te krijgen op de vraag welke manier van hergebruik van asfalt het beste is. Het is belangrijk om voordat dit onderzoek plaatsvindt de technische uitdagingen die dit onderzoek heeft aangestipt te bespreken met de partners, zoals DuraVermeer, mee te nemen in dit onderzoek. Bovendien geeft dit rapport een aantal zaken waarop gelet moet worden bij het beoordelen van de proefvlakken en over methoden van toepassen van reiniging etc. De experts die voor dit rapport geïnterviewd zijn, kunnen ook van waarde zijn om te betrekken in dit verdere onderzoek. Hun contactgegevens kunnen opgevraagd worden bij de schrijver van dit rapport. Het zou bovendien raadzaam zijn om op basis van de resultaten van de proefvlakken een inventarisatie te maken van de MKI-score die de ART, repave en remix methoden kunnen opleveren om te zien wat zij ons in de toekomst kunnen brengen en onder welke omstandigheden, of bij welke aanpassingen zij rendabel kunnen zijn. Hierbij dienen deze ook vergeleken te worden met de nieuwe MKI scores van andere manieren van asfalt (her)gebruiken. Als zodoende de mogelijkheden van het hot in place hergebruiken van ZOAB goed onderzocht wordt, kan de beste manier van asfalt recycleren gevonden en toegepast worden.

Het economische plaatje van asfalt kan nog verder onderzocht worden. Hier is een indicatie gegeven op basis van de olieprijs, die een correlatie vertoont met de interesse in hergebruik, maar hier kan nog niet vanuit gegaan worden. De invloed van asfaltcentrales, de kostprijs van de andere materialen en de rol van de aannemers moeten hierin meegenomen worden om uitsluitsel te geven.



Bronnen



Bijlage 1: Alle interviews met betrokkenen voor onderzoek naar remix en repave

Bos, Marieke. Lageman, Thessa. Chahboun, Lie. *Circulair durven en doen: Vijf jaar Impulsprogramma CE Rijkswaterstaat*. RWS, 2021, van: https://puc.overheid.nl/rijkswaterstaat/doc/PUC_701445_31/2/

Brinkman, Eddy. *Zelfherstellende verhardingen in de wegenbouw*, RWS 2010

CROW, *Standaard RAW bepalingen*, 2010

Hopman, P. *HERGEBRUIK VERVUILD ZOAB*, 1999

Kooij, J. van der. (projectleiding aan team auteurs) de tussenrapporten (1995) en het eindrapport (1998) van *Hergebruik van Zeer Open AsfaltBeton door middel van De REMIX en de REPAVE techniek*

Kooij, J. van der. (projectleiding aan team auteurs, o.a., Voskuilen, J.) *Hergebruik ZOAB : dat gaat ZO!! : stand der techniek 1998 : hergebruik Zeer Open Asfalt Beton 1998*.

Lintsen, H. & Berkers, E.. *Wat leert de geschiedenis ons over circulariteit : een historisch essay over Rijkswaterstaat en circulariteit*, 2021.

Pol, Chris van de. *Heating of porous asphalt for in-situ recycling*, 2019.

Vliet, D. van. *Hergebruik ZOAB-granulaat met schuimbitumen*, 2003

