



Re-recycling asfalt met nieuwe bouwstoffen

Epoxy modificaties

Rijkswaterstaat


24 maart 2023

Project Re-recycling asfalt met nieuwe bouwstoffen
Opdrachtgever Rijkswaterstaat

Document Epoxy modificaties
Status Definitief
Datum 24 maart 2023
Referentie 134239/23-004.946

Projectcode 134239
Projectleider Ir. S.H.L. Lamerichs
Projectdirecteur Ir. J.F. Kramer

Auteur(s) Ir. C.H. Huurman
Gecontroleerd door J.B.V. Bodar BSc., ir. R.L.T. Oppers, ir. S.H.L. Lamerichs
Goedgekeurd door Ir. S.H.L. Lamerichs

Paraaf 

Adres Witteveen+Bos Raadgevende ingenieurs B.V.
Leeuwenbrug 8
Postbus 233
7400 AE Deventer
+31 (0)570 69 79 11
www.witteveenbos.com
KvK 38020751

Het kwaliteitsmanagementsysteem van Witteveen+Bos is gecertificeerd op basis van ISO 9001.

© Witteveen+Bos

Niets uit dit document mag worden veeelvoudigd en/of openbaar gemaakt in enige vorm zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Witteveen+Bos noch mag het zonder dergelijke toestemming worden gebruikt voor enig ander werk dan waarvoor het is vervaardigd, behoudens schriftelijk anders overeengekomen. Witteveen+Bos aanvaardt geen aansprakelijkheid voor enigerlei schade die voortvloeit uit of verband houdt met het wijzigen van de inhoud van het door Witteveen+Bos geleverde document.

INHOUDSOPGAVE

1	INLEIDING	4
2	BESCHRIJVING MATERIAAL	5
2.1	Vorming van epoxy-asfalt	5
2.2	Typen epoxy-asfalt	5
3	MECHANISCHE EIGENSCHAPPEN	7
3.1	Laboratoriumonderzoek	7
3.2	Praktijkonderzoek	8
4	TOEPASSEN VAN EPOXY	9
4.1	Proces	9
4.2	Kwaliteit en procedure	9
4.3	Recycling van epoxy-asfalt	10
5	DISCUSSIE	11
6	INTERVIEWS	12
7	CONCLUSIE EN AANBEVELINGEN	14
	BIBLIOGRAFIE	16
	Laatste pagina	16
	Bijlage(n)	Aantal pagina's
	-	

1

INLEIDING

Aanleiding

Rijkswaterstaat werkt toe naar klimaatneutrale en circulaire wegverhardingen in 2030. Bij de inkoop van asfalt wordt gestuurd op het verduurzamen van asfalt(verhardingen). Dit betekent dat Rijkswaterstaat innovatieve asfaltmengsels krijgt aangeboden waarin steeds hogere percentages hergebruik (PR-asfalt¹) worden toegepast. Hierbij wordt tevens steeds meer gebruik gemaakt van asfalt-vreemde secundaire materialen in verschillende samenstellingen.

Traditioneel asfalt kan, onder voorwaarden, zeer goed en meermaals hergebruikt worden, zonder dat dit ten koste gaat van de prestaties. Hierdoor blijft het asfalt 'in de keten' en wordt de milieu-impact beperkt. De impact van het vaker en in grotere percentage toepassen van nieuwe secundaire materialen is onbekend. Rijkswaterstaat wenst inzicht te krijgen in wat bekend is over het gebruik van asfalt met asfaltvreemde secundaire materialen en het hergebruik ('re-recycling') van datzelfde asfalt naar verloop van tijd.

Rijkswaterstaat werkt toe naar sturing op het aandeel PR-asfalt en asfaltvreemde stoffen in de asfaltverhardingen. Hiermee kan voorkomen worden dat het hergebruik van asfalt binnen de eigen keten in de toekomst ingewikkeld of zelfs onmogelijk wordt. Echter, om tot goede sturing te komen, is veel onderzoek nodig.

Dit rapport

Dit rapport bevat een literatuuronderzoek naar het gebruik van epoxy modificaties. Dit onderzoek maakt onderdeel uit van een breder literatuuronderzoek dat zich richt op een viertal asfaltvreemde stoffen:

- 1 dakleer(granulaat) als (gedeeltelijke) vervanging van bitumen;
- 2 epoxy modificaties;
- 3 rubbergranulaat toevoegingen;
- 4 plastic toevoegingen/modificaties.

Methodiek

De literatuur die in dit onderzoek gebruikt is, is voor een deel afkomstig uit documentatie van Rijkswaterstaat. De literatuur die bij Rijkswaterstaat bekend is, heeft als basis gediend voor dit onderzoek. Naast de bij Rijkswaterstaat beschikbare literatuur, is in literaire databases (o.a. Scopus, Google Scholar) gezocht naar aanvullende vakliteratuur.

In de bibliografie van dit rapport is de literatuur waar expliciet naar gerefereerd is opgesomd. Daarnaast is separaat aan de deelrapporten een overzicht opgesteld met gebruikte zoektermen en een compleet literatuuroverzicht.

Leeswijzer

In hoofdstuk 2 zijn de verschillende materialen en samenstelling daarvan van epoxy benoemd. Hoofdstuk 3 beschrijft de mechanische eigenschappen van epoxy-asfalt en hoofdstuk 4 beschrijft de toepassing van epoxy in asfalt en belangrijke aspecten die daarbij komen kijken. Daarna volgt een discussie in hoofdstuk 5 en een conclusie met aanbevelingen in hoofdstuk 6. Hoofdstuk 7 toont als laatste de resultaten van de interviews met de onderzoeksinstituten, beheerders en marktpartijen.

¹ pr staat voor 'Partiële Recycling'

2

BESCHRIJVING MATERIAAL

Epoxy is een kunststof polymeer dat gewonnen wordt uit aardolie. Het bestaat uit twee vloeibare componenten:

- een basiscomponent (hars);
- een verharder.

Tijdens verwerking is epoxy vloeibaar. Na uitharding vormt het materiaal een thermohardend polymeernetwerk. Epoxy is dan sterk en weer- en waterbestendig. Epoxy wordt vaak toegepast in de vorm van epoxyhars. Dit is een van de meest vooraanstaande hoogwaardige thermohardende polymeren die veel wordt gebruikt in producten en materialen zoals coatings, auto's, elektrische systemen en elektronica, kleefstoffen, constructies en ruimtevaartcomposieten.

2.1 Vorming van epoxy-asfalt

Epoxy-asfalt is een combinatie van standaard asfalt en epoxy. Traditioneel asfalt bestaat tenminste uit aggregaat en bitumen. Epoxy wordt gebruikt als vervanging van een deel van de bitumen in het traditionele asfalt en dient dus, evenals bitumen, als bindmiddel. Voor de meeste onderzoeken wordt epoxy bindmiddel gemaakt van twee delen die chemisch met elkaar reageren:

- 15-25 % epoxyhars;
- 75-85 % verharder.

Om hoge kwaliteit epoxy-asfalt te kunnen creëren, is een grote hoeveelheid epoxyhars benodigd in het asfalt. Deze hoeveelheid ligt 8 tot 10 keer hoger dan de toevoegingen bij thermoplastisch elastomeer gemodificeerd asfalt (bijvoorbeeld SBS). Dit is een reden waarom epoxy-asfalt initieel duurder is dan SBS-gemodificeerd asfalt of traditioneel asfalt (Xie, Li, & Wang, 2022). Om epoxy-asfalt financieel aantrekkelijk te maken, wordt epoxy bindmiddel daarom ook veelal verdund met het gebruik van standaard 70/100 of 80/100 bitumen. In onderzoeken wordt vaak een verdeling van 20-25 % epoxy bindmiddel en 75-80 % standaard bitumen aangehouden (Jing, Apostolidis, Liu, Erkens, & Scarpas, 2022) (Zegard, et al., 2019) (ITF, 2017).

2.2 Typen epoxy-asfalt

Epoxy-asfalt is een specifieke vertegenwoordiger van een thermohardend polymeer gemodificeerd asfalt, dat op grote schaal wordt gebruikt bij de constructie van stalen dekbruggen. De eerste applicatie van epoxy-asfalt is op de San Mateo Bridge in 1967 in California, Verenigde Staten. Het epoxy-asfalt heeft pas na 30 jaar groot onderhoud nodig gehad en na 48 jaar is het vervangen. Naast de toepassing op stalen dekbruggen wordt epoxy-asfalt ook gebruikt voor start- en landingsbanen van luchthavens, tunnels, en kruispunten van zware wegen. Het gebruik van epoxy-asfalt verlengt de levensduur en presteert beter op zwaar bereden wegvakken en onder hoge temperaturen dan traditioneel asfalt (Xie, Li, & Wang, 2022).

Het gebruik van epoxy-asfalt in normale wegverharding is minder populair, doordat de aanlegkosten van epoxy-asfalt hoog zijn en er goedkopere alternatieven beschikbaar zijn. De alternatieven kunnen eenvoudiger en voor een redelijke prijs worden vervangen (ITF, 2017). Vanuit het oogpunt van levensduur

kan epoxy-asfalt echter een voorkeur hebben, aangezien de hoge aanlegkosten dan opwegen tegen de lange(re) levensduur en daarmee lage(re) onderhoudskosten (Alamri, Lu, & Xin, 2020).

Epoxy-asfalt wordt qua huidige toepassing op stalen dekbruggen in twee typen verdeeld (Xie, Li, & Wang, 2022):

- **als bindmiddel:**

Als bindmiddel wordt het gebruikt om aggregaten en minerale vulstoffen te binden om asfalt te vormen dat wordt aangebracht als slijtlaag en onderliggende lagen van de dubbellaagse verhardingsconstructie van stalen dekbruggen. Door het lagere gehalte aan holle ruimte in epoxy-asfaltbeton ($\leq 3,0\%$) is het aandeel bindmiddel in het epoxy-asfaltbeton (6,5 %-8,0 %) hoger dan die in conventionele bitumineuze asfaltsoorten (ongeveer 5,0 %). Epoxy-asfalt als bindmiddel kan verder onderverdeeld worden in hot-mix epoxy-asfalt bindmiddel (HEAB), warm-mix epoxy-asfalt bindmiddel (WEAB) en cold-mix epoxy-asfalt bindmiddel (CEAB). In Tabel 2.1 zijn de eigenschappen van de drie epoxy-asfalt bindmiddelen weergegeven. Verdere informatie over de verschillende typen epoxy-asfalt is te lezen in het onderzoek van Xie, Li & Wang (2022).

- **als hechtlaag:**

Als hechtlaag wordt het gebruikt als waterdichte laag tussen de staalplaat en de onderlaag en tussen de onderlagen en slijtlagen. De hechting van een epoxy-asfaltbindingslaag zorgt ervoor dat de staalplaat en de asfaltverharding integraal verbonden zijn en buigen als een enkele eenheid. Hierdoor is het bestand tegen verkeers- en milieueffecten in de stalen brugconstructie. Epoxy-asfalt als hechtlaag kan onderverdeeld worden in hot-mix epoxy-asfalt hechtlaag (HEABC) en cold-mix epoxy-asfalt hechtlaag (CEABC).

Tabel 2.1 Componenten en constructie van epoxy-asfalt als bindmiddel. Tabel overgenomen (vertaald) uit (Xie, Li, & Wang, 2022)

Eigenschappen	HEAB	WEAB	CEAB
Verwerkingstemperatuur (°C)	160-190	110-130	Omgevingstemperatuur
Componenten	3	2	2
Benodigde hechtlaag	Epoxy hechtlaag die gedeeltelijk is uitgehard	HEABC	CEABC
Toegestane constructietijd (min)	> 150	57-94	> 120
Aggregaten	Algemeen	Alleen droog	Alleen droog
Uithardingstijd (dagen)	5-10	30-45	2-3
Speciale apparatuur	Nee	Ja	Nee
Constructie moeilijkheid	Makkelijk	Moeilijk	Makkelijk
Milieuvriendelijk	Laag	Hoog	Erg hoog

3

MECHANISCHE EIGENSCHAPPEN

Dit hoofdstuk beschrijft de mechanische eigenschappen van epoxy-asfalt. Hierbij is onderscheid gemaakt tussen laboratoriumonderzoek en onderzoeken in de praktijk.

3.1 Laboratoriumonderzoek

Laboratoriumonderzoek naar epoxy-asfalt is in grote mate en in verschillende landen uitgevoerd. Grote, langdurige onderzoeken zijn voornamelijk uitgevoerd in samenwerking met de Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD). Eén van de meest uitgebreide grootschalige onderzoeken naar de werking van epoxy-asfalt is een onderzoek van de OECD in samenwerking met de ECMT uit Nieuw-Zeeland in 2007 (Herrington, 2010) (Herrington, et al., 2007). In dit rapport is aangegeven dat de laboratoriumresultaten van dit onderzoek hetzelfde laten zien als eerdere vergelijkbare onderzoeken, namelijk dat EMOGPA (epoxy modified open-graded porous asphalt) onaangetast lijkt en amper slijtage laat zien na een kunstmatige veroudering in het laboratorium door middel van sterke oxidatie, wat gelijk staat aan 20 jaar in het veld. In vergelijking met traditioneel asfalt heeft het epoxy-asfalt na deze sterke oxidatie een lager slijtageverlies en een wel 25x hogere vermoeiingslevensduur. Extrapolatie van slijtagegegevens met een Cantabro-test voorspelt bij gebruik van 100 % epoxy als bindmiddel een geschatte levensduur van 144 jaar in het veld. Bij gebruik van 50 % epoxy als bindmiddel is de geschatte levensduur 93 jaar. Het epoxy-asfalt is ondanks een hoge E-modulus niet breekbaarder dan traditioneel asfalt en zal niet voortijdig scheurvorming tonen.

Een ander recenter groot onderzoek van de OECD is uitgevoerd samen met het International Transport Forum (ITF). De belangrijkste bevindingen voor epoxy-asfalt uit laboratoria uit Australië, Denemarken, Frankrijk, Duitsland, Nieuw Zeeland, VK en VS zijn (ITF, 2017):

- stijver (hogere E-modulus) op gebruikstemperaturen;
- groter vermogen om lasten te verdelen;
- beter bestand tegen spoorvorming;
- beter bestand tegen slijtage van het oppervlak;
- beter bestand tegen vermoeiingsscheuren en een hogere treksterkte, alhoewel de voordelen minder uitgesproken zijn bij hogere rekniveaus;
- minder vatbaar voor waterschade;
- beter bestand tegen oxidatieve afbraak bij omgevingstemperaturen.

Een recent laboratoriumonderzoek, wat onderdeel is van een proefschrift aan de TU Delft, bevestigt deze internationale bevindingen (Apostolidis, Chemo-mechanics of epoxy-asphalt, 2022). Een toename van de hoeveelheid epoxy in asfalt zorgt voor sterker en stijver asfalt met een verbeterde vermoeiingsweerstand en treksterkte. Epoxy-asfalt zorgt ook in dit onderzoek voor een hogere E-modulus. Wel zou het gebruik van 30-40% epoxy in het bindmiddel in asfalt ten opzichte van 50 % leiden tot een kostenreductie en een lagere CO₂-uitstoot van respectievelijk 25 % en 26 %. Een percentage van 36 % epoxy in het bindmiddel zou zorgen voor het behalen van de trekeigenschappen die voldoen aan de constructie-eisen gesteld volgens de Chinese technische specificatie voor de constructie van asfaltverhardingen (Sun, Huang, Lu, Luo, & Li, 2023).

Een ander onderzoek naar prestaties van epoxy-asfalt bij hoge temperaturen laat zien dat een 6 % epoxy hoeveelheid in asfalt grotere voordelen geeft dan andere hoeveelheden tussen de 2 % en 10 %. Een grotere hoeveelheid epoxy in asfalt leidt dus niet altijd tot een betere prestatie (Gao, Xue, Guan, & Yuan, 2020).

Wanneer epoxy niet als bindmiddel, maar in de hechtlaag wordt toegepast laat onderzoek zien dat het de hechtsterkte aanzienlijk kan verbeteren ten opzichte van een standaard hechtlaag. De hechtlaag biedt prestatiekenmerken waarbij alle asfalten gezamenlijk één geheel kunnen vormen. Het vermindert potentiële hechtingsdefecten van verhardingen, zoals onthechting, slippen en vermoeiingsscheuren die zich van onder naar boven verspreiden (Apostolidis, Liu, Erkens, & Scarpas, 2020).

3.2 Praktijkonderzoek

Het onderzoek in Nieuw-Zeeland uit 2007 heeft naast laboratoriumonderzoek, ook praktijkonderzoek uitgevoerd. Na een test van 3 jaar, functioneert het epoxy-asfalt (EMOGPA) nog steeds goed. Het testwegvak en het controlewegvak presteren op het gebied van slijtage, stroefheid en spoorvorming gelijkwaardig. Het afwateringsvermogen van het geteste 30 % holle ruimte epoxy-asfalt was beter dan dat van de 20 % holle ruimte epoxy-asfalt. De geluidsniveaus van het verkeer geven onverwachte resultaten. Op beide epoxy-wegvakken en het controlewegvak is het geluidsniveau van het verkeer gelijk. De hypothese was dat het 30 % holle ruimte epoxy-asfalt tot een reductie in geluidsniveau zou leiden. Het onderzoek toont verder aan dat de productie en constructie van epoxy-asfalt met beperkte aanpassingen van standaard methodes en procedures kan worden uitgevoerd. Een belangrijke verandering is de noodzaak om de (hoge) temperatuur van EMOGPA te beheersen, zodat het epoxy bindmiddel precies voldoende uithardt bij verdichting (Herrington, 2010).

Bij praktijkonderzoek uit het onderzoek van ITF (2017) in het Verenigd Koninkrijk is epoxy gemodificeerd gietasfalt onderzocht en vergeleken met standaard gietasfalt. Het testwegvak en het controlewegvak presteren na een jaar op het gebied van stroefheid en textuur van het oppervlak gelijkwaardig. Het epoxy gemodificeerde gietasfalt laat, net zoals in de laboratoriumonderzoeken, ook in de praktijk hogere stijfheid en treksterkte zien dan het traditionele asfalt. Een verschil met resultaten uit laboratoriumonderzoek is een lagere stijfheid van epoxy-asfalt in de praktijk. Desalniettemin is deze stijfheid nog steeds hoger dan dat van de traditioneel asfalt, wat resulteert in een geschatte levensduur die bijna twee keer zo hoog is als dat van traditioneel asfalt. Na een jaar van gebruik zijn er veelbelovende tekenen dat deze langere levensduur ook behaald zou kunnen worden (ITF, 2017).

In Nederland is een praktijkonderzoek gestart op de N240 in Noord-Holland waar epoxy-asfalt wordt toegepast. Dit onderzoek wordt uitgevoerd door Dura Vermeer en TU Delft (Technische Universiteit Delft, 2020). Een onderdeel van het onderzoek is dat sensoren in het nieuwe 300 meter lange asfaltdek zijn geplaatst, welke de (verwachte) langere levensduur moeten uitwijzen. Het onderzoek duurt 4 jaar; van 2020 tot 2024 (van der Vliet, 2020). Verwacht wordt dat dit onderzoek belangrijke inzichten gaat geven naar het praktisch gebruik en werking van epoxy-asfalt in Nederland.

Op de N249 bij Anna Paulowna in Noord-Holland is in 2018 een onderzoek gedaan naar epoxy-asfalt in het veld in samenwerking met Dura Vermeer. Dit proefvak was bedoeld om te beoordelen hoe het epoxy-asfalt met het standaard materieel kon worden aangelegd en niet om de prestaties te analyseren (Zegard, et al., 2019). Dit onderzoek is verder behandeld in paragraaf 4.1.

4

TOEPASSEN VAN EPOXY

Dit hoofdstuk beschrijft de toepassing van epoxy-asfalt in de praktijk. Eerst is het proces bij het toepassen van epoxy-asfalt beschreven. Daarna is beschreven wat de toevoeging van epoxy aan asfalt voor impact heeft op de kwaliteitsborging en procedures. Als laatste volgt informatie omtrent het recyclen van epoxy-asfalt.

4.1 Proces

Epoxy heeft een thermohardende aard. Een thermoharder is, in tegenstelling tot een thermoplast, na verwerking niet meer om te vormen. Een thermoplast wordt zacht bij verhitting, terwijl een thermoharder hard blijft en zich ontleedt. Het is daarom belangrijk dat alle componenten van epoxy tijdens de verwerking in de fabriek in het bindmiddel volledig worden gemengd om overmatige uitharding tijdens het transport van het materiaal en in het veld te voorkomen (tijdens aanleg en verdichting).

Een voorbeeld van een productie- en constructieproces bij gebruik van EMOGPA en epoxy-asfalt SMA is te lezen in het onderzoek uit Nieuw-Zeeland (Herrington, 2010) (ITF, 2017) en het onderzoek uit het Verenigd Koninkrijk (ITF, 2017). Ook in Nederland heeft Dura Vermeer samen met de TU Delft onderzoek gedaan naar het produceren van epoxy-asfalt (Zegard, et al., 2019). Het proces verliep volgens de volgende (samengevatte) stappen:

- 1 de epoxyhars wordt opgewarmd tot 75°C en de verharder tot 120°C. Dit wordt bij elkaar gevoegd waarna het bitumen en aggregaat erbij wordt gemengd op 120°C;
- 2 om temperatuurscheiding van het mengsel te voorkomen wordt het getransporteerd naar de bouwlocatie op 120°C in geïsoleerde asfalttrucks;
- 3 om problemen met de verwerking van het epoxy-asfalt te voorkomen, is de tijd tussen het produceren en de aanleg erg belangrijk. De tijd tussen de productie van het asfalt en de start van de aanleg is 90 minuten;
- 4 voor het asfalteren en verdichten worden een asfaltermachine met een stamper-vibratiebalk en een driewielige statische wals, gevolgd door een stalen tandem-trilwals gebruikt;
- 5 de totale tijd tussen het mengen en het beëindigen van de verdichting is ongeveer 4 uur. De verdichting duurde ongeveer 30 minuten en aan het einde lag de temperatuur tussen 65 en 90°C, onder zonnige en droge weersomstandigheden;
- 6 de minimale vereisten voor het openstellen van de weg voor verkeer waren in deze situatie een stabiliteit van 5-30 KN en een 'maximum flow' van 4-7 mm bij 60°C. Op dezelfde dag werd het proefvak in de middag geopend voor verkeer.

4.2 Kwaliteit en procedure

Om de kwaliteit van epoxy-asfalt te borgen, wordt op basis van praktijkonderzoeken geadviseerd om een geautomatiseerd distributiesysteem te gebruiken. Dit leidt tot een conventioneel systeem dat automatisch de delen van epoxy-asfalt kan mengen. Ook wordt aanbevolen om de installatie na voltooiing van de werkzaamheden te reinigen door perslucht en speciale reinigingsmiddelen (bijvoorbeeld kerosine) te blazen. Verder moet speciale aandacht worden besteed aan de opslagtank, pompsystemen en transportleidingen die betrokken zijn bij de productie in de fabriek (Zegard, et al., 2019).

Over het algemeen krijgt een productie- en constructieproces zonder onderbrekingen in de hele cyclus de voorkeur, ondanks de hoge initiële kosten voor het nauwkeurig beheersen van de procedures. Aangenomen wordt dat de hoge initiële kosten kunnen worden gecompenseerd door de verhoogde productiviteit en de verminderde verdichtingsproblematiek, en uiteindelijk een eindproduct van hoge kwaliteit (Zegard, et al., 2019).

4.3 Recycling van epoxy-asfalt

Op dit moment bestaat geen reguliere manier voor het recyclen van epoxy-asfalt in nieuwe verhardingsconstructies. Ook is weinig onderzoek gedaan naar de eigenschappen en het ontwerp van asfaltmengsels met vrijgekomen epoxy-asfalt. Een onderzoek uit de Verenigde Staten naar de invloed van oud epoxy-asfalt toegepast in nieuw asfalt probeert als één van de eersten hier verandering in te brengen (Alamri, Lu, & Xin, 2020). Epoxy-asfalt uit het veld is (nog) niet beschikbaar in de Verenigde Staten. Het onderzochte epoxy-asfalt is gemaakt in een laboratorium en heeft een kunstmatig verouderingsproces ondergaan. Aangezien het uitgeharde epoxy-bindmiddel niet volledig kan worden teruggewonnen en hergebruikt als bindmiddel in nieuw asfalt, is in deze studie epoxy-asfalt (met zowel bindmiddel als aggregaat) rechtstreeks aan het nieuwe asfaltmengsel toegevoegd. Na menging met nieuwe aggregaten en bindmiddel, wordt verwacht dat epoxy-asfalt bedekt zal worden met het nieuwe bindmiddel. Het epoxy-asfalt granulaat zal een deel van het grove aggregaat in het nieuwe mengsel vervangen.

De testresultaten uit het onderzoek tonen aan dat het mogelijk is om epoxy-asfalt te hergebruiken in asfaltverhardingen zonder de prestatie van het wegdek negatief te beïnvloeden. Het grove aggregaat kan zelfs tot 80 % vervangen worden door vrijgekomen epoxy-asfalt zonder negatieve effecten voor de stabiliteit, treksterkte en vochtweerstand van het mengsel. De volumetrische eigenschappen van het mengsel worden niet beïnvloed wanneer tot 40 % grove aggregaten worden vervangen door vrijgekomen epoxy-asfalt. De ductiliteit nam echter toe met toename van het aandeel epoxy-asfalt. Een sterkere plastische vervorming kan wijzen op een lagere weerstand tegen spoorvorming van het asfalt, maar meer onderzoek moet plaatsvinden om de precieze effecten te bepalen (Alamri, Lu, & Xin, 2020).

Een vergelijkbaar onderzoek van dezelfde auteurs (Alamri & Lu, 2022) toont aan dat enkele wijzigingen in het mengselontwerp voor asfalt met vrijgekomen epoxy-asfalt moeten worden overwogen in vergelijking met traditionele asfaltrecycling:

- regulier bindmiddel kan direct uit vrijgekomen asfalt worden geëxtraheerd met behulp van een extractiemethode met oplosmiddel. Deze methode is niet van toepassing op vrijgekomen epoxy-asfalt, omdat voor het epoxy-asfalt het verouderde bindmiddel niet kan worden teruggewonnen vanwege zijn thermohardende aard na uitharding;
- hoewel het reguliere bindmiddel moet worden meegerekend in het totale bindmiddelgehalte na extractie, draagt het epoxy bindmiddel niet bij aan het totale bindmiddelgehalte;
- nieuw bindmiddel toevoegen is een aanzienlijke verandering in het mengselontwerp voor asfalt met teruggewonnen epoxy-asfalt. Een flexibeler bindmiddel zou kunnen worden gekozen om het stijvere verouderde epoxy-bindmiddel in evenwicht te brengen.

5

DISCUSSIE

Op basis van dit literatuuronderzoek kan geconcludeerd worden dat verschillende technische aspecten nog onderzocht moeten worden voordat epoxy op grote schaal in **wegenbouwmengsels** kan worden (her)gebruikt. De belangrijkste bevindingen zijn:

- 1 volgens een literatuur review van Xie, Li, & Wang (2022) kan epoxy als bindmiddel en hechtlaag worden toegepast. De meeste laboratoriumonderzoeken focussen alleen op epoxy als bindmiddel. Eén laboratoriumonderzoek over de prestaties van een epoxy hechtlaag is gevonden. De focus in laboratoriumonderzoeken ligt dus vooral op epoxy als bindmiddel in asfaltmengsels. Voor de toepassing van epoxy als hechtlaag is dus meer onderzoek nodig;
- 2 in de onderzoeken zijn verschillende samenstellingen en typen van epoxyhars en verharder gebruikt. Om het epoxy bindmiddel te verdunnen is het ook soms vermengd met verschillende soorten standaard bitumen. Deze mengsels zorgen voor een verschillend productie- en constructieproces (wat erg precies is bij epoxy-asfalt). Hierdoor is het lastig om een goede verwerkingsmethode te bepalen;
- 3 laboratoriumonderzoeken naar de werking van verschillende typen en samenstellingen van epoxy-asfalt is in grote mate beschikbaar. In dit rapport zijn alleen recente en onderzoeken van behoorlijke omvang beschreven. Meer en specifiekere informatie is te vinden wanneer daar specifiek naar gezocht wordt. Over praktijkproeven met epoxy-asfalt zijn minder onderzoeken bekend. De beschreven onderzoeken beschrijven alleen korte termijnresultaten (0-5 jaar). Het is belangrijk te verifiëren of de resultaten gelijk blijven op de lange termijn (>10 jaar) en of het epoxy-asfalt aan de verwachtingen voldoet;
- 4 recycling van epoxy-asfalt is tot nu toe alleen onderzocht met epoxy-asfalt uit het laboratorium. Dit kan tot gevolg hebben dat de uitkomsten afwijken wanneer recycling epoxy-asfalt vanuit het veld onderzocht zou worden;
- 5 in Nederland zijn, vergeleken met het buitenland, minder onderzoeken naar epoxy-asfalt uitgevoerd. Voornamelijk resultaten uit praktijkonderzoeken en onderzoek naar het hergebruiken van epoxy-asfalt ontbreken. De eerste stappen worden hier op dit moment in gezet en zijn voor de Nederlandse toepassing van epoxy-asfalt zeker nodig;
- 6 bij recycling van epoxy-asfalt wordt het bestaande epoxy-asfalt als granulaat toegepast en kan het niet opnieuw worden toegepast als bindmiddel door de thermohardende eigenschappen van epoxy. Het is niet duidelijk wat de duurzaamheid en milieubelasting van epoxy in asfalt is. Het is belangrijk om te onderzoeken hoe duurzaam epoxy is en wat de hergebruik potentie is in het kader van duurzaamheid.

6

INTERVIEWS

Dit hoofdstuk beschrijft de bevindingen over het gebruik van epoxy in asfalt die uit de interviews met de onderzoeksinstituten, beheerders en marktpartijen zijn gekomen. In de interviews is onder andere ingegaan op de discussiepunten uit het vorige hoofdstuk. Doordat de informatie vanuit interviews is verkregen, is context en toelichting niet beschikbaar. Voor verdere informatie wordt daarom verwezen naar de betrokken partij(en).

Onderzoeksinstituten

De partijen aanwezig bij het interview waren TU Delft, Universiteit Twente, Universiteit Antwerpen en TNO. De enige partij met kennis over epoxy modificaties in asfalt is de TU Delft. Momenteel loopt er een praktijkonderzoek naar epoxy-asfalt in samenwerking met Dura Vermeer en de provincies Noord-Holland en Gelderland. Het proefvak met epoxy-asfalt wordt gemonitord en het laat na twee jaar nog geen grote veranderingen in prestaties en visuele eigenschappen zien.

Verder voegt de TU Delft toe dat volgens onderzoek 40 % epoxy RAP in bitumen de beste prestaties zou laten zien in het asfalt. Bij percentages van 20-25 % epoxy in het bindmiddel zouden prestaties gelijkwaardig zijn aan standaard asfalt. Het toepassen van epoxy-asfalt in WMA (110 degrees) zou zorgen voor een goede verwerking bij productie en constructie.

Beheerders

De partijen aanwezig bij het interview waren de provincies Gelderland, Overijssel en Friesland. Ook de provincie Gelderland benoemt het lopende onderzoek in samenwerking met Dura Vermeer en de TU Delft. Vorige zomer is in dit samenwerkingsverband een proefvak aangelegd met een poreus asfaltmengsel. Tot nu toe tonen resultaten aan dat het een bijzonder lange levensduur gaat hebben in vergelijking met standaard asfalt.

De herbruikbaarheid van epoxy als aggregaat is mogelijk, maar het is onduidelijk of dit in een regulier proces verwerkt kan worden. De belangrijkste reden dat epoxy nog niet in asfalt wordt toegepast zijn de hoge initiële kosten. Het belangrijkste voordeel van epoxy-asfalt is de verlengde levensduur. Het is echter wel van belang om geschikte locaties te kiezen voor het gebruik van epoxy-asfalt. Op locaties waar het asfalt binnen de levensduur mogelijk vervangen dient te worden vanwege ruimtelijke aanpassingen (denk aan kruisingen, rotondes), worden de extra kosten niet 'terugverdiend' door de langere levensduur.

Marktpartijen

De partijen aanwezig bij het interview waren Strukton, Ballast Nedam, BAM, BMI group, Roof2road, Dura Vermeer, KWS en AsfaltNu. Met betrekking tot epoxy-asfalt zou epoxy vanuit asfalt wel hergebruikt kunnen worden als bindmiddel, maar mogelijk gaat de meerwaarde van de epoxy modificatie, zoals de verlengde levensduur, verloren. Verder hebben praktijkproeven de verlengde levensduur op korte termijn al kunnen aantonen en is er voor de aanleg van epoxy-asfalt geen specifiek materieel of procedures nodig. Ook de marktpartijen benoemen dat de verlengde levensduur van epoxy-asfalt alleen nut heeft als de andere onderdelen van de asfaltverharding deze levensduur ook behalen. Daarnaast heeft de verlengde levensduur geen voordelen als het asfalt eerder vervangen dient te worden.

De algemene strekking van de marktpartijen over de verwerking van secundaire materialen in asfalt is dat er nog veel vragen spelen over de effecten, kwaliteit, emissies, blootstelling aan medewerkers tijdens productie/constructie, herbruikbaarheid, benodigde technieken, etc. De marktpartijen zien graag een algemeen toetsingskader voor de toepassing van secundaire materialen en epoxy in asfalt. Ook vinden marktpartijen het belangrijk om in kaart te brengen wat voor soort asfalt op welke plek in Nederland ligt. Zeker op het moment dat meerdere secundaire materialen en epoxy in asfalt toegestaan worden.

7

CONCLUSIE EN AANBEVELINGEN

De conclusie van dit literatuuronderzoek is dat er weinig informatie is gevonden over het recyclen van epoxy-asfalt in nieuw asfalt. De meeste beschikbare informatie gaat over laboratoriumonderzoeken. Daarnaast zijn enkele praktijkonderzoeken uitgevoerd. Over het algemeen is de literatuur positief over het gebruik van epoxy in asfalt.

Internationaal

Epoxy-asfalt vindt zijn oorsprong op stalen dekbruggen door de sterkere eigenschappen ten opzichte van traditioneel asfalt. Door de toename van de intensiteit en het gewicht van verkeer wordt epoxy-asfalt steeds interessanter in normale wegverhardingen als deklaag. Vaak wordt in onderzoeken epoxy verdund met traditionele bitumen gebruikt, omdat de initiële kosten van epoxy erg hoog zijn. Laboratoriumonderzoeken met verschillende samenstellingen van epoxy-asfalt wijzen uit dat het asfalt met epoxy leidt tot stijver en sterker materiaal. Ook is het beter bestand tegen spoorvorming, slijtage en vermoeiing. De belangrijkste positieve eigenschap is de langere levensduur dan traditioneel asfalt. In plaats van een levensduur van 15-20 jaar, wordt een levensduur van minimaal 50 jaar verwacht. Meer en langere onderzoeken in het veld moeten dit nog aantonen. De eerste praktijkonderzoeken met EMOGPA en epoxy SMA in het buitenland bevestigen over het algemeen de prestaties van epoxy-asfalt gevonden in het laboratorium. Tevens tonen ze veelbelovende resultaten aangaande de verwachte langere levensduur van epoxy-asfalt. Uit de interviews komt een kritisch geluid op deze langere levensduur. De verlengde levensduur heeft geen voordelen als het asfalt eerder vervangen dient te worden en de overige lagen in de asfaltverharding moeten de langere levensduur ook kunnen behalen.

Toepassing

Voor de toepassing van epoxy-asfalt is het van belang dat het goed is samengesteld en dat alle componenten goed en volledig zijn gemengd. Ook is het constructieproces erg belangrijk om bij de aanleg van epoxy-asfalt overmatige uitharding te voorkomen. De belangrijkste zaken om rekening mee te houden zijn de productie- en aanlegtijd en de productie- en aanlegtemperatuur.

Het recyclen van epoxy-asfalt in nieuw asfalt is weinig onderzocht. De eerste onderzoeken laten zien dat epoxy-asfalt gemaakt in het laboratorium kan worden gebruikt in nieuw asfalt als vervanging van het grove aggregaat. Wanneer 80 % van het grove aggregaat wordt vervangen, zijn er geen negatieve gevolgen voor de stabiliteit, treksterkte en vochtweerstand van het mengsel ten opzichte van een traditioneel asfaltmengsel. De volumetrische eigenschappen worden niet beïnvloed tot een aandeel van 40 % epoxy-asfalt. Uit de interviews blijkt dat naast het hergebruik als grof aggregaat, ook manieren bestaan om epoxy uit asfalt te kunnen hergebruiken in nieuw asfalt.

Aanbevelingen

In laboratoriumonderzoek zijn veelal de positieve eigenschappen van epoxy-asfalt benoemd. Het punt wat vaak terug komt bij het gebruik van epoxy-asfalt, is de uithardingsperiode. Deze is heel kritiek voor het goed verwerken van epoxy in het asfalt. Verder onderzoek kan uitgevoerd worden naar (ITF, 2017):

- uithardings- en aanlegtijd: het uithardingsprofiel met de gewenste reactiesnelheid voor lokale omstandigheden moet worden geoptimaliseerd. Onderdelen kunnen zijn: duur van uitharding, afstand van het transport en de duur van het leggen;
- uithardingsperiode: het is belangrijk om vast te stellen wanneer na het initiële mengen van het epoxy-asfalt de reactie voltooid is;

- uithardingstemperatuur: sommige soorten epoxy-asfalt hebben het vermogen om op lage temperaturen sneller te kunnen uitharden dan verwacht. Verder onderzoek wordt geadviseerd om de potentiële energie- en kostenbesparingen tijdens productie die dit kan opleveren in kaart te brengen;
- productieproces: epoxy-asfalt is tot nu toe vaak in kleine hoeveelheden geproduceerd waarbij een goede controle is op de meentijd. Naar de productie van grotere hoeveelheden epoxy-asfalt moet meer worden gedaan;
- constructieproces: omdat epoxy thermohardend is, moet goed worden nagedacht over de timing van productie en aanleg;
- gezondheidsimpact: wanneer epoxy niet is uitgehard, kan het mogelijk stoffen bevatten die schadelijk zijn voor mens en milieu. Wanneer dit het geval is, wordt geadviseerd om speciale apparatuur en veiligheidsmaatregelen te nemen.

Naast deze aanbevelingen uit een onderzoek naar productie- en constructieprocessen, is ook verder onderzoek nodig naar de werking en prestaties van epoxy-asfalt in het veld. Internationaal en in Nederland worden de eerste onderzoeken hiernaar uitgevoerd. De tot nu toe bekende resultaten betreffen de prestaties van epoxy-asfalt op de korte termijn. Vooral de langere levensduur van epoxy-asfalt zou moeten worden aangetoond door meer langdurige onderzoeken uit te voeren. Ook zal dit ervoor zorgen dat het gebruikte epoxy-asfalt beschikbaar komt voor het verder onderzoeken van het recyclen van epoxy-asfalt in nieuw asfalt. Over dit onderwerp is één onderzoek gevonden en daarin betrof het recycling met epoxy-asfalt gecreëerd in het laboratorium. Verder onderzoek naar de prestaties van epoxy-asfalt uit het veld wordt geadviseerd om te bepalen of dezelfde resultaten en trends van toepassing zijn. Vervolgens kunnen na deze praktijkonderzoeken nieuwe onderzoeken uitgevoerd worden in relatie tot het recyclen van epoxy-asfalt in nieuw asfalt.

Daarnaast is het onduidelijk wat de duurzaamheid en milieu-impact van epoxy-asfalt op de lange termijn is. Om hier een duidelijk beeld over te krijgen is het nodig om voor diverse varianten van epoxy-asfalt een LCA uit te (laten) voeren. Mogelijk heeft het toevoegen van epoxy op de korte termijn (bij aanleg) meer milieu-impact dan traditioneel asfalt, maar heeft het door de (mogelijke) langere levensduur over de langere termijn een lagere impact. Dit kan echter alleen aangetoond worden door meer onderzoek.

Als laatste is de aanbeveling vanuit de interviews dat er een algemeen toetsingskader opgesteld dient te worden voor de toepassing van secundaire/asfaltvreemde materialen in asfalt. Ook is het aanbevolen om in kaart te brengen waar er wat voor soort asfalt ligt in Nederland om in de toekomst het asfalt op een goede manier te kunnen hergebruiken.

BIBLIOGRAFIE

- Alamri, M., & Lu, Q. (2022). Investigation on the inclusion of reclaimed diluted epoxy asphalt pavement materials into hot mix asphalt. *Construction and Building Materials*.
- Alamri, M., Lu, Q., & Xin, C. (2020). Preliminary Evaluation of Hot Mix Asphalt Containing Reclaimed Epoxy Asphalt Materials. *Sustainability*.
- Apostolidis, P. (2022). *Chemo-mechanics of epoxy-asphalt*. TU Delft Dissertation.
- Apostolidis, P., Liu, X., Erkens, S., & Scarpas, A. (2020). Use of epoxy asphalt as surfacing and tack coat material for roadway pavements. *Construction and Building Materials*.
- Gao, M., Xue, Y., Guan, P., & Yuan, F. (2020). Influence Mechanism of Epoxy Resin and Curing Agent on High-Temperature Performance of Asphalt. *Sains Malaysiana*, pp. 661-669.
- Herrington, P. (2010). *Epoxy-modified porous asphalt*. NZ Transport Agency research report 410.
- Herrington, P., Alabaster, D., Arnold, G., Cook, S., Fussell, A., & Reilly, S. (2007). *Epoxy modified open-graded porous asphalt. Economic evaluation of long-life pavement: Phase II, Design and testing of long-life wearing courses*. Land Transport New Zealand Research Report 321.
- ITF. (2017). Long-life Surfacing for Roads: Field Test Results. *ITF Research Reports, OECD Publishing, Paris*.
- Jing, R., Apostolidis, P., Liu, X., Erkens, S., & Scarpas, T. (2022). First-Year Field Performance of Epoxy-Modified Asphalt. *Transportation Research Record*, pp. 1-13.
- Sun, J., Huang, W., Lu, G., Luo, S., & Li, Y. (2023). Investigation of the performance and micro-evolution mechanism of low-content thermosetting epoxy asphalt binder towards sustainable highway and bridge decks paving. *Journal of Cleaner Production*.
- Technische Universiteit Delft. (2020). *Superasfalt minder snel moe*. Opgehaald van TU Delft: <https://www.tudelft.nl/stories/articles/superasfalt-minder-snel-moe>.
- van der Vliet, S. (2020). *Proef nieuw asfaltsoort moet langere levensduur aantonen*. Opgehaald van Dura Vermeer: <https://www.duravermeer.nl/nieuws/proef-nieuw-asfaltsoort-moet-langere-levensduur-aantonen/>
- Xie, H., Li, C., & Wang, Q. (2022). A critical review on performance and phase separation of thermosetting epoxy asphalt binders and bond coats. *Construction and Building Materials*.
- Zegard, A., Smal, L., Naus, R., Apostolidis, P., Liu, X., van de Ven, M., . . . Scarpas, A. (2019). Field Trials with Epoxy Asphalt for Surfacing Layers: Province of North Holland Case Study. *Proceedings of 2019 TRB Annual Meeting: 13-17 Januari 2019, Washington, USA Transportation Research Board (TRB)*.

