

# **VBW onderzoeksprogramma reductie benzeenemissie bij asfaltproductie**



**Projectnaam:** VBW onderzoeksprogramma reductie benzeenemissie bij asfaltproductie  
**Datum:** 29 juni 2021  
**Status:** Definitief  
**Kenmerk:** 2106-56048  
**Locatie:** Zoetermeer  
**Auteur:** VBW  
**Contactpersonen:** P. Kregting  
R. Wesseling

## Voorwoord

**Voor u ligt een onderzoek dat in opdracht van de Vakgroep Bitumineuze Werken van Koninklijke Bouwend Nederland (VBW) is uitgevoerd. Het onderzoek maakt inzichtelijk wanneer benzeen kan ontstaan in de afgasen van de asfaltproductie en welke oplossingen er mogelijk zijn om de benzeenemissie te minimaliseren. Dit biedt asfaltcentrales de mogelijkheid om op korte termijn te gaan werken aan de noodzakelijke reductie van benzeenemissie. Het is nadrukkelijk het streven van de asfaltsector om binnen de norm voor benzeenemissie te produceren. Dit past in de bredere maatschappelijke ambitie van de sector om asfalt circulair en emissieloos te produceren.**

De aanleiding voor het onderzoek is dat de VBW in december 2016 geconfronteerd werd met de conclusies van een meetonderzoek van de Omgevingsdienst Regio Arnhem. Bij twee van de zes Gelderse asfaltcentrales werd de destijds net ingevoerde norm voor benzeenemissie overschreden [1]\*. Hierop is in opdracht van de VBW en in afstemming met vertegenwoordigers van de omgevingsdiensten, Rijkswaterstaat en het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, een meetprogramma opgesteld, waarvan nu de resultaten bekend zijn.

Samen met de resultaten wordt ook een aantal oplossingsrichtingen gepresenteerd. De uitvoering van de aanbevelingen zullen leiden tot een reductie van benzeenemissie. De oplossingsrichtingen bieden de centrales die de norm overschrijden de mogelijkheden om de uitstoot aan de vigerende regelgeving te laten voldoen.

Dat de reductie niet in alle gevallen noodzakelijk is, blijkt uit het onderzoek en wordt bevestigd in de beantwoording van Kamervragen door staatssecretaris Van Veldhoven op 25 mei 2021. Acht van de 18 door de omgevingsdiensten gemeten asfaltcentrales overschrijden de norm niet [2]. Dit laat echter onverlet dat er actie nodig is bij centrales die de norm wel overschrijden. De VBW adviseert haar leden om de te nemen maatregelen af te stemmen met de betreffende omgevingsdienst in het werkgebied van de betreffende centrale.

Het uitbannen van te hoge uitstoot van benzeen is een onderdeel van de transitie naar een circulaire en emissieloze asfaltsector. Om deze ambitie te realiseren is er nauwe samenwerking nodig met de opdrachtgevers in de sector die eenzelfde ambitie hebben. Alleen gezamenlijk zal de sector erin slagen om deze ambities waar te maken. De VBW steekt hierbij haar hand uit naar de overheid om gezamenlijk aan haar duurzaamheidsdoelstellingen te werken.

De VBW bedankt de taakgroep voor het opstellen van dit rapport, conform opdrachtomschrijving. Met de oplevering van dit rapport heft de taakgroep zichzelf op.

## Leeswijzer

Het onderzoek dat voor u ligt bestaat uit de volgende onderdelen.

- Het eerste onderdeel betreft een door de VBW geschreven korte en bondige samenvatting van het gehele onderzoekstraject en de hieruit volgende conclusies en aanbevelingen voor de sector. Daarnaast bevat dit onderdeel een zienswijze over de te nemen noodzakelijke stappen in de (nabije) toekomst.
- De eerste bijlage betreft de rapportage geschreven door het onafhankelijke adviesonderzoeksbureau Emission Care in opdracht van de VBW [3]. De rapportage beschrijft het praktijkonderzoek naar benzeenemissies bij vier asfaltcentrales. Er wordt ingegaan op de werking van asfaltcentrales, de herkomst van benzeenemissie en de mogelijke maatregelen tot de reductie hiervan.
- De tweede bijlage is de rapportage van het door Kiwa uitgevoerde laboratoriumonderzoek [4]. In de rapportage is beschreven welke onderzoeksmethodieken er zijn gebruikt om via het doorlopen van een temperatuurtraject de hoeveelheid benzeen te bepalen in zowel de opgevangen gas- als vloeistoffase. Vanuit de optiek van een laboratoriumopstelling biedt ook deze rapportage handvatten voor reductie van benzeenemissie.
- Als laatste bijlage is tevens bijgevoegd een rapportage/berekening uitgevoerd door advies- en ingenieursbureau Tauw betreffende de impact van benzeen op leefniveau in de omgeving van asfaltmenginstallaties (toets luchtkwaliteit) [5].

\*) Verwijzingen naar gebruikte rapportages en literatuur [x]

## Samenvatting

Vanaf 2016 is de emissie van benzeen bij asfaltinstallaties steeds nadrukkelijker in beeld gekomen. De eerste constateringen dat de emissies de norm uit het Activiteitenbesluit milieubeheer overschreden, leidden uiteindelijk tot het opzetten en uitvoering van een grote meetcampagne. Met deze campagne zouden enerzijds de relaties tussen het asfaltproductieproces en benzeenemissies onderzocht worden en anderzijds de mechanismen waarbij benzeen in het productieproces kan vrijkomen of ontstaan. Dit onderzoek is uitgevoerd in de periode mei 2020 tot en met juni 2021.

## Conclusies onderzoek

Uit het onderzoek kunnen onderstaande conclusies worden getrokken:

- De benzeenemissie ontstaat in de zwarte trommel waar asfaltgranulaat wordt gedroogd en verwarmd;
- De benzeenemissie ontstaat uit het asfaltgranulaat, waarbij onduidelijk is of er sprake is van verdamping van benzeen dat is opgesloten in het asfaltgranulaat of van vorming van benzeen in de direct verwarmde zwarte trommel onder invloed van hoge temperaturen (kraakproces waarbij benzeen ontstaat uit kraakproducten);
- Bij de geteste centrales met indirect verwarmde zwarte trommels was de benzeenconcentratie lager dan de norm (EGW van 1 [mg/Nm<sup>3</sup>] @ 17 vol% O<sub>2</sub>);
- Bij de geteste centrales met direct verwarmde zwarte trommels werd de EGW voor benzeen regelmatig overschreden;
- Asfaltgranulaat zonder fijne fractie (bijvoorbeeld 0-5 mm) zorgt voor een verlaging van de emissie van benzeen in vergelijking tot asfaltgranulaat waarbij de fractie niet wordt gescheiden.
- Het onderzoek laat zien dat de benzeenemissie samenhangt met de temperatuur van het asfaltgranulaat:
  - Uit de testen met de indirect verwarmde zwarte trommels komt naar voren dat de benzeenemissie beperkt blijft als het asfaltgranulaat wordt verwarmd tot 170 °C (maximum gemeten asfaltgranulaat eindtemperatuur);
  - Bij directe verwarming van asfaltgranulaat is de kans echter groot dat een deel van het asfaltgranulaat warmer wordt dan 300 °C door direct vlamcontact en door warmteoverdracht ten gevolge van straling van de vlam. De piektemperatuur van het asfaltgranulaat in de droogtrommels is echter niet meetbaar;
  - Uit de laboratoriumproeven komt naar voren dat benzeenemissie ontstaat als gevolg van een verhoging van de temperatuur. Tussen 100 °C en 300 °C vindt een langzame stijging plaats van de hoeveelheid benzeen. Vanaf 300 °C versnelt de emissie van benzeen. Een sterke verhoging is zichtbaar tussen 400 °C en 600 °C.

Er wordt verondersteld dat de piektemperatuur van asfaltgranulaatdeeltjes in de zwarte trommel bepalend is voor het vrijkomen van benzeen. Er wordt verondersteld dat naarmate er meer deeltjes zeer warm worden de benzeenconcentratie in het rookgas toeneemt.

Dit verklaart waarom bij de geteste direct verwarmde zwarte trommels al bij lage asfaltgranulaat eindtemperaturen van 110 – 115 °C benzeenemissie wordt aangetroffen, terwijl bij de geteste

indirect verwarmde zwarte trommels zelfs bij een asfaltgranulaat eindtemperatuur van 170 °C nagenoeg geen benzeenemissie wordt aangetroffen.

De conclusies van het praktijkonderzoek worden onderschreven door de conclusies van het laboratoriumonderzoek. Voor de volledige conclusies uit beide onderzoeken wordt verwezen naar de bijgevoegde rapportages.

### **Reductie benzeenemissie**

Op basis van de conclusies kunnen de volgende aanbevelingen voor de reductie van benzeenemissie bij de productie van asfalt worden gedaan:

- Bij productie van asfalt zonder asfaltgranulaat komt normaliter nagenoeg geen benzeen vrij;
- Bij de onderzochte centrales met indirect verwarmde zwarte trommels is de benzeenconcentratie lager dan de EGW;
- Bij centrales met direct verwarmde zwarte trommels die teveel benzeen emitteren moet naar mogelijkheden worden gezocht om de piektemperatuur van de asfaltgranulaatdeeltjes te verlagen. Hierbij valt te denken aan:
  - Optimaliseren van de toevoer naar de zwarte trommel, zodat het asfaltgranulaat niet in direct contact komt met de vlam en weinig stralingsenergie kan opnemen;
  - Verlagen van de eindtemperatuur van het asfaltgranulaat;
  - Verlagen van de doorzet van de zwarte trommel (lager asfaltgranulaatpercentage en/of verlaging van de uurcapaciteit van de centrale);
  - Fijne fractie uit het asfaltgranulaat verwijderen. Slechts de grove fractie normaal verwerken in de zwarte trommel;
- Reductieopties die niet zijn onderzocht in dit onderzoek:
  - Nabehandeling van het rookgas (naverbranding, adsorptie, etc.);
  - Koude toevoeging van asfaltgranulaat in de menger

De aanbevelingen vanuit het praktijkonderzoek liggen in lijn met de aanbevelingen uit het laboratoriumonderzoek. Voor de volledige aanbevelingen uit beide onderzoeken wordt verwezen naar de bijgevoegde rapportages.

## Inhoudsopgave

Voorwoord.....	3
Leeswijzer .....	4
Samenvatting .....	5
Inhoudsopgave .....	7
1. Aanleiding .....	8
2. Opdracht .....	9
3. Werkwijze en verantwoording .....	9
4. Asfaltproductie .....	11
5. Benzeenemissie bij asfaltproductie.....	13
6. Laboratoriumonderzoek.....	14
7. Maatregelen.....	15
8. Mogelijkheden voor vervolgonderzoek.....	16
9. Stappenplan .....	17
10. Het vervolg .....	18
11. Literatuur .....	19

### Bijlagen:

1. Emission Care: Benzeenemissie bij asfaltproductie
2. Kiwa: Onderzoek naar benzeenemissie uit asfaltgranulaat
3. Tauw: Notitie immissieberekening N001-1248917BRA-V02-ihu-NL

## 1. Aanleiding

Op 1 januari 2016 trad de vierde tranche van het Activiteitenbesluit milieubeheer (hierna Activiteitenbesluit) in werking. Gelijktijdig werd hiermee de Nederlandse emissierichtlijn lucht (hierna NeR) ingetrokken. De NeR kende voor asfaltinstallaties een Bijzondere Regeling voor het reguleren van emissies naar de lucht. Met het intrekken van het NeR werden voor asfaltinstallaties de emissies naar de lucht gereguleerd via het Activiteitenbesluit.

De Bijzondere Regeling onder NeR kende geen specifieke normering voor Zeer Zorgwekkende Stoffen (hierna ZZS) uit de stoffencategorie MVP2. De overgang van de regulering van emissies zorgde dat artikel 2.4 van het Activiteitenbesluit rechtstreeks van toepassing werd op de emissies van asfaltinstallaties. Dit artikel geeft de minimalisatieverplichting voor de emissies van ZZS naar de lucht. De emissie-eisen voor ZZS zijn terug te vinden in tabel 2.5 van het Activiteitenbesluit.

In december 2016 zijn de uitkomsten bekend geworden van metingen naar de uitstoot van benzeen bij de Gelderse asfaltinstallaties die zijn uitgevoerd door de Omgevingsdienst Regio Arnhem (ODRA). Deze resultaten zijn opgenomen in rapport Project 4e tranche A.B. 2015/2016 Rapportage Asfaltinstallaties uit 2016. Uit deze emissiemetingen in de afgassen van de installatie is gebleken dat bij twee van de zes centrales overschrijdingen zijn van de norm (1,7 en 1,9 mg/Nm<sup>3</sup>, 17% O<sub>2</sub>) [1].

Benzeen is een zeer zorgwekkende stof waarvoor een minimalisatie verplichting (MVP2) geldt. Tot 1 januari 2016 werd benzeen in de milieuvergunning niet opgenomen als emissie-eis en werd daarom ook niet bemeaten tijdens de periodieke emissiemetingen.

De gemeten emissieconcentratie van benzeen bij de Gelderse asfaltmenginstallaties was voor de Vakgroep Bitumineuze Werken (VBW) van branchevereniging Bouwend Nederland aanleiding om in 2017 haar leden te vragen de onderzoeksresultaten van recente emissiemetingen ter beschikking te stellen, dan wel een emissiemeting inclusief benzeen uit te laten voeren. Dit om inzicht te krijgen in de emissiegegevens van benzeen binnen de branche. Uit de inventarisatie is gebleken dat bij meerdere asfaltmenginstallaties sprake is van een verhoogde uitstoot. Opvallend hierbij is dat er bij eenzelfde asfaltcentrale onder ogenschijnlijk gelijke procesomstandigheden verschillende benzeenemissiewaarden zijn gemeten. Reden om verder in actie te komen.

Na deze eerste inventarisatie hebben in 2018 diverse gesprekken plaatsgevonden met Omgevingsdienst NL, diverse vertegenwoordigers van regionale omgevingsdiensten, het ministerie van Infrastructuur & Waterstaat en Rijkswaterstaat. Op basis van deze gesprekken werd een gezamenlijk plan van aanpak opgesteld en een verzoek tot maatwerk aan elke omgevingsdienst in wiens werkgebied een asfaltcentrale is gevestigd. In dit verzoek tot maatwerk is een tijdelijke verhoging van de uitstoot norm gevraagd en is een conceptprogramma beschreven om binnen drie jaar de oplossing te vinden voor het verlagen van de benzeenuitstoot tot onder de grenswaarde. De gevraagde ontheffing in dit maatwerkverzoek was gebaseerd op metingen en analyses door Tauw [5], die hebben uitgewezen dat er ondanks de overschrijding op leefniveau geen risico's zijn voor de volksgezondheid.



## 2. Opdracht

De Vakgroep Bitumineuze Werken (VBW) heeft in 2019 een Taakgroep samengesteld. Deze Taakgroep kreeg de volgende opdracht mee:

*Inzicht verkrijgen in de mechanismen en condities die van invloed zijn op het ontstaan van benzeen alsmede in het asfaltproductieproces die benzeenemissies beïnvloeden.*

Het onderzoek is opgedeeld in een grootschalig praktijkonderzoek bij vier asfaltcentrales en een laboratoriumonderzoek. In het praktijkonderzoek is de benzeenemissie van vier centrales continu gemeten gedurende een periode van enkele weken tot maanden en zijn gelijktijdig de productieparameters van de centrale geregistreerd. In het laboratoriumonderzoek is benzeenemissie onderzocht dat vrijkomt wanneer asfaltgranulaat wordt verwarmd.

De Taakgroep is samengesteld met leden die ruime kennis hebben van asfaltinstallaties en ervaring hebben met het produceren van asfalt. De Taakgroep heeft zich als doel gesteld voor juli 2021 haar bevindingen te rapporteren. Dit rapport en de bijlagen vormen de invulling van deze doelstelling.

## 3. Werkwijze en verantwoording

Het onderzoek is opgedeeld in een grootschalig praktijkonderzoek bij vier asfaltcentrales en een laboratoriumonderzoek. In het praktijkonderzoek is de benzeenemissie van vier centrales continu gemeten gedurende een periode van enkele weken tot maanden en zijn gelijktijdig de productieparameters van de centrale geregistreerd. In het laboratoriumonderzoek is benzeenemissie onderzocht die vrijkomt wanneer asfaltgranulaat wordt verwarmd.

Het praktijkonderzoek richtte zich op het vastleggen van relaties tussen procesparameters, grondstoffen en benzeenemissies. Het praktijkonderzoek is gestart in mei 2020 en afgerond in juni 2021. In de winterperiode zijn lang niet altijd metingen uit te voeren, omdat de meeste asfaltinstallaties in deze winterperiode gesloten zijn. Er is dan geen vraag naar asfalt en vinden er revisies en onderhoudswerkzaamheden plaats. Tevens wordt asfalt geproduceerd op bestelling en niet continu. Gereed asfaltproduct kan slechts beperkte tijd bewaard en opgeslagen worden. Voor het vastleggen van eventuele relaties zijn metingen uitgevoerd onder normale bedrijfscondities bij verschillende typen asfaltinstallaties, ten einde een zo representatief mogelijk overzicht te krijgen. Verder zijn er enkele gerichte proeven gedaan om bepaalde hypothesen te testen.

De uitvoering van het praktijkonderzoek is in handen gegeven van Emission Care. Het eindrapport van dit onderzoek is toegevoegd bij deze notitie.

Het laboratoriumonderzoek heeft inzicht verschaft in de mechanismen van benzeenemissie vanuit asfaltgranulaat. In de periode september 2020 tot maart 2021 is een proefopstelling ontwikkeld waar monstermateriaal verwarmd kan worden tot een temperatuur van ca. 900 °C en waarbij het vrijkomen van de emissies van benzeen wordt gemonitord. Vanaf maart tot en met juni zijn met deze opstelling representatieve monsters asfaltgranulaat onderzocht. Tevens is een vers geproduceerd asfaltmengsel zonder asfaltgranulaat onderzocht.

De ontwikkeling van de onderzoeksmethode en de uitvoering ervan zijn gedaan door Kiwa te Apeldoorn. Het eindrapport van Kiwa is tevens toegevoegd bij deze notitie.

De Taakgroep heeft ervoor gekozen om veel data te verkrijgen om zo goed onderbouwde en gerichte maatregelen voor te kunnen stellen. Voor het praktijkonderzoek is hierom bewust gekozen voor het continu meten van de benzeenconcentraties met behulp van een (photo ionisation detection (PID) meter. Deze meter registreert elke minuut de benzeenconcentraties. Dit leverde snel meer betrouwbare gegevens op dan metingen met behulp van de Standaard Referentie Methode (SRM), conform NPR-CEN/TS13649). De SRM levert halfuurgemiddelde concentraties op en is daarmee minder geschikt om relaties te leggen tussen benzeenemissies en procesparameters gelet op de variabiliteit in het asfaltproductieproces.

Het onderzoek bij de asfaltinstallaties is beperkt door de volgende voorwaarden:

- Metingen zijn afhankelijk van productie behoefte;
- Voor het testen van hypothesen dient een voldoende aaneengesloten productie van een mengsel ingepland te zijn om betrouwbare metingen te kunnen uitvoeren;
- Voor het verkrijgen van data is gebruik gemaakt van een van de SRM afwijkende meetmethode. Meetgegevens zijn, hoewel wel vergelijkbaar, niet zondermeer bruikbaar richting bevoegd gezag;
- In een aantal gevallen bleek het lastig procesdata uit het besturingssysteem van een installatie te koppelen aan meetgegevens voor modellering.

Het doel van de laboratoriumopstelling was om inzicht te krijgen in de relatie tussen de temperatuur van asfaltgranulaat en vrijkomend benzeen. Met de laboratoriumopstelling is niet beoogd een weergave van een asfaltinstallatie na te bootsen. Er zijn verschillende concessies gedaan aan de praktijksituatie. Belangrijkste hiervan zijn:

- In de laboratoriumopstelling is uitgegaan van een statische toestand van de te verwarmen massa, terwijl in een asfaltproductiesituatie het asfaltgranulaat continu in beweging is;
- Verblijftijd van het granulaat bij een zekere temperatuur is in de laboratoriumopstelling veel langer dan in de praktijk het geval is.

De Taakgroep is zich bewust van de beperkingen van de onderzoeken. Deze doen echter niets af aan de conclusies van het onderzoek. De conclusies moeten in het licht van de onderzoeken gelezen en geïnterpreteerd worden.

#### 4. Asfaltproductie

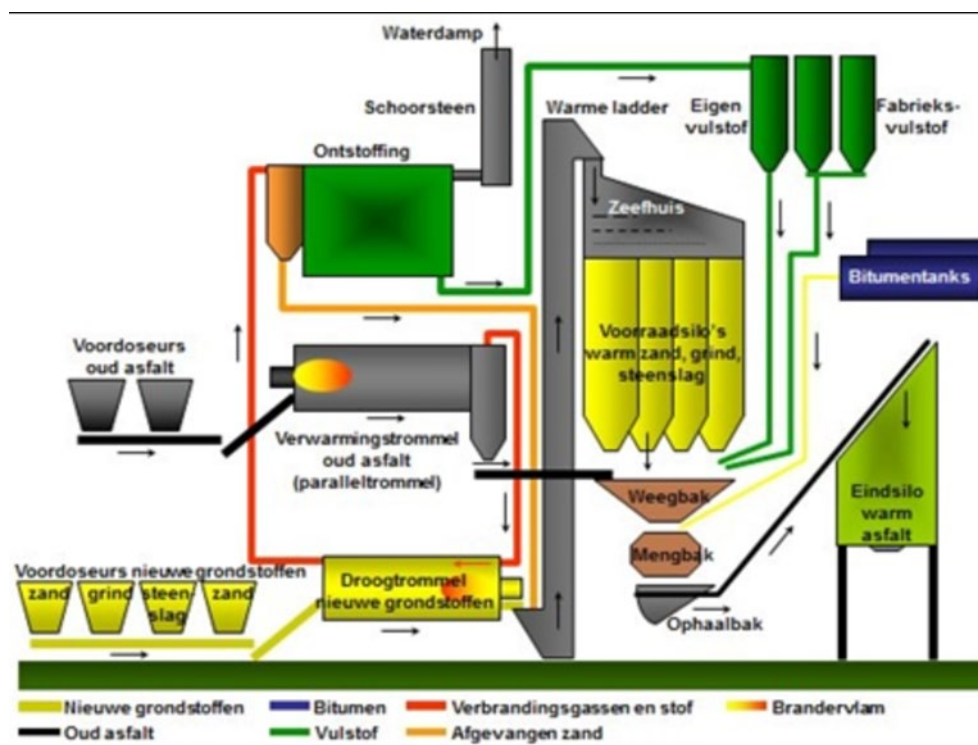
Asfalt bestaat in hoofdzaak uit drie bestanddelen: steenslag, zand en bitumen. Vandaag de dag worden nieuwe grondstoffen deels vervangen door asfaltgranulaat. Uit marktonderzoek (2012-2018) is naar voren gekomen dat ca. 35-40% van het geproduceerde asfalt bestaat uit asfaltgranulaat. Asfaltgranulaat is asfalt dat van de wegen af wordt gehaald. Het asfaltgranulaat bestaat uit steenslag omhuld met bitumen.

Bitumen is een aardolieproduct afkomstig uit het kraken van aardolie. Bitumen dient als de 'lijm' die de steenslag en het zand samenbindt tot asfalt. Bitumen heeft de eigenschap dat het visceus wordt bij verhitting en uithardt bij afkoeling.

Het asfaltproductieproces bestaat uit twee drogen/verwarmen processen en een mengproces (zie figuur 1 voor een schematische weergave).

Nieuwe grondstoffen worden gedroogd en verwarmd in een droogtrommel (de 'witte trommel'). Via een grote zeef komt het droge materiaal in de voorraadsilo's.

Het asfaltgranulaat wordt verwarmd in een andere trommel (de 'zwarte trommel' / paralleltrommel). Het asfaltgranulaat wordt hier verwarmd en de oude bitumen worden hier weer 'vloeibaar' gemaakt. Het verwarmde granulaat wordt getransporteerd naar de weegbak.



Figuur 1: Schematische weergave asfaltproductie (bron: [website Infomil](http://www.infomil.nl))

In de weegbak wordt het samen met de juiste hoeveelheden nieuw, droog materiaal afgewogen en komt het in de menger. In de menger worden de bitumen en, afhankelijk van de vereiste kwaliteiten van het eindproduct, vulstoffen toegevoegd. Na menging wordt het eindproduct opgeslagen in de eindsilo.

Alle drie de processen, drogen/verwarmen in de 'witte trommel', drogen/verwarmen in de 'zwarte trommel' en het weeg- en mengproces vinden gescheiden plaats, maar grijpen op elkaar in. Voor het gewenste eindresultaat dienen de juiste hoeveelheden op de juiste temperatuur op het juiste moment bij elkaar worden gebracht in de menger. De gewenste temperatuur van gereed asfaltproduct is afhankelijk van de respectievelijke capaciteit van de twee droogprocessen.

Beide droogtrommels worden over het algemeen verwarmd met een brandervlam in de trommel. Er zijn ook asfaltcentrales die het asfaltgranulaat indirect verwarmen. Voor verder toelichting wordt verwezen naar het rapport Benzeenemissie bij asfaltinstallaties [3].

## 5. Benzeenemissie bij asfaltproductie

Over een periode van 13 maanden is de benzeenemissie gemeten bij vier verschillende asfaltcentrales:

- twee centrales met direct gestookte 'zwarte trommels' (meestroom);
- één centrale met een indirect gestookte zwarte trommel (gasgenerator tegenstroom) en;
- één centrale met een volledig indirecte verwarming (zonder contact tussen verwarmingslucht en asfaltgranulaat).

De metingen zijn uitgevoerd in de schoorsteen, achter het stoffilter, onder uiteenlopende omstandigheden met onder anderen asfaltgranulaatpercentages variërend van 0 – 75%, eindtemperatuur asfalt van 120 - 180°C, grote variëteit aan asfaltmengsels, hoge en lage productiecapaciteit en toevallige niet standaard operationele condities. Tijdens de metingen zijn de procesomstandigheden van de installaties geregistreerd. De verzamelde data zijn gebruikt om de herkomst van de benzeenemissie te onderzoeken. Tevens is gezocht naar relaties tussen procesomstandigheden en de benzeenconcentratie in de schoorsteen van de centrale. Aan het eind van de onderzoeksperiode zijn proeven gedaan om te onderzoeken of de benzeenemissie kan worden beïnvloed door aanpassingen in het productieproces.

Het onderzoek laat zien dat de benzeenemissie ontstaat in de 'zwarte trommel' en samenhangt met de temperatuur van het asfaltgranulaat. Bij de onderzochte direct gestookte zwarte trommels wordt al bij lage asfaltgranulaat eindtemperaturen van 110 – 115 °C benzeenemissie aangetroffen, terwijl bij de onderzochte indirect verwarmde zwarte trommels zelfs bij een asfaltgranulaat eindtemperatuur van 170 °C nagenoeg geen benzeenemissie wordt aangetroffen. Door de directe verwarming neemt de kans op piektemperaturen van asfaltgranulaat >170 °C toe door vlamcontact en stralingshitte van de brander. De verwachting is dat juist de piektemperatuur van de asfaltgranulaatdeeltjes bepalend is voor de benzeenemissie.

In een installatie met directe verwarming zijn, nabij de brander, door vlamcontact en/of stralingshitte zijn temperaturen aanwezig van >800 - 900°C. Het asfaltgranulaat wordt hier veel warmer dan in de indirect verhitte zwarte trommels. Hierdoor treden bij direct verhitte installaties andere, chemische mechanismen op. Zeker als ook sprake is van meestroom en het asfaltgranulaat nabij de brandervlam in de trommel wordt gebracht.

Een andere belangrijke bevinding is de relatie tussen benzeenemissie en productiecapaciteit van de 'zwarte trommel' bij directe verwarming. Naarmate de productie in ton per uur toeneemt stijgt ook de benzeenemissie gemeten in mg benzeen per Nm<sup>3</sup>. Verondersteld wordt dat de concentratiestijging te maken heeft met de hogere piektemperaturen in de trommel en het feit dat er bij hogere belasting relatief meer deeltjes erg warm worden (het strooibeeld in de trommel is anders bij hoge capaciteit). Hoewel, logischerwijs, de productie van de 'zwarte trommel' stijgt naarmate er meer asfaltgranulaat in het asfaltmengsel wordt verwerkt, is hiermee niet gezegd dat benzeenemissies dalen naarmate er minder asfaltgranulaat in mengsel wordt verwerkt. De spreiding in de meetgegevens is te groot om deze conclusie te onderbouwen.

Voor meer en gedetailleerde beschrijvingen van de metingen, de bevindingen en de conclusies wordt verwezen naar de rapportage van Emission Care [3].

## 6. Laboratoriumonderzoek

Deel twee van de onderzoeksvraag heeft betrekking op het inzicht wanneer en onder welke condities benzeen vrijkomt uit asfaltgranulaat. Hiervoor is uitgegaan van twee hypothesen:

1. Benzeen is reeds aanwezig in het asfaltgranulaat en komt vrij bij verhitting van het materiaal
2. Benzeen ontstaat bij verhitting als onderdeel van een kraakproces

Om deze vraag nader te onderzoeken is Kiwa gevraagd een proefopstelling te ontwikkelen waar dit onderzocht kan worden. De methode houdt in dat één monster, in duplo, het gehele temperatuurtraject doorloopt en waarbij steeds één uur op de gewenste temperatuur wordt bemonsterd. Er wordt een mengsel van 15% zuurstof en 85% stikstof over het sample geleid met een flow van 30 ml/minuut. Hiermee worden de condities in de 'zwarte trommel' zo goed als mogelijk benaderd.

Bij verhitting van het monstermateriaal ontstaat een condensaat. Dit condensaat ontstaat als bestanddelen in het asfaltgranulaat vloeibaar worden door verhitting en na verdamping in het leidingenwerk van de opstelling condenseren. Deze vloeistoffen zijn separaat opgevangen. Dit bestaat uit een waterige en olieachtige fase. Het condensaat wordt opgevangen gedurende de gehele proef in één flesje per monster. Het gas wordt opgevangen in een Tedlar bag, waarbij na één uur gasdoorleiding op de gewenste temperatuur, de Tedlar bag wordt vervangen.

Door het asfaltgranulaat gecontroleerd te verhitten en de hierbij vrijkomende verbindingen te analyseren, wordt inzicht verkregen in het vrijkomen van benzeen. Dit inzicht kan benut worden door een selectie van de grondstoffen (asfaltgranulaat) en het verbeteren van het productieproces om de vorming van benzeen zoveel mogelijk te reduceren. De meettemperaturen zijn: 100 °C, 160 °C, 300 °C, 400 °C, 500 °C, 600 °C en 700 °C.

Uit het onderzoek komt naar voren dat benzeen vanaf ca. 300 °C vrijkomt. Benzeen komt eerst in geringe hoeveelheden vrij en dit neemt vanaf een temperatuur van ca. 300 °C exponentieel toe. Vanaf een temperatuur van ca. 500 °C vlakt de benzeenemissie af. Hierna vlakt de hoeveelheid af richting de eindtemperatuur van ca. 900 °C. De exponentiële toename van vrijkomend benzeen >500 °C duidt op een chemische omzetting van stoffen in benzeen. Echter, het 'uitdampen' van benzeen kan hier niet buiten beschouwing worden gelaten. Het kan zijn dat de heterogeniteit van de monsters een invloed hebben op het tempo waarin benzeen uitdampt.

Verder is geconstateerd dat het condensaat, voornamelijk in de oliefase, ook benzeen bevat. Dat benzeen nauwelijks wordt aangetroffen in de waterige fractie is verklaarbaar doordat benzeen slecht in wateroplosbaar is. Hierbij wordt ook aangegeven dat de waterige fractie condensaat ontstaat bij lagere temperaturen. Pas bij verhitting met hogere temperaturen ontstaat de oliefractie.

Bij een aantal monsters is, naast het vrijkomend gas, ook de vloeistoffen op benzeen ter verificatie geanalyseerd. Hierbij is geconstateerd dat de verhouding benzeen in gas en benzeen in vloeistof relatief constant is gebleven. De exacte hoeveelheden benzeen zijn voor de beantwoording van de onderzoeksvraag minder relevant.

Als referentie is Kiwa gevraagd om monsters asfaltgranulaat gemaakt van nieuwe materialen in deze proefopstelling te analyseren. Deze monsters laten een vergelijkbare curve met benzeenemissie zien. Het niveau van emissies van de verschillende asfaltgranulaatmonsters verschilt. Het nieuwe materialen referentiemonster emitteert een hoeveelheid benzeen binnen de bandbreedte van de overige monsters. Benzeen lijkt dus niet te ontstaan door het berijden op de weg door bijvoorbeeld uitlaatgassen of slijtage van banden. Meer laboratoriumproeven met monsters asfaltgranulaat gemaakt van uitsluitend nieuwe grondstoffen moet dit verder onderbouwen. Hierbij kunnen verschillende mengsels worden beproefd.

## 7. Maatregelen

In dit hoofdstuk worden verschillende aanbevelingen gedaan die de benzeenemissies kunnen reduceren.

Bij de productie van asfalt zonder asfaltgranulaat wordt geen benzeenemissie gemeten. Het stoppen met hergebruik van asfaltgranulaat draagt niet bij aan het ontwikkelen van een circulaire sector. De ambities richting een circulaire sector sturen de vraag naar asfaltproducten in belangrijke mate. Het stoppen met hergebruik zorgt voor een afvalstoffenstroom die alleen laagwaardig verwerkbaar is (als funderingslaag voor wegen).

Bij asfaltcentrales met een indirect verwarmde zwarte trommel worden benzeenconcentraties gemeten die onder de emissiegrenswaarde EGW van 1 [mg/Nm<sup>3</sup>] blijven. Voor de korte termijn vraagt het ombouwen van directe verhitting naar indirecte verhitting een investering van producenten. In individuele gevallen zal een kosten-batenanalyse moeten uitwijzen (overeenkomstig artikel 2.4 negende lid van het Activiteitenbesluit) of de investering terug te verdienen valt. Dit uiteraard in het perspectief van de verplichting om emissies van benzeen zoveel mogelijk te voorkomen en te beperken overeenkomstig artikel 2.4 derde lid van het Activiteitenbesluit en de verplichting om de Best Beschikbare Technieken in te zetten. Voor de wettelijk minimalisatieverplichting is een plan voor reductie en een jaarlijkse rapportage van de voortgang vereist.

Voorop staat dat direct maatregelen getroffen moeten worden als een emissie van ZZS leidt tot overschrijding van het maximaal toelaatbaar risico (MTR) van de immissieconcentratie van die stof (overeenkomstig artikel 2.4 vijfde lid Activiteitenbesluit). Er zijn geen signalen dat emissies van benzeen door asfaltinstallaties leiden tot overschrijding van het MTR.

Concrete maatregelen die op korte termijn op individueel niveau onderzocht kunnen worden voor centrales met direct verwarmde 'zwarte trommels' zijn gericht op de verlaging van de piektemperatuur van het asfaltgranulaat door een combinatie van onder meer de volgende maatregelen:

- Verlaging van de asfaltgranulaat eindtemperatuur (indicatief <110 °C);
- Veranderen van het strooibeeld in de 'zwarte trommel' door bijvoorbeeld verwerken asfaltgranulaat zonder fijne fractie (bijvoorbeeld 0-5 mm);
- Verlaging van de capaciteit van de 'zwarte trommel'.



Er is geconstateerd dat de piektemperatuur van asfaltgranulaat in belangrijke mate verantwoordelijk is voor het ontstaan van benzeenemissie. De eerste maatregel koppelt de eindtemperatuur van asfaltgranulaat aan de piektemperatuur. De relatie tussen de eindtemperatuur van asfaltgranulaat en benzeenemissie is aanwezig. Er kan echter niet worden gesteld dat bij een eindtemperatuur <110 °C in geen enkel geval benzeenemissie ontstaat.

De effectiviteit van maatregelen is erg afhankelijk van de individuele installatie en moet daarom ook onderzocht worden voor iedere individuele installatie.

Verder is geconstateerd dat het uitzeven van de fijne fractie uit asfaltgranulaat een daling van de benzeenemissie. In de proeven met een 0-5 mm zeef is wel tot 40% van het asfaltgranulaat uitgezeefd.

Reductieopties die niet zijn onderzocht in dit onderzoek:

- Nabehandeling van het rookgas (naverbranding, adsorptie, etc.);
- Koude toevoeging van asfaltgranulaat in de menger.

Geadviseerd wordt om per installatie tijdelijk een continu-meting op te stellen onder representatieve bedrijfssituaties. Bij een goed bezette installatie kan binnen enkele weken inzicht worden verkregen of en in welke mate sprake is van overschrijdingen van de emissiegrenswaarde voor benzeen. Geadviseerd wordt om deze meting in overleg te houden met het bevoegd gezag om vast te stellen of deze meting kan fungeren ter voldoening aan het gestelde in artikel 2.4 derde lid onder a van het Activiteitenbesluit. Op basis hiervan kan een plan worden opgesteld ter voldoening aan sub b van hetzelfde artikel. Doel is om sectorbreed te voldoen aan de eisen uit het Activiteitenbesluit.

## **8. Mogelijkheden voor vervolgonderzoek**

Uit het onderzoek komt een aantal aanbevelingen voor vervolgonderzoek naar voren.

De verlaging van het percentage gebruikt asfaltgranulaat moet nader onderzocht worden waarbij andere procesparameters (zoveel mogelijk) gelijk worden gehouden. Hierbij moet wel opgemerkt worden dat hier vooral wordt aanbevolen de invloeden van lagere percentages asfaltgranulaat in asfaltmengsels te onderzoeken.

Het strooibeeld van asfaltgranulaat in de 'zwarte trommel' kan op verschillende manieren worden beïnvloed. Gezien is dat uitzeven van de kleine fractie effect kan hebben, maar ook verlaging van productie van de 'zwarte trommel' kan verder worden onderzocht.

Een vergelijking tussen de laboratoriumproeven en de praktijkdata kan informatie geven over de relatie tussen de verschillende asfaltmengsels en het ontstaan van benzeenemissies. Dit vergelijking wordt de komende weken reeds in gang gezet.

Een andere aanbeveling betreft het aanpassen van de SRM voor het meten van benzeen bij discontinue processen. De ervaringen van de Taakgroep met de PID-meter laten zien dat deze methode vergelijkbare en betrouwbare resultaten geeft als de SRM voor benzeen en voor de



bedrijfsvoering veel interessante data oplevert. Dit is een actie die sectorbreed, samen met bevoegde instanties opgepakt moet worden.

## 9. Stappenplan

In het geval dat een asfaltcentrale de emissiegrenswaarde van benzeen overschrijdt, wordt de centrale geadviseerd de onderstaande stappen te doorlopen:

1. Bepalen huidige situatie door continu-metingen gedurende een zekere periode onder representatieve bedrijfscondities uit te voeren;
2. Bevoegd gezag informeren over de resultaten (AB artikel 2.4 derde lid onder a);
3. Bij overschrijdingen een plan van aanpak opstellen met mogelijke maatregelen die beproefd kunnen worden op de installatie met tijdspad waarbinnen deze beoordeeld zijn op effectiviteit (Activiteitenbesluit, artikel 2.4 derde lid onder b);
4. In plan van aanpak twee hoofdlijnen benoemen: korte termijn en lange(re) termijn;
5. Bevoegd gezag informeren over dit plan van aanpak (AB artikel 2.4 derde lid onder b);
6. Korte termijn bevat procesoptimalisaties en technische aanpassingen naast mogelijke nageschakelde technieken;
7. Lange(re) termijn bevat met name de duurzame vervangingsinvesteringen;
8. Als korte termijn maatregelen wel effectief zijn, maar leiden tot onvoldoende reductie in emissie om te voldoen aan de EGW, kan om een maatwerkvoorschrift worden verzocht (AB artikel 2.4 achtste lid onder a). Aan de voorwaarden die hier aan verbonden moet wel zijn voldaan;
9. Investeringen op lange(re) termijn moeten leiden tot voldoen aan de EGW uit tabel 2.5 van het Activiteitenbesluit;
10. Herhaal deze cyclus iedere vijf jaar (AB artikel 2.4 derde lid onder a), of;
11. Verzoek middels een maatwerkvoorschrift om ontheffing van de informatieverplichting overeenkomstig AB 2.4 vierde lid onder a of om een gefaseerde informatieverplichting overeenkomstig AB artikel 2.4 vierde lid onder b.

Termijnen waarop korte en lange(re) termijn maatregelen kunnen worden beproefd en doorgevoerd is afhankelijk van de individuele situatie van de installatie en dient, overeenkomstig het Activiteitenbesluit artikel 2.4 negende lid.

## 10. Het vervolg

Het onderzoek heeft een tegenstelling aan het licht gebracht tussen enerzijds de ambitie van het toepassen van meer hergebruikt asfalt en anderzijds het vrijkomen, afhankelijk van de productieomstandigheden, van benzeen. Het rapport toont aan welke maatregelen in aanmerking komen om het vrijkomen van benzeen te reduceren. Welke maatregelen daadwerkelijk genomen kunnen worden en hoe effectief deze zijn is afhankelijk van de specifieke omstandigheden in de individuele asfaltcentrale. De sector zal per centrale kijken wat er gedaan kan worden om de eerste stappen te zetten om het vrijkomen van benzeen te verminderen.

De asfaltproducenten verenigd in de VBW zien de reductie van de uitstoot van benzeen daarmee als een (essentieel) onderdeel in de transitie naar een circulaire en emissieloze asfaltsector die haar maatschappelijke verantwoordelijkheid voelt en oppakt.

Om de doelstellingen van duurzaam, circulair, CO<sub>2</sub> neutraal te werken te bereiken is meer nodig dan het reduceren van de benzeenuitstoot. Hoewel urgent en uiterst belangrijk is dit één van de stappen op het pad van deze transitie. Als sector willen en moeten we deze stappen zetten, maar dit moet wel op een verantwoorde manier worden gedaan. De gezondheid en veiligheid van Nederland is hierbij topprioriteit. Om voortgang te kunnen boeken is samenwerking met opdrachtgevers noodzakelijk en moeten klimaatdoelstellingen op elkaar worden afgestemd. Centrale aansturing vanuit de overheid is hierbij noodzakelijk, waarbij deze aspecten en de interactie daartussen in beschouwing moet worden genomen. Het is hierbij belangrijk dat alle wegbeheerders (Rijkswaterstaat, provincies, waterschappen en gemeenten) dezelfde doelen formuleren. Slechts dan is het mogelijk om hier als sector op te investeren. Want één ding is duidelijk, de transitie naar een duurzame en circulaire sector vraagt om grote financiële investeringen. Zeker nu het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat vooruitlopend op de doelen van het Klimaatakkoord haar doelstelling van CO<sub>2</sub> neutraliteit vervroegd heeft van 2050 naar 2030. In dit snellere tijdpad kan de sector niet grootschalig overschakelen op groene waterstof. Groene waterstof is in 2030 nog niet in voldoende mate beschikbaar. Hierdoor zullen andere en nieuwe technieken voor de CO<sub>2</sub>-vrije en circulaire productie ontwikkeld moeten worden. Dat vraagt om investeringen die niet door de asfaltsector alleen gedragen kunnen worden. Alleen als het ministerie van Infrastructuur & Waterstaat en de gezamenlijke opdrachtgevers bereid zijn tot samenwerking met de asfaltproducenten (verenigd in de VBW) om de afzonderlijke duurzaamheidsambities gezamenlijk en eenduidig te formuleren en afspreken om zich er naar te gedragen, is een snelle realisatie mogelijk tegen aanvaardbare investeringskosten voor alle partijen.

## 11. Literatuur

In dit eindrapport is op verschillende plaatsen gerefereerd naar uitgevoerde onderzoeken. Hier volgt een opsomming:

- [1] Kooijman, Frank. Project 4e tranche A.B. 2015/2016. Rapport Omgevingsdienst Regio Arnhem, 2016.
- [2] Beantwoording van Kamervragen door lid Van Eijs (D66) en het lid Von Martels (CDA) over benzeenemissies bij asfaltcentrales, IENW/BSK-2021/123844, 25 mei 2021
- [3] Emission Care, Benzeenemissie bij asfaltinstallaties. Eindrapport met projectnummer 1116, 2021
- [4] Kiwa N.V., Bepaling van het benzeengehalte in asfaltgranulaat. Eindrapport, projectnummer 004P001979, 2021.
- [5] Tauw, Impact van benzeen op leefniveau in de omgeving van asfaltmenginstallaties (toets luchtkwaliteit). Notitie N001-1248917BRA-V02-ihu-NL, 2018.

Voor het formuleren van hypothesen, onderzoeksvragen en voor nadere duiding van resultaten is gebruik gemaakt van beschikbare literatuur. Hieronder volgt een opsomming:

Niles, Sydney F. et al., *Characterization of an Asphalt Binder and Photoproducts by Fourier Transform Ion Cyclotron Resonance Mass Spectrometry Reveals Abundant Water-Soluble Hydrocarbons*. Environmental Science & Technology, 2020  
(<https://dx.doi.org/10.1021/acs.est.0c02263>)

Shicong Mo et al., *Effects of asphalt source and mixing temperature on the generated asphalt fumes*. Journal of hazardous materials, 2019.

Shicong Mo et al., *Changes of asphalt fumes in hot-mix asphalt pavement recycling*. Journal of Cleaner Production, 2020.

Kalagaeva, Kristina, *Bitumen fumes, impacts on human health and natural environment. Reduction, prevention and control of bitumen fumes in road construction industry*. University of Pisa, Thesis work 2012-2013.

Khare, Peeyush et al., *Asphalt-related emissions are a major missing nontraditional source of secondary organic aerosol precursors*. Science Advances, 2020.

Chaohui Wang et al., *Emission Reduction Performance of Modified Hot Mix Asphalt Mixtures*. Hindawi Advances in Materials Science and Engineering, 2017.

Shicong Mo et al., *Changes of asphalt fumes in hot-mix asphalt pavement recycling*. Journal of Cleaner Production, 2020.

# **Bijlage 1**



# Benzeenemissie bij asfaltproductie

**Opdrachtgever: VBW**

**Onderzoek: 4 asfaltcentrales**

**Periode: mei 2020 - juni 2021**



PROJECT START-EIND	: mei 2020 - juni 2021	KLANT	: VBW
PROJECTNUMMER	: 1116	LOCATIE	: Zoetermeer
RAPPORT VERSIE	: 1	INSTALLATIE	: 4 asfaltcentrales
RAPPORT DATUM	: 2021-06-29	PROJECT DOEL	: Onderzoek benzeen emissie

DISTRIBUTIE		GEMAAKT DOOR	EMISSION CARE
INTERN	: SmA	ADRES	: Willem Arntszlaan 129 3734EE Den Dolder
EXTERN	: VBW	TEL / WEB	: T: +31 (0)30 6991164 www.emissioncare.nl




## Inhoudsopgave

INHOUDSOPGAVE .....	2
PROJECTMEDEWERKERS EMISSION CARE.....	3
BENZEEN .....	3
INTRODUCTIE .....	4
SAMENVATTING.....	4
<b>1. PROJECT OPZET EN UITVOERING.....</b>	<b>6</b>
1.1. PRAKTIJKONDERZOEK .....	6
1.2. DATA ANALYSE .....	8
1.3. REDUCTIE OPTIES .....	8
<b>2. HERKOMST VAN DE BENZEENEMISSION .....</b>	<b>10</b>
2.1. WAAR ONTSTAAT BENZEENEMISSION .....	10
2.2. HOE ONTSTAAT BENZEENEMISSION.....	13
2.3. INVLOED VAN ASFALTMENGSELS OP DE BENZEENEMISSION .....	17
2.4. INVLOED STOFFILTER OP BENZEEN .....	18
<b>3. REDUCTIE VAN BENZEENEMISSION .....</b>	<b>19</b>
3.1. ONDERZOCHE BENZEEN REDUCTIEMAATREGELEN .....	19
3.2. NIET ONDERZOCHE BENZEEN REDUCTIEMAATREGELEN.....	20
<b>4. AANBEVELINGEN VOOR VERDER ONDERZOEK.....</b>	<b>22</b>
<b>BIJLAGEN:</b>	
BIJLAGE I PID METING (CONTINU) VERSUS ACTIEF KOOL (REFERENTIE).....	23

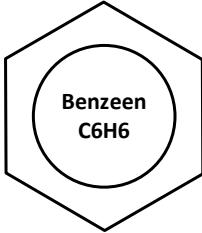


## Projectmedewerkers Emission Care

Functie	Naam medewerker	Paraaf
Projectleider	A. Smit	

## Benzeen

Benzeen is een koolwaterstof met de chemische formule  $C_6H_6$ . Het is een aromatische (ringvormige) koolwaterstof met één dubbele ring. Benzeen is de eenvoudigste aromatische koolwaterstof ten opzichte van Polycyclische Aromatische Koolwaterstoffen met een groot aantal ringen. Benzeen is een stabiele verbinding die bij kamertemperatuur voorkomt als een heldere kleurloze vloeistof met een onaangename geur. Benzeen is een apolair oplosmiddel dat slecht oplosbaar is in water. Benzeen is een carcinogene (kankerverwekkende) stof.

Parameter	Eenheid	Benzeen	
Structuurformule	-	$C_6H_6$	
Molgewicht	g/mol	78,1	
Smeltpunt	°C	5,5	
Kookpunt	°C	80,1	
Vlampunt	°C	-11	
Oplosbaarheid in water	g/l	1,79	
Dampdruk @ 25°C / 1 bar	Bar	0,11	



## Introductie

De VBW onderzoekt de herkomst van benzeenemissie bij asfaltproductie. Bij de productie van asfalt komt regelmatig meer benzeenemissie vrij dan is toegestaan volgens de huidige wet- en regelgeving. Benzeen is een zeer zorgwekkende stof (kankerverwekkend), waarvan de emissie moet worden geminimaliseerd.

Dit onderzoek heeft tot doel de herkomst en oorzaak van de benzeenemissie te achterhalen. Tevens worden de mogelijkheden onderzocht om de benzeenemissie te voorkomen of te reduceren.

## Opzet van het onderzoek

Over een periode van 13 maanden is de benzeenemissie gemeten bij 4 verschillende asfaltcentrales; 2 centrales met direct verwarmde zwarte trommels (meestroom), 1 centrale met een indirect verwarmde zwarte trommel (gasgenerator tegenstroom) en 1 centrale met een volledig indirecte verwarming. In een direct verwarmde trommel brandt een open vlam in de droogtrommel die de toegevoerde drooglucht en het materiaal verwarmt. Bij indirecte verwarming wordt de warmte van de vlam overgedragen naar het te drogen materiaal via een medium (lucht of trommelwand).

De metingen zijn uitgevoerd onder uiteenlopende omstandigheden met onder andere asfaltgranulaatpercentages variërend van 0 – 75%, asfalttemperatuur van 120 - 180°C, grote variëteit aan asfaltmengsels, hoge en lage productiecapaciteit en toevallige niet standaard operationele condities. Tijdens de metingen zijn de procesomstandigheden van de installaties geregistreerd. De verzamelde data is gebruikt om de herkomst van de benzeenemissie te onderzoeken. Tevens is gezocht naar relaties tussen procesomstandigheden en de benzeenconcentratie in de schoorsteen van de centrale. Aan het eind van de onderzoeksperiode zijn proeven gedaan om te onderzoeken of de benzeenemissie kan worden beïnvloed door aanpassingen in het productieproces.

Parallel aan het praktijkonderzoek bij de centrales wordt een laboratoriumonderzoek verricht naar het vrijkomen van benzeen uit asfaltgranulaat bij verwarming van het granulaat. Het laboratoriumonderzoek wordt niet in dit rapport uitgewerkt.

## Samenvatting

De samenvatting is puntsgewijs opgezet. Alle uitspraken in de samenvatting zijn waar mogelijk zwart/wit gemaakt. Nuancering van de samenvatting is in het rapport aangegeven.

- De benzeenemissie ontstaat in de zwarte trommel waar asfaltgranulaat wordt gedroogd en verwarmd.
- De benzeenemissie ontstaat uit het asfaltgranulaat, waarbij onduidelijk is of er sprake is van verdamping van benzeen dat is opgesloten in het asfaltgranulaat of van vorming van benzeen in de zwarte trommel onder invloed van hoge temperaturen (kraakproces waarbij benzeen ontstaat uit kraakproducten).
- Bij de geteste centrales met indirect verwarmde zwarte trommels was de benzeenconcentratie lager dan de Emissie Grens Waarde van 1 [mg/Nm<sup>3</sup>] @ 17 vol% O<sub>2</sub>. Bij de geteste centrales met direct verwarmde zwarte trommels werd de EGW voor benzeen regelmatig overschreden.





- Het onderzoek laat zien dat de benzeenemissie samenhangt met de temperatuur van het asfaltgranulaat. Uit de testen met de indirect verwarmde zwarte trommels komt naar voren dat de benzeenemissie beperkt blijft als het asfaltgranulaat wordt verwarmd tot 170 °C (maximum gemeten asfaltgranulaat eindtemperatuur). Uit de laboratoriumproeven komt naar voren dat bij verwarming van asfaltgranulaat tot een temperatuur van 200 °C de benzeenemissie zeer beperkt blijft. Boven de 400 °C neemt de benzeenemissie sterk toe. Bij directe verwarming van asfaltgranulaat is de kans echter groot dat een deel van het asfaltgranulaat warmer wordt dan 200 °C door direct vlamcontact en door warmteoverdracht ten gevolge van straling van de vlam. De piektemperatuur van het asfaltgranulaat in de droogtrommels is echter niet meetbaar.

**Wij veronderstellen dat de piektemperatuur van asfaltgranulaatdeeltjes in de zwarte trommel bepalend is voor het vrijkomen van benzeen. Wij veronderstellen dat naarmate er meer deeltjes zeer warm worden de benzeenconcentratie in het rookgas toeneemt.**

Dit verklaart waarom bij de geteste direct verwarmde zwarte trommels al bij lage asfaltgranulaat eindtemperaturen van 110 – 115 °C benzeenemissie wordt aangetroffen, terwijl bij de geteste indirect verwarmde zwarte trommels zelfs bij een asfaltgranulaat eindtemperatuur van 170 °C nagenoeg geen benzeenemissie wordt aangetroffen.

### Reductie benzeenemissie

De aanbevelingen om benzeenemissie bij asfaltcentrales te reduceren zijn gebaseerd op onderzoeksgegevens van 4 asfaltcentrales. Het is mogelijk dat bij andere centrales situaties worden aangetroffen die tot andere uitkomsten en andere mogelijke maatregelen leiden.

- Bij productie van asfalt zonder asfaltgranulaat komt normaliter nagenoeg geen benzeen vrij.
- Bij de onderzochte centrales met indirect verwarmde zwarte trommels is de benzeenconcentratie lager dan de EGW.
- Bij centrales met direct verwarmde zwarte trommels die teveel benzeen emitteren moet naar mogelijkheden worden gezocht om de piektemperatuur van de asfaltgranulaatdeeltjes te verlagen. Hierbij valt te denken aan:
  - Optimaliseren van de toevoer naar de zwarte trommel zodat het asfaltgranulaat niet in direct contact komt met de vlam en weinig stralingsenergie kan opnemen.
  - Verlagen van de eindtemperatuur van het asfaltgranulaat
  - Verlagen van de doorzet van de zwarte trommel (lager asfaltgranulaatpercentage en/of verlaging van de uurcapaciteit van de centrale)
  - Fijne fractie uit het asfaltgranulaat verwijderen. Slechts de grove fractie normaal verwerken in de zwarte trommel.
- Reductieopties die niet zijn onderzocht in dit onderzoek:
  - Nabehandeling van het rookgas (naverbranding, adsorptie, etc.)
  - Koude toevoeging van asfaltgranulaat in de menger

## 1. PROJECT OPZET EN UITVOERING

De asfaltbranche heeft een onderzoek uitgevoerd naar het ontstaan van benzeenemissie bij de productie van asfalt. Het onderzoek moet uitwijzen:

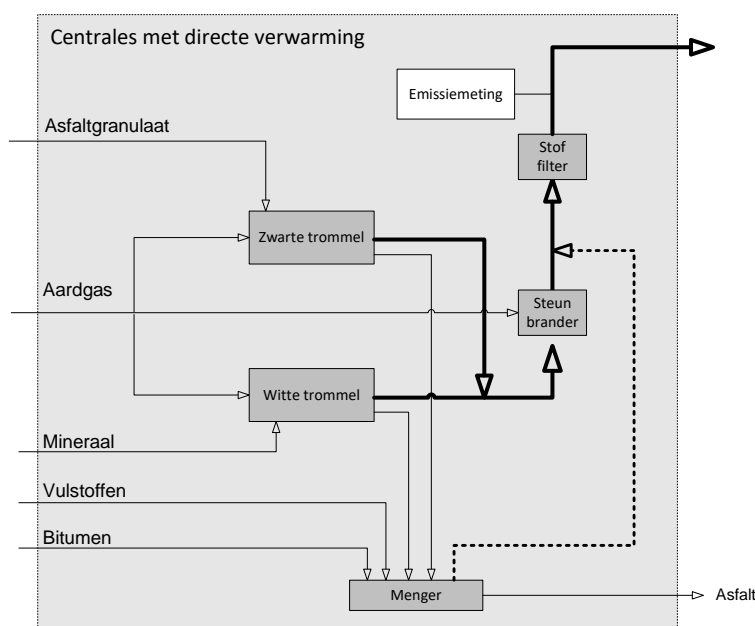
- wat de herkomst en oorsprong is van de benzeenemissie;
- hoe de benzeenemissie (indien mogelijk) kan worden verlaagd.

Het onderzoek is opgedeeld in een grootschalig praktijkonderzoek bij 4 asfaltcentrales en een laboratoriumonderzoek. In het praktijkonderzoek is de benzeenemissie van 4 centrales continu gemeten gedurende een periode van enkele weken tot maanden en zijn gelijktijdig de productieparameters van de centrale geregistreerd. In het laboratoriumonderzoek is benzeenemissie onderzocht die vrijkomt wanneer asfaltgranulaat wordt verwarmd. Dit rapport beschrijft het praktijkonderzoek.

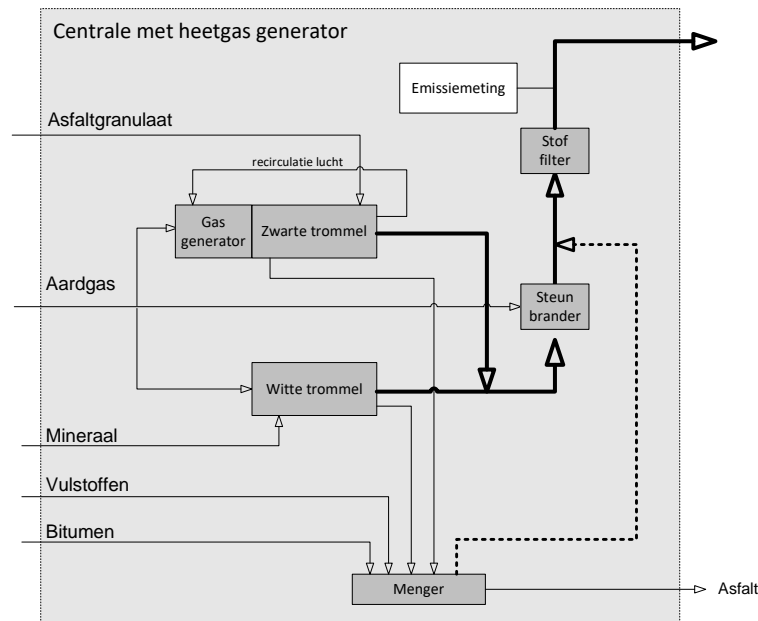
### 1.1. Praktijkonderzoek

Het praktijkonderzoek is gestart in mei 2020 en gestopt in juni 2021. Het heeft plaatsgevonden bij 4 asfaltcentrales:

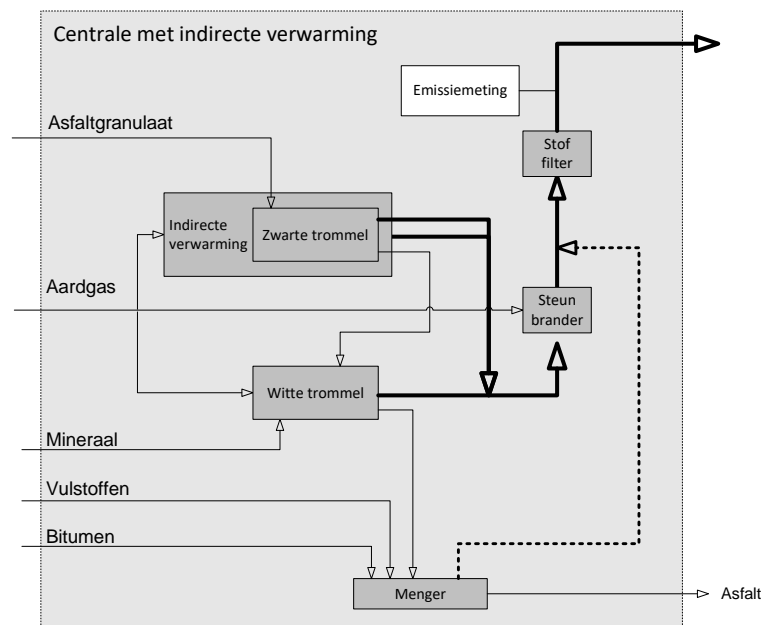
- Alle centrales hebben 2 droogtrommels, een witte trommel voor droging/verwarming van nieuw mineraal (zand / grind) en een zwarte trommel voor droging/verwarming van gerecycled asfaltgranulaat. De droogtrommels zijn intern voorzien van schoepen. Door rotatie van de trommel wordt het te drogen materiaal verstrooid. Met behulp van warme drooglucht wordt het materiaal gedroogd en verwarmd.
- De productiecapaciteit van de centrales varieert van 300.000 tot 500.000 ton/jaar. De centrales produceren asfalt waarin 0 tot 70% asfaltgranulaat wordt verwerkt. De bulk van de productie wordt afgeleverd op 170 - 180°C, een klein deel op 120°C.
- 2 centrales hebben een direct verwarmde zwarte trommel: in de trommel brandt een gasvlam die de toegevoerde drooglucht verwarmt. De hete drooglucht droogt en verwarmt het asfaltgranulaat. Direct contact tussen de vlam en het asfaltgranulaat wordt zo goed mogelijk voorkomen.



- 2 centrales hebben een indirect verwarmde zwarte trommel:
  - 1 centrale heeft een heetgas generator, een aparte verbrandingsruimte waarin drooglucht met een gasvlam wordt verwarmd. De warme drooglucht wordt door de zwarte trommel geleid en na afgifte van warmte weer deels teruggevoerd naar de heetgas generator.



- 1 centrale heeft een volledig indirect verwarmde zwarte trommel waarbij warmte wordt toegevoegd aan de buitenzijde van de trommel en via de trommelwand wordt overgedragen aan het asfaltgranulaat. Er wordt een kleine hoeveelheid drooglucht in de zwarte trommel geblazen om waterdamp af te voeren. Het verwarmde asfaltgranulaat wordt in de witte trommel bijgemengd en verwarmd tot de gewenste asfalt eindtemperatuur.





Tijdens het praktijkonderzoek is de benzeenemissie van de centrales continu gemeten met behulp van een PID (photo ionisation detection) meter die elke minuut de benzeenconcentratie registreert. De meting heeft plaatsgevonden in de schoorsteen van de centrale, achter het stoffilter. Gelijktijdig met de benzeenmeting is de zuurstofconcentratie in het rookgas gemeten om de benzeenconcentratie te kunnen omrekenen naar  $[mg/Nm^3]$  bij 17 vol% O<sub>2</sub>. De PID meting is op gezette tijden gekalibreerd met ijkgas en gecontroleerd met de resultaten van enkele gelijktijdig uitgevoerde meting met de Standaard Referentie Methode (SRM, conform norm NPR-CEN/TS13649). De controles laten zien dat de PID meting en de SRM meting goed vergelijkbaar zijn (zie Bijlage I). De SRM levert halfuur gemiddelde concentraties op en moet handmatig worden uitgevoerd. De SRM is daarom niet geschikt om een duurmeting uit te voeren met een hoge meetfrequentie.

Tijdens het praktijkonderzoek zijn de operationele condities van de centrales continu geregistreerd met behulp van data die uit de procesbesturing van de installatie is overgenomen.

Tijdens het praktijkonderzoek zijn grondstofsamples genomen van het asfaltgranulaat dat is verwerkt. Deze samples zijn bewaard voor mogelijk onderzoek. Een deel van de samples is ingezet in het laboratoriumonderzoek waarbij het vrijkomen van benzeenemissie wordt onderzocht als het sample wordt opgewarmd in een oven.

Het praktijkonderzoek varieerde van 1 tot enkele maanden per centrale. Tijdens deze periode is data verzameld onder normale productieomstandigheden van de centrale, waarbij een veelheid aan asfaltsoorten is geproduceerd en een grote variëteit in de procescondities heeft plaatsgevonden. Op verzoek zijn ook testen uitgevoerd om de invloed van specifieke productie-omstandigheden op de benzeenemissie te onderzoeken.

## 1.2. Data analyse

Tijdens het praktijkonderzoek is emissiedata en procesdata van de centrales verzameld. Deze data is geanalyseerd om de onderzoeksvragen (herkomst van benzeenemissie / reductiemogelijkheden van benzeenemissie) te beantwoorden.

De data analyse is gestart met een zoektocht naar verbanden tussen procescondities in de centrale en de gemeten benzeenemissie. Uit de zoektocht zijn enkelvoudige conclusies naar voren gekomen, bijvoorbeeld dat de benzeenemissie ontstaat in de zwarte trommel, en zijn complexere verbanden gevonden waarbij meerdere procescondities samen de benzeenemissie beïnvloeden. Om de complexe verbanden te doorgronden is een model ontwikkeld waarmee de benzeenemissie kan worden beschreven aan de hand van een aantal procesparameters in de centrale. De gevonden verbanden tussen procescondities en de benzeenemissie zijn waar mogelijk gevalideerd met praktijktesten in de centrales.

De data analyse heeft antwoorden gegeven op de vraag wat de herkomst / oorsprong is van de benzeenemissie en heeft geresulteerd in een overzicht van mogelijke maatregelen om de benzeenemissie te reduceren.

## 1.3. Reductie opties

De opties om de benzeenemissie van een asfaltcentrale te reduceren zijn in de praktijk getest. Deze praktijktesten zijn bij 1 centrale uitgevoerd met een direct verwarmde zwarte



trommel. Aangezien elke centrale uniek is moeten de resultaten van deze testen met grote voorzichtigheid worden veralgemeniseerd naar de gehele asfaltbranche.

## 2. HERKOMST VAN DE BENZEENEMISSIE

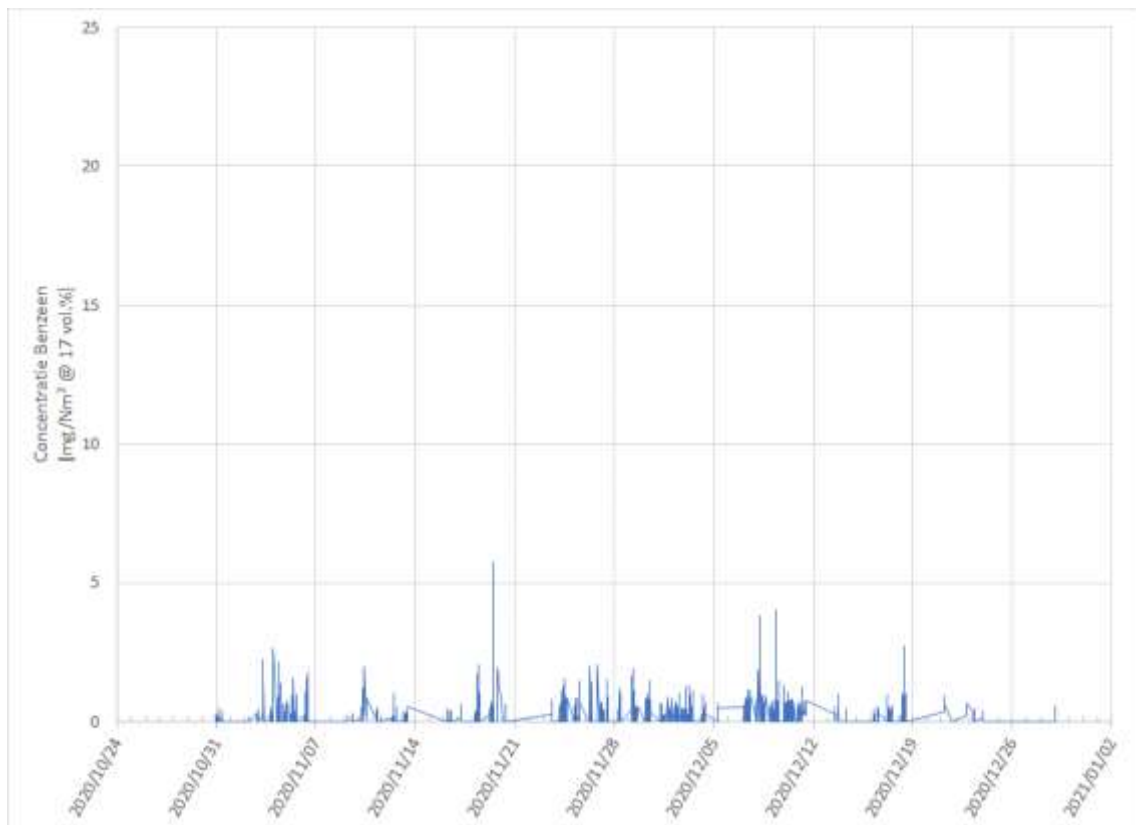
### 2.1. Waar ontstaat benzeenemissie

Bij de geteste centrales met indirect verwarmde zwarte trommels werden benzeenconcentraties gemeten die lager waren dan de EGW van 1 [mg/Nm<sup>3</sup>] @ 17% O<sub>2</sub>. Bij de geteste centrales met direct verwarmde zwarte trommels werden regelmatig benzeenconcentraties gemeten die hoger waren dan de EGW.

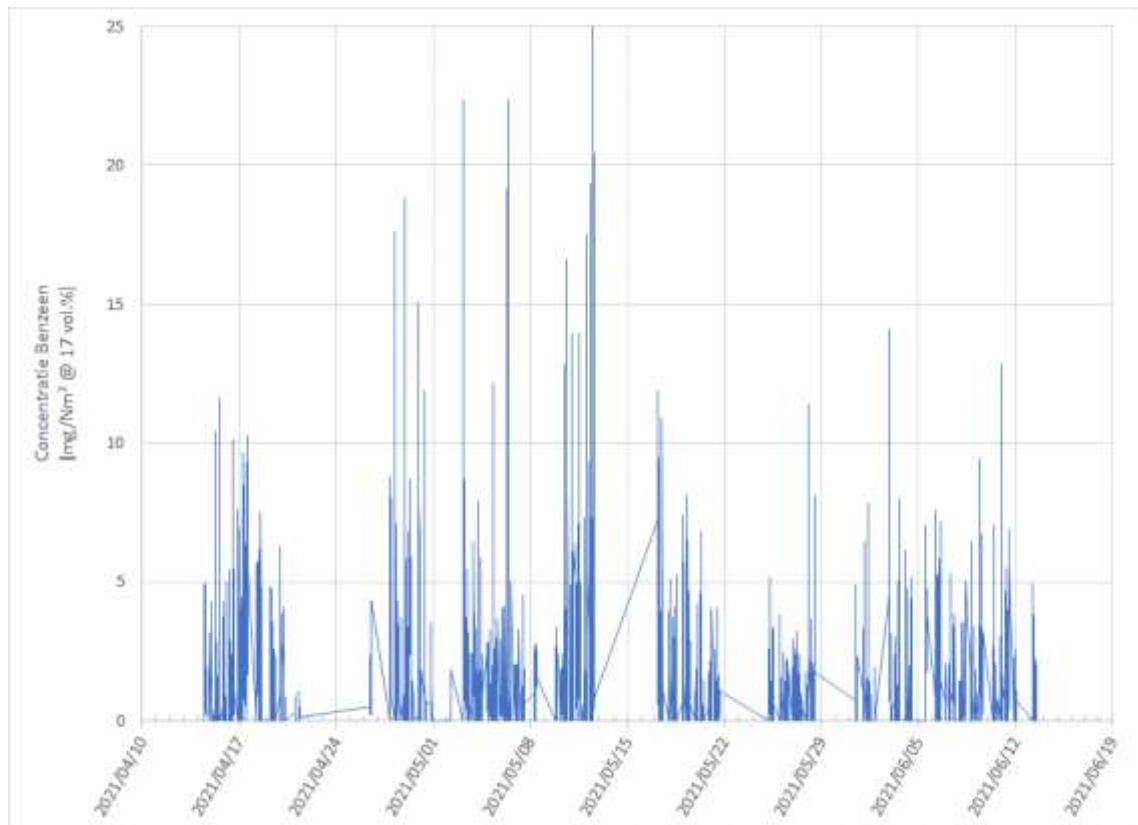
In de onderstaande 2 grafieken is de gemeten benzeenconcentratie in [mg/Nm<sup>3</sup>] @ 17% O<sub>2</sub> weergegeven over de gehele meetduur van de praktijktest bij een indirect en een direct verwarmde zwarte trommel.

Let op!

De grafieken laten minuutwaarden zien met veel pieken en nulwaarden. Voor een vergelijking met de EGW moeten de concentraties eerst worden gemiddeld naar half-uurgemiddelde waarden, waardoor de pieken wegvallen.

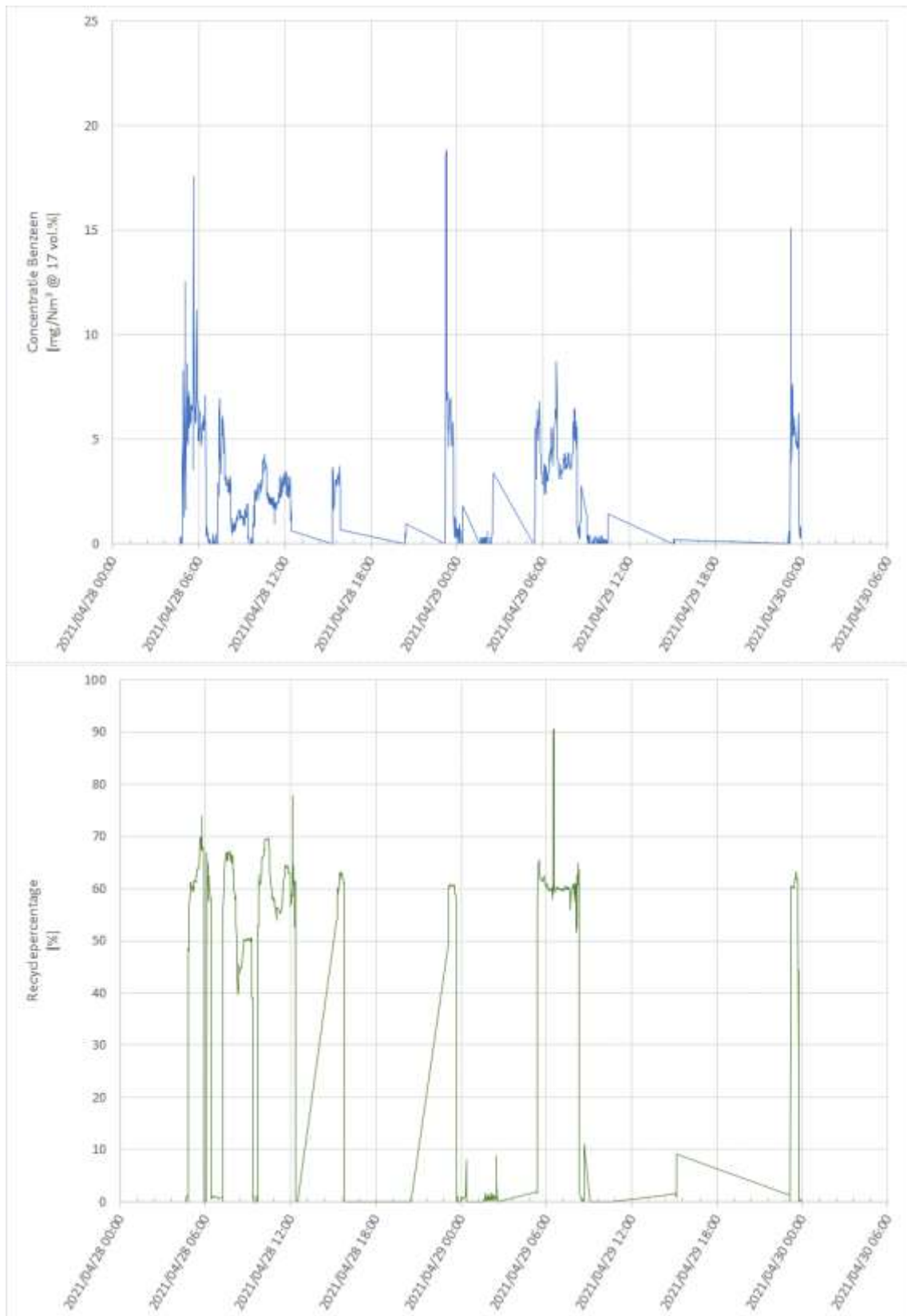


Figuur 1: benzeenemissie bij indirect verwarmde zwarte trommel



Figuur 2: benzeenemissie bij direct verwarmde zwarte trommel

Bij de beide centrales met direct verwarmde zwarte trommels kon worden vastgesteld dat de benzeenemissie ontstaat in de zwarte trommel. Als alleen de witte trommel in bedrijf was dan werden benzeenemissies gemeten die veel lager waren dan de EGW. Bij de beide centrales met indirect verwarmde zwarte trommels was de benzeenemissie dermate laag dat deze conclusie voor indirect verwarmde trommels niet kon worden bevestigd.



Figuur 3: benzeenemissie direct verwarmde zwarte trommel: afwisselend in en uit bedrijf (recycle percentage 0 vs. 50-70%)



## 2.2. Hoe ontstaat benzeenemissie

Benzeen [C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>] is een koolwaterstofverbinding die onder bepaalde condities vrijkomt uit asfaltgranulaat (verdamping) of gevormd wordt door thermische ontleding van andere koolwaterstoffen die vrijkomen uit asfaltgranulaat. Het praktijkonderzoek geeft geen inzicht in het vormingsmechanisme van benzeen, maar laat wel zien onder welke omstandigheden de benzeenemissie kan ontstaan. Vaak is het een combinatie van omstandigheden die niet los van elkaar zijn te variëren die tot benzeenemissie leidt.

De discussie over het ontstaan van benzeenemissie is opgezet voor centrales waar hogere benzeenemissies zijn gemeten (de geteste centrales met direct verwarmde zwarte trommels). De constatering zal met grote waarschijnlijkheid ook opgaan voor centrales met indirect verwarmde zwarte trommels. Deze veronderstelling kan echter niet met meetgegevens uit het praktijkonderzoek worden onderbouwd.

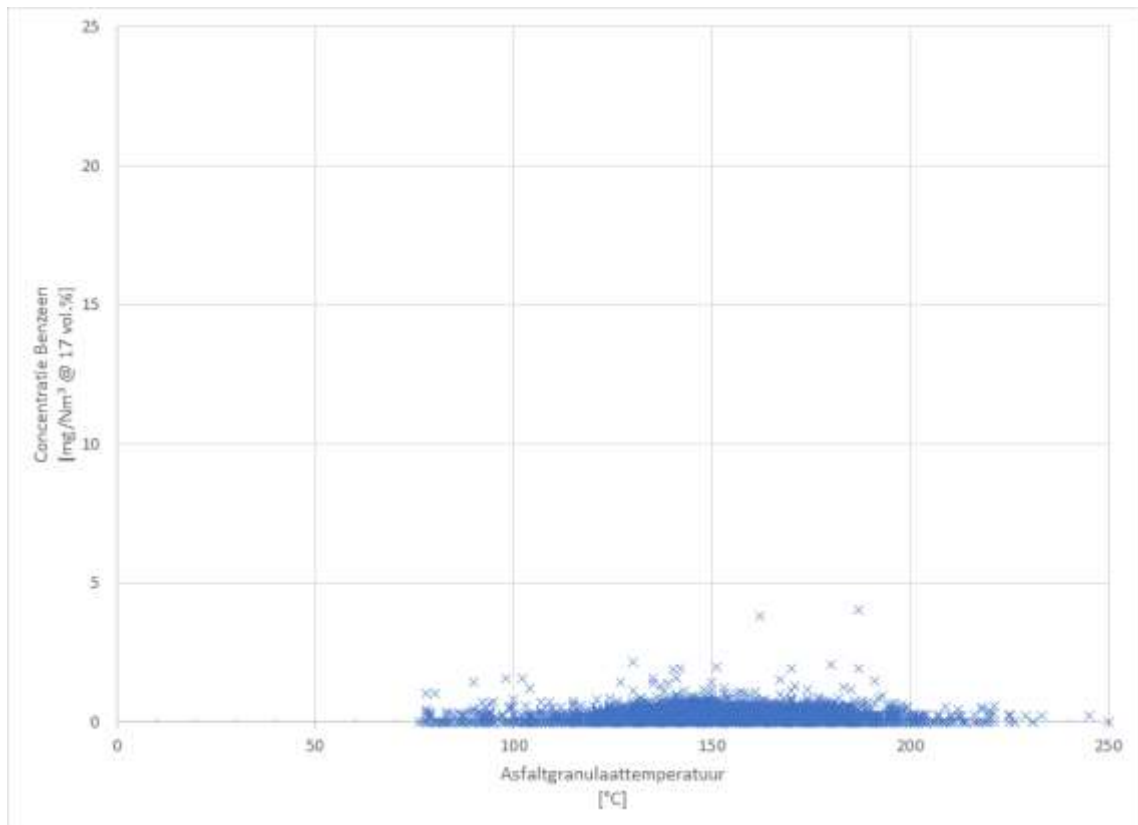
### 2.2.1. Benzeenemissie versus asfaltgranulaattemperatuur

Het asfaltgranulaat wordt gedroogd en verwarmd tot een temperatuur die per centrale varieert van 100 – 140°C. In één centrale met een indirect verwarmde zwarte trommel wordt het asfaltgranulaat vaak verwarmd tot 150°C en is het asfaltgranulaat bij speciaal opgezette testen verwarmd tot 170°C.

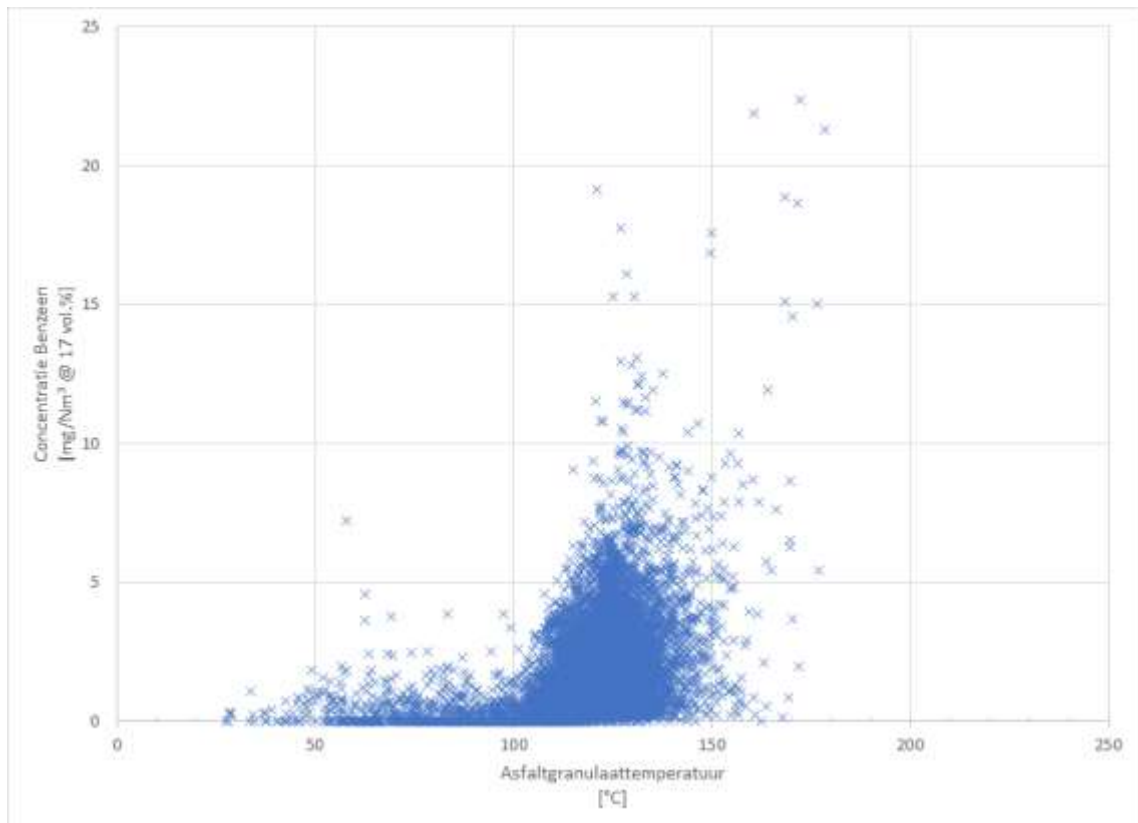
Bij de geteste centrales met direct verwarmde zwarte trommels wordt vanaf een temperatuur van 110°C benzeen in het rookgas waargenomen. De benzeenconcentratie in het rookgas loopt verder op naarmate de temperatuur van het asfaltgranulaat stijgt. Bij de centrale met een indirect verwarmde zwarte trommel wordt over de gehele temperatuurrange tot aan een asfaltgranulaattemperatuur van 170°C een zeer lage benzeenconcentratie waargenomen. Het is hier niet vast te stellen of de concentratie<sup>1</sup> varieert met de temperatuur van het asfaltgranulaat.

---

<sup>1</sup> De gemeten benzeenconcentratie ligt bij alle temperatuurniveaus rond de onderste detectiegrens van de meting waardoor niet kan worden vastgesteld of er variaties zijn.



Figuur 4: benzeenconcentratie tegen asfaltgranulaattemperatuur indirect verwarmde PR trommel



Figuur 5: benzeenconcentratie tegen asfaltgranulaattemperatuur direct gestookte PR trommel



Deze ogenschijnlijk verschillende resultaten kunnen worden verklaard door het warmteoverdracht proces in de zwarte trommel van de verschillende centrales nader te bestuderen.

- In de direct verwarmde trommels komen veel hogere piektemperaturen voor dan in de indirect verwarmde trommels. In de vlam kan de temperatuur oplopen tot 1500°C, terwijl de temperatuur in de indirect verwarmde trommel is begrensd tot de temperatuur van de lucht die naar de trommel wordt toegevoerd of wordt gebruikt om de trommelwand te verwarmen (maximum 500 - 600°C). Als losse asfaltgranulaat deeltjes in contact komen met de vlam dan kan de temperatuur van deze deeltjes hoog oplopen.
- In de direct verwarmde trommels wordt stralingsenergie overgedragen van de vlam op het te drogen materiaal in de trommel. Deze warmteoverdrachtcomponent ontbreekt bij de trommels met indirecte verwarming. Kleine asfaltgranulaat deeltjes kunnen sterk worden opgewarmd door de straling van de vlam.

De bovenstaande verschillen tussen direct en indirect verwarmde trommels geven aanleiding tot de veronderstelling dat losse asfaltgranulaatdeeltjes bij direct verwarmde trommels lokaal veel warmer kunnen worden dan in indirect verwarmde trommels.

- In de geteste direct verwarmde trommels wordt het asfaltgranulaat ingevoerd bij de vlam (meestroom trommel) terwijl het asfaltgranulaat bij de geteste indirect verwarmde trommel met heetgas generator wordt toegevoerd aan het tegenoverliggende einde van de trommel waar het hete gas binnenkomt (tegenstroom trommel). Bij de volledig indirect verwarmde trommel wordt de warmte egaal over de gehele trommel toegevoerd.
- Bij de invoer van het koude asfaltgranulaat worden kleine en grotere deeltjes rondgestrooid in de trommel. Bij de uitvoer van het warme asfaltgranulaat zullen alle deeltjes samenklonteren door de aanwezige bitumen in het asfaltgranulaat.

Bij een meestroom direct verwarmde trommel wordt de warmte toegevoerd op het punt waar veel kleine deeltjes worden rondgestrooid. Kleine deeltjes warmen snel op door het relatief grote warmtewisselende oppervlak ten opzichte van de inhoud van het deeltje. Bij de tegenstroom indirect verwarmde trommel worden grotere samengeklonterde deeltjes blootgesteld aan de hoogste temperatuur (opmerking: deze deeltjes hebben wel een hoger temperatuurniveau dan de koude asfaltgranulaatdeeltjes bij de inlaat van de trommel).

Door de lokaal hoge temperaturen in de direct verwarmde trommel en de aanwezigheid van kleine deeltjes dicht bij de vlam is de kans groot dat in een direct verwarmde meestroom trommel een deel van het asfaltgranulaat veel hogere temperaturen bereikt dan de uitlooptemperatuur van het asfaltgranulaat uit de trommel.

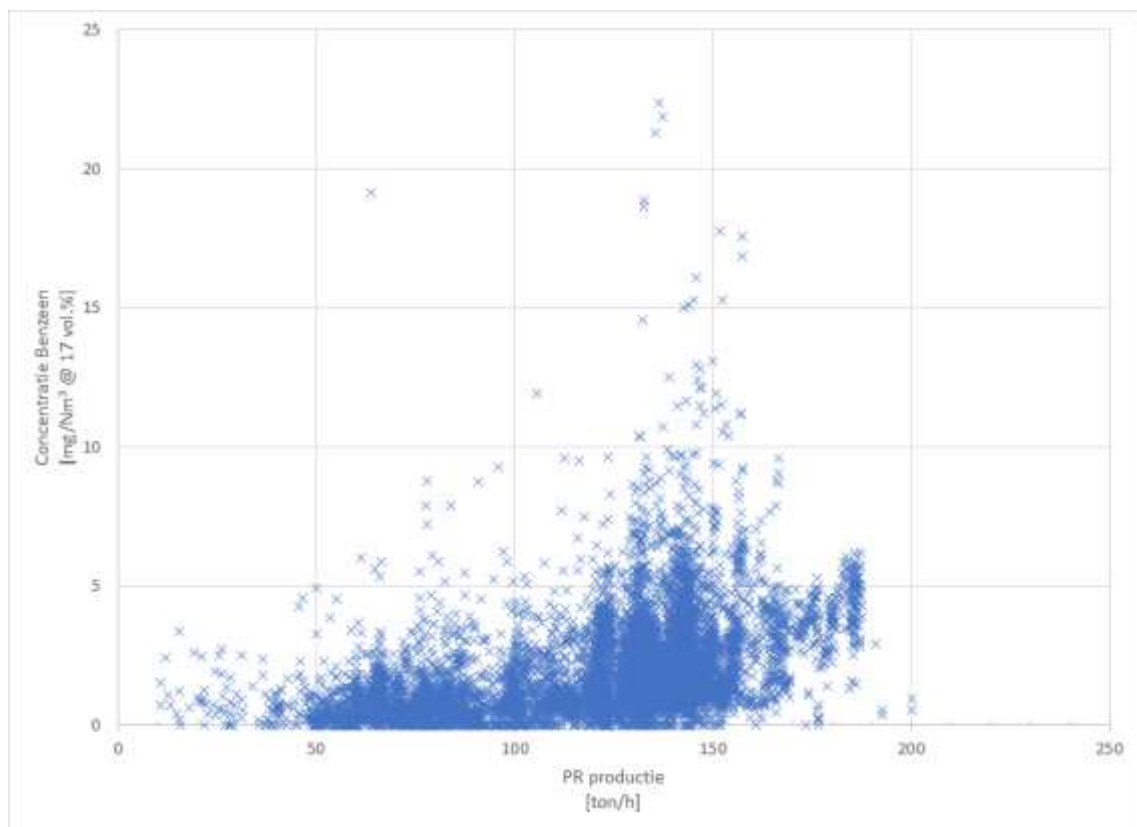
Uit de testen bij de indirect verwarmde trommel en uit het onderzoek naar het vrijkomen van benzeen uit asfaltgranulaat wanneer dit onder laboratoriumomstandigheden wordt verwarmd blijkt dat er bij verwarming tot 170°C (praktijkonderzoek) tot 200°C (laboratoriumonderzoek) weinig benzeen vrijkomt. Uit het laboratoriumonderzoek blijkt ook dat bij een temperatuur van 400°C en hoger de benzeenemissie sterk toeneemt.

## HYPOTHESE

De benzeenemissie uit een direct verwarmde zwarte trommel hangt samen met de piektemperatuur die het asfaltgranulaat bereikt en het aandeel asfaltgranulaat dat deze hoge temperaturen bereikt. Hoe hoger de piektemperatuur en hoe meer deeltjes op hoge temperatuur komen, des te hoger is de benzeenconcentratie in het rookgas.

### 2.2.2. Benzeenemissie versus asfaltgranulaatcapaciteit

Tijdens het praktijkonderzoek zijn aanwijzingen gevonden dat de benzeenemissie toeneemt bij toename van de hoeveelheid asfaltgranulaat die per tijdseenheid wordt verwerkt. Bij hogere belasting van de zwarte trommel zal er per tijdseenheid meer energie moeten worden toegevoerd en zal het strooprofiel in de trommel anders worden. Er wordt verondersteld dat er meer asfaltgranulaatdeeltjes op hoge(re) temperatuur komen waardoor de benzeenemissie toeneemt.



Figuur 6: benzeenconcentratie versus productiecapaciteit direct gestookte zwarte trommel (alle mengverhoudingen)

### 2.2.3. Benzeenemissie versus asfaltgranulaatsamenstelling

De invloed van de asfaltgranulaat samenstelling op de benzeenemissie wordt onderzocht in het laboratoriumonderzoek. De uitkomsten van dit onderzoek worden in een separaat rapport gepubliceerd.

Tijdens het praktijkonderzoek is geconstateerd dat de verschillende asfaltgranulaat batches tot verschillen in de benzeenemissie kunnen leiden.

- Het aandeel fijne fractie heeft een effect op de benzeenemissie. Als asfaltgranulaat wordt verwerkt waar de fijne fractie uit is verwijderd dan daalt de benzeenemissie ten opzichte van de het asfaltgranulaat waaruit de fijne fractie niet is verwijderd. Dit



is in lijn met de hypothese die is geformuleerd over de benzeenemissie versus de asfaltgranulaat piektemperatuur.

- Tijdens het praktijkonderzoek is gezocht naar een relatie tussen het vochtpercentage van het asfaltgranulaat en de benzeenemissie. Toename van het vochtpercentage heeft tot gevolg dat meer energie per eenheid asfaltgranulaat moet worden toegevoerd maar dat de asfaltgranulaatdeeltjes minder snel opwarmen omdat het verdampen van water (bij 100°C) veel energie vergt. Het 1<sup>e</sup> effect verhoogt de benzeenemissie terwijl het 2<sup>e</sup> effect de benzeenemissie verlaagt. Aangezien het vochtpercentage van het asfaltgranulaat slechts korte tijd is meegemeten zijn geen betrouwbare uitspraken te doen over het totale effect van vocht op de benzeenemissie.
- Tijdens het praktijkonderzoek is asfaltgranulaat verwerkt uit verschillende batches (verschillende locaties, onderlagen, bovenlagen, etc.) Een aantal asfaltgranulaatmonsters is aangeboden voor laboratoriumonderzoek om beoordelen of gemeten benzeenconcentraties uit de praktijkproef zijn te correleren met de benzeenbepalingen in het laboratorium als het granulaat wordt verwarmd. De resultaten van dit vergelijkend onderzoek zijn op het moment van schrijven van dit rapport nog niet bekend.

### 2.3. Invloed van asfaltmengsels op de benzeenemissie

Asfaltcentrales produceren een breed scala aan asfaltmengsels. Uit het praktijkonderzoek is gebleken dat de benzeenemissie (ook) afhankelijk is van het soort mengsel dat wordt geproduceerd<sup>2</sup>.

De discussie over invloed van de geproduceerde asfaltmengsels op de benzeenemissie is opgezet voor centrales waar hogere benzeenemissies zijn gemeten (de geteste centrales met direct verwarmde zwarte trommels).

De constatering zullen met grote waarschijnlijkheid ook opgaan voor centrales met indirect verwarmde zwarte trommels. Deze veronderstelling kan echter niet met meetgegevens uit het praktijkonderzoek worden onderbouwd.

#### 2.3.1. Invloed asfaltgranulaatpercentage

Een belangrijk onderscheid in de verschillende asfaltmengsels is het aandeel asfaltgranulaat. Dit varieerde bij de onderzochte centrales van 0% tot 70%.

Bij asfaltmengsels zonder asfaltgranulaat wordt geen of verwaarloosbaar weinig benzeenemissie aangetroffen.

Bij toenemend asfaltgranulaatpercentage neemt de spreiding van de gemeten benzeenemissie toe, waarbij steeds hogere benzeenconcentraties worden gemeten naarmate het asfaltgranulaatpercentage verder toeneemt. Er zijn echter ook lage benzeenconcentraties gemeten bij hoge asfaltgranulaatpercentages.

In de meeste gevallen zal de capaciteit van de zwarte trommel worden opgevoerd als het asfaltgranulaatpercentage in het mengsel toeneemt. In hoofdstuk 2.2.2 is aangegeven dat

---

<sup>2</sup> De benzeenemissie komt vrij tijdens het drogen van asfaltgranulaat. Voor de verschillende mengsels worden verschillende soorten en hoeveelheden grondstoffen gedroogd. De benzeenemissie hangt af van de soorten en hoeveelheden grondstoffen die voor een mengsel worden gedroogd.

er een verband is gevonden waarbij de benzeenemissie toeneemt bij toename van de capaciteit van de zwarte trommel.

### **2.3.2. Invloed type asfaltmengsel**

Er worden verschillende type mengsels geproduceerd, zoals onderlagen en bovenlagen of steenrijke en mortelrijke mengsels. Uit het praktijkonderzoek komt naar voren dat het geproduceerde mengsel van invloed is op de benzeenemissie. Aan de hand van de beschikbare data is het nog niet mogelijk gebleken om eenduidige verbanden te leggen tussen het type asfaltmengsel en de benzeenemissie (met uitzondering van het hierboven vermelde verband met het asfaltgranulaatpercentage).

### **2.3.3. Invloed asfalttemperatuur: hot mix / warm mix**

Hot mix asfalt wordt geproduceerd en afgeleverd op een temperatuur van 150 - 180°C. Warm mix asfalt wordt geproduceerd en afgeleverd op een temperatuur van 100 - 130°C. Er is een ontwikkeling gaande om met het oog op energie-efficiency en beperking van emissies over te stappen van hot mix naar warm mix asfalt.

Zoals in hoofdstuk 2.2.1 is aangegeven is de gemeten benzeenemissie bij de direct gestookte zwarte trommels tot een asfaltgranulaattemperatuur van 110°C beperkt. Bij hogere asfaltgranulaat temperaturen neemt de benzeenemissie toe. Om een benzeen emissiereductie te behalen bij overgang van hot mix naar warm mix zal de asfaltgranulaattemperatuur in warm mix asfalt moeten worden teruggebracht beneden de temperatuur waar benzeen begint te ontstaan.

Indien voor de productie van warm mix asfalt enkel de witte trommel temperatuur wordt teruggebracht maar de asfaltgranulaattemperatuur niet wordt teruggebracht, dan zal de benzeenconcentratie in het rookgas toenemen. Immers de benzeenemissie (gerekend in grammen/uur) uit de zwarte trommel blijft gelijk terwijl het rookgasvolume in de schoorsteen afneemt omdat de witte trommel minder rookgas produceert.

## **2.4. Invloed stoffilter op benzeen**

Bij een van de geteste centrales met een direct verwarmde zwarte trommel is bij een aantal deelmetingen vastgesteld dat de benzeenconcentratie voor het stoffilter hoger was dan achter het stoffilter. Tevens is een relatie gevonden waarbij de benzeenconcentratie in de schoorsteen afnam bij oplopende drukval over het stoffilter. Wij veronderstellen dat benzeen wordt afgevangen op het filterstof en afgevoerd met het stof. Bij een dikkere stoflaag (= hogere drukval van het stoffilter) is de afvang waarschijnlijk efficiënter.

Bij de tweede centrale met een direct verwarmde zwarte trommel is getest of de benzeenconcentratie in de schoorsteen kon worden beïnvloed door vulstof te injecteren voor het stoffilter. Bij deze test kon geen eenduidige relatie worden vastgesteld tussen de hoeveelheid vulstof die werd geïnjecteerd en de benzeenconcentratie. Nader onderzoek is vereist om de invloed van het stoffilter op de benzeenemissie vast te stellen.



### 3. REDUCTIE VAN BENZEENEMISSIE

Tijdens het praktijkonderzoek zijn 2 voor de hand liggende reductie-opties geïdentificeerd:

- Bij de productie van asfalt zonder asfaltgranulaat wordt geen benzeenemissie gemeten. Door te stoppen met hergebruik van asfaltgranulaat wordt de benzeenemissie drastisch beperkt.
- Bij de beide asfaltcentrales met een indirect verwarmde zwarte trommel werden benzeenconcentraties gemeten die onder de EGW van 1 [mg/Nm<sup>3</sup>] @ 17% O<sub>2</sub> liggen. Door over te stappen op een indirect verwarmde zwarte trommel zal de benzeenemissie zeer waarschijnlijk sterk teruglopen.

De eerste optie staat haaks op het streven naar circulariteit en maximaal hergebruik van reststoffen. De tweede optie vergt hoge investeringen in de vervanging van direct verwarmde zwarte trommels door indirect verwarmde trommels.

Tijdens het praktijkonderzoek is een aantal maatregelen getest om de benzeenemissie bij centrales met direct verwarmde zwarte trommels terug te brengen. De onderzochte maatregelen zijn hieronder beschreven. Het effect van de maatregelen is slechts bij 1 centrale getest. De effecten zullen zeker mede afhankelijk zijn van de specifieke omstandigheden van deze centrale.

Tijdens het praktijkonderzoek zijn ook mogelijke benzeen reductiemaatregelen genoemd die (nog) niet in de praktijk konden worden getest. Deze maatregelen zijn in de tekst van dit onderzoek opgenomen, waarbij duidelijk is aangegeven dat het effect niet is onderzocht.

#### 3.1. Onderzochte benzeen reductiemaatregelen

##### 3.1.1. Verlaging van de asfaltgranulaattemperatuur

Tijdens deze test is de asfaltgranulaattemperatuur gevarieerd van 100°C - 140°C. Tussen 100 - 110°C treedt amper benzeenemissie op. Vanaf 110°C tot 140°C neemt de benzeenconcentratie progressief toe. Boven 140°C is niet getest uit veiligheidsoverwegingen.

De verlaging van de asfaltgranulaattemperatuur zal naar verwachting tot minder hoge piektemperaturen in de zwarte trommel leiden (er wordt minder energie toegevoerd) waardoor de benzeenemissie afneemt.

Uit test kan tevens worden geleerd dat een accurate temperatuurmeting en temperatuurregeling van het asfaltgranulaat van belang is om de benzeenemissie te controleren.

##### 3.1.2. Verlaging van het percentage asfaltgranulaat

Als het percentage asfaltgranulaat in het asfalt wordt verlaagd zal de zwarte trommel op een lagere capaciteit draaien waardoor minder benzeen vrijkomt. Verlaging van het percentage asfaltgranulaat zou de benzeenconcentratie in de schoorsteen van de centrale moeten verlagen.

Er is een test gedaan om deze redenatie te onderbouwen waarbij asfalt met verschillende percentages asfaltgranulaat is geproduceerd onder constante condities. Tijdens de test waren de gemeten benzeenconcentraties te laag om de invloed van de verlaging van het



asfaltgranulaatpercentage op de benzeenconcentratie goed te onderbouwen. Deze test zal moeten worden herhaald om betrouwbare conclusies te trekken.

### 3.1.3. Verwerken van asfaltgranulaat zonder fijne fractie

Er is 2 keer een test uitgevoerd waarbij een batch asfaltgranulaat is gezeefd waarna slechts de grove fractie in de trommel is verwerkt. Hetzelfde asfaltgranulaat is ook niet gezeefd verwerkt. De benzeenconcentratie bij verwerking van gezeefd materiaal (grove fractie) is significant lager dan bij de verwerking van niet gezeefd materiaal (grove + fijne fractie). Het materiaal is gezeefd op een fractie van 0 – 5 mm. De uitgezeefde fractie was ongeveer 40 % (gewicht) van het asfaltgranulaat.

Mogelijke verklaringen voor de geconstateerde teruggang van de benzeenemissie:

- grove deeltjes hebben een relatief klein oppervlak ten opzichte van hun inhoud waardoor de temperatuur van de deeltjes bij verwarming langzaam oploopt en de piektemperatuur beperkt blijft. Fijne deeltjes hebben een relatief groot oppervlak ten opzichte van hun inhoud waardoor de temperatuurstijging bij verwarming sneller verloopt. Fijne deeltjes kunnen zweven in de trommel waardoor het vlamcontact intensiever wordt in vergelijking tot grove deeltjes. Bij verwerking van alleen grove deeltjes wordt verondersteld dat de piektemperatuur van de deeltjes lager ligt en dat het aantal deeltjes dat zeer warm wordt kleiner zal zijn.
- Het is mogelijk dat uit de fijne fractie relatief meer benzeen vrijkomt (door verdamping of kraken), bijvoorbeeld als er verhoudingsgewijs meer bitumen in de fijne fractie voorkomt. Door de fijne fractie niet te verwarmen in de zwarte trommel wordt een relatief groot deel van de benzeenemissie vermeden.

De test geeft geen inzicht waardoor de emissie terugloopt, hij laat slechts zien dat de emissie terugloopt.

Gezien het grote aandeel van de uitgezeefde fijne fractie zal een oplossing moeten worden aangedragen voor de verwerking van de fijne fractie om een afvalprobleem te voorkomen. Bijvoorbeeld de fijne fractie koud toevoegen in de menger, halverwege de zwarte trommel toevoeren (geen vlamcontact) of samenpersen tot briketten en alsnog normaal toevoegen in de zwarte trommel. De mogelijke verwerkingsopties voor de fijne fractie zijn in het kader van dit praktijkonderzoek (nog) niet getest.

### 3.1.4. Vulstofinjectie op het stoffilter

Variatie van 0% tot 100% kalksteenvulstof (0,5 – 4,5 m<sup>3</sup>/uur) heeft weinig invloed op de benzeenconcentratie. De kleine variaties tijdens de test lijken te worden veroorzaakt door wisselingen in de zwarte trommel temperatuur.

## 3.2. Niet onderzochte benzeen reductiemaatregelen

### 3.2.1. Aanpassing zwarte trommel

Alle mogelijke aanpassingen van de zwarte trommel die ertoe leiden dat het vlamcontact met het asfaltgranulaat en de energie-overdracht door straling wordt verminderd zullen waarschijnlijk tot een reductie van de benzeenemissie leiden. Het was in het kader van dit onderzoek niet mogelijk om vergelijkend onderzoek te doen bij een zwarte trommel zonder aanpassingen en een zwarte trommel met aanpassingen.





Aanpassingen die het vlamcontact reduceren en de overdracht van stralingsenergie reduceren zijn bijvoorbeeld: aanpassing van de toevoer naar de trommel, de schoepen in de trommel, vlamprofiel, etc. Ook regelmatig onderhoud / schoonmaken van de schoepen kan tot een beter strooioprofiel leiden waarbij vlamcontact wordt verminderd en minder energie wordt overgedragen door straling.

### 3.2.2. Aanpassing asfaltgranulaat (voorbewerking)

Hieronder zijn enkele voorbereidingsmaatregelen benoemd voor het asfaltgranulaat die de benzeenemissie mogelijk kunnen verlagen.

- Niet gebroken freesmateriaal verwerken.  
Voortbordurend op de bevinding dat de benzeenemissie daalt als de fijne fractie uit het (gebroken) asfaltgranulaat wordt verwijderd kan worden onderzocht of de benzeenemissie daalt wanneer gefreesd asfaltgranulaat wordt verwerkt zonder voorbehandeling in een breker. Door het breken van het asfaltgranulaat neemt de fijne fractie immers sterk toe. Breken is wenselijk voor de asfaltkwaliteit, maar pakt nadelig uit voor de benzeenemissie.
- Fijne fractie uitzeven en briketteren:  
Als het asfaltgranulaat wordt gebroken en gezeefd dan zal een oplossing moeten worden gevonden voor het verwerken van de fijne fractie om te voorkomen dat een enorme afvalberg ontstaat van niet hergebruikt asfalt. Een mogelijke oplossing is het briketteren van de fijne fractie en verwerking van de samengeperste briketten in de zwarte trommel.
- Asfaltgranulaat zeven en schuren:  
Door het gezeefde asfaltgranulaat nog verder voor te bewerken (schuren) kunnen de stenen worden gescheiden van de mortel. De stenen zijn optisch schoon en worden verwerkt in de zwarte trommel. Hiermee kan de benzeenemissie van de zwarte waarschijnlijk nog verder worden teruggedrongen. Er moet net als bij de optie zeven een oplossing worden gevonden voor het verwerken van de fijne fractie die overblijft.



## 4. AANBEVELINGEN VOOR VERDER ONDERZOEK

Hoewel het praktijkonderzoek grootschalig is opgezet moeten de resultaten met beleid worden veralgemeniseerd naar de hele asfaltproductiesector. Elke centrale is uniek qua opzet, productiemethode en procescondities. Kleine verschillen binnenin een droogtrommel kunnen bijvoorbeeld tot relatief grote verschillen in benzeenemissie leiden.

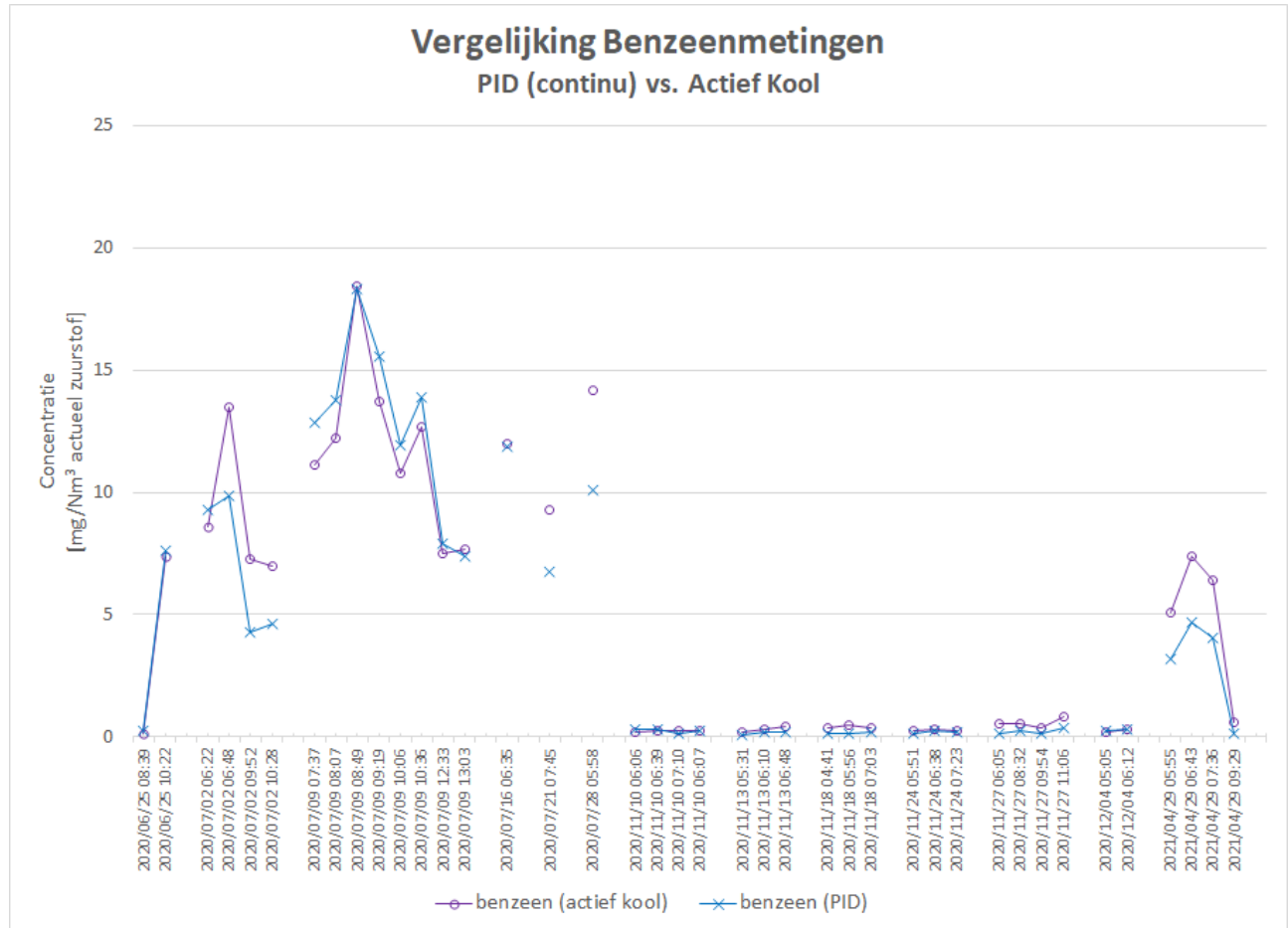
Het onderzoeksteam adviseert daarom om het onderzoek in vereenvoudigde vorm voort te zetten bij andere centrales. Het onderzoek bij andere centrales zal primair worden aangewend om de benzeenemissie en reductie-opties van deze centrale in kaart te brengen, maar kan ook worden gebruikt om de bevindingen uit het eerste onderzoek te valideren en waar nodig bij te stellen of uit te breiden met nieuwe inzichten.

Om een goed beeld te krijgen van de situatie bij een centrale volstaat het niet om conform de voorschriften uit het activiteitenbesluit 3 keer een halfuurgemiddelde benzeenconcentratie vast te stellen bij één productierun. Voor het verkrijgen van goed inzicht in het emissieprofiel en de mogelijkheden om de benzeenemissie te reduceren is het raadzaam dat de meetduur wordt verlengd en de meetfrequentie wordt verhoogd (elke minuut in plaats van een halfuur gemiddelde). Tevens zal tijdens de metingen een goede registratie van de procescondities in de centrale moeten plaatsvinden om het mogelijk te maken om verbanden te leggen tussen de gemeten emissie en de procescondities.

Er wordt aanbevolen om de meetduur zodanig lang te kiezen dat een groot deel van de regulier geproduceerde asfaltmengsels kan worden gemeten en dat testen kunnen worden uitgevoerd om het effect van mogelijke benzeenreductiemaatregelen in kaart te brengen.

## Bijlage I PID meting (continu) versus actief kool (referentie)

Gedurende het project zijn de continue PID benzeenmetingen periodiek vergeleken met referentiemetingen op basis van adsorptie aan actief kool.



Uit de vergelijkende metingen blijkt dat de PID meting de trend volgt van de actief kool metingen. Voor het vergelijken van de absolute waarde van de concentraties moet er rekening gehouden worden met de monsternamemethode. Waar de resultaten van de PID meting een numeriek gemiddelde is van een groot aantal meetwaarden binnen een tijdsinterval, zijn de resultaten van de actief kool meting verkregen door gedurende datzelfde tijdsinterval continue een bekende volumestroom afgas te adsorberen aan actief kool, waarna één enkelvoudig gewogen gemiddelde van de benzeenconcentratie verkregen wordt.

# **Bijlage 2**

**GT-210100**  
25 juni 2021

# Onderzoek naar benzeenemissie uit asfaltgranulaat



**Trust  
Quality  
Progress**





**GT-210100**  
25 juni 2021

# Onderzoek naar benzeenemissie uit asfaltgranulaat

© 2021 Kiwa N.V.  
Alle rechten voorbehouden.  
Niets uit deze uitgave mag  
worden verveelvoudigd,  
opgeslagen in een  
geautomatiseerd  
gegevensbestand, of  
openbaar gemaakt, in enige  
vorm of op enige wijze, hetzij  
elektronisch, mechanisch,  
door fotokopieën, opnamen,  
of enig andere manier, zonder  
voorafgaande schriftelijke  
toestemming van de uitgever.

**Kiwa Technology B.V.**  
Wilmersdorf 50  
Postbus 137  
7300 AC Apeldoorn

Tel. 088 998 33 93  
Fax 088 998 34 94  
[www.kiwatechnology.nl](http://www.kiwatechnology.nl)

## Colofon

<b>Titel</b>	Onderzoek naar benzeenemissie uit asfaltgranulaat
<b>Projectnummer</b>	004P001979
<b>Projectmanager</b>	B. Gerritsen
<b>Opdrachtgever</b>	Bouwend Nederland
<b>Kwaliteitsborger(s)</b>	B. Gerritsen
<b>Auteur(s)</b>	E. Polman, H. Peters

**Dit rapport is niet openbaar en slechts verstrekt aan de opdrachtgevers van het Contractonderzoekproject/adviesproject. Eventuele verspreiding daarbuiten vindt alleen plaats door de opdrachtgever zelf.**







# Samenvatting

In het Activiteitenbesluit worden grenzen gesteld aan de hoeveelheid benzeen die vrij mag komen bij de productie van asfalt. Het is belangrijk om aan de huidige en toekomstige emissiegrenzen te blijven voldoen.

Bouwend Nederland wil weten in hoeverre benzeen vrijkomt bij de productie van asfaltgranulaat omdat dit al aanwezig is in het granulaat. Het is ook mogelijk dat het benzeen vrijkomt bij het productieproces ten gevolge van het kraken van zwaardere componenten.

Door het asfaltgranulaat gecontroleerd te verhitten en de hierbij vrijkomende verbindingen te analyseren, wordt inzicht verkregen in het vrijkomen van benzeen. Dit inzicht kan benut worden door een selectie van de grondstoffen (asfaltgranulaat) en het verbeteren van het productieproces om de emissie van benzeen zoveel mogelijk te reduceren.

Het doel van het beschreven onderzoek is om een meetmethode vast te stellen waarmee de hoeveelheid benzeenemissie uit asfaltgranulaat zo goed mogelijk kan worden vastgesteld. Daarnaast is het doel om vast te stellen of het benzeen dat vrijkomt al voor de verhitting aanwezig is in het granulaat en/of dat het ook ontstaat door een thermische omzetting.

Er zijn twee procedures getest om via het doorlopen van een temperatuurtraject de hoeveelheid benzeen te bepalen in zowel de opgevangen gas- als vloeistoffase:

- Methode A:  
Bij methode A wordt een monster in duplo ingezet, elk in een aparte monsterhouder en op de gewenste temperatuur gebracht en gedurende drie uur verwarmd. Hierbij wordt een monster niet de gehele tijd op deze eindtemperatuur blootgesteld i.v.m. het nog niet opgewarmd zijn van de oven en van het monstermateriaal. Een volgende duplo wordt opnieuw ingezet en naar de volgende temperatuur gebracht en hier gedurende drie uur verwarmd.
- Methode B:  
Bij methode B betreft het een meting waarbij in duplo één monster het gehele temperatuurtraject doorloopt en waarbij steeds één uur op de gewenste temperatuur wordt bemonsterd.

Om de onderzoeksvraag te kunnen beantwoorden, heeft methode A geen wezenlijke voordelen ten opzichte van methode B. Omdat methode B een kortere doorlooptijd heeft dan methode A -in twee weken tijd kunnen vijf monsters volgens methode B worden gemeten en slechts 1 volgens methode A- verdient methode B de voorkeur. Methode B is geschikt voor het meten van kwaliteitsverschillen tussen de verschillende aangeleverde monsters.

Alle onderzochte monsters zijn in duplo uitgevoerd met methode B. Een onderling verschil in de totale benzeenemissie van de duplo's per monster van maximaal 20% is acceptabel. De resultaten per monster (zie figuur 10 en 11) voldoen aan dit criterium. Voor 77% van de monsters geldt dat de VC-waarde <10% is.

Analyse van de monsters van locatie X laat zien dat er bij alle monsters (in duplo) een stijging van de hoeveelheid benzeenemissie waarneembaar is vanaf 300 °C. Een piek wordt gemeten bij 500 °C. Analyse van de monsters (in duplo) van locatie Y laat zien dat er bij alle monsters (in duplo) een stijging van de hoeveelheid benzeenemissie waarneembaar is vanaf 300 °C. De meeste benzeenemissie wordt gemeten bij de temperaturen 500 °C en 600 °C. Het monster #NS&B laat een afwijkend patroon zien ten opzichte van de andere monsters. Een substantiële stijging van de hoeveelheid benzeenemissie is bij dit monster gemeten vanaf 400 °C. Een piek in de hoeveelheid benzeenemissie wordt gemeten tussen 500 °C en 600 °C.



Er is geen significant verschil zichtbaar tussen de kwantitatieve benzeenemissie van locatie X en locatie Y bij verhitting tot 700 °C. Bij verhitting tot 500 °C is er wel een verschil zichtbaar tussen de monsters bij locatie Y.

Opgemerkt moet worden dat deze waarden zijn bereikt in een proefopstelling in een geconditioneerde omgeving. De proefopstelling en geconditioneerde omgeving zijn niet vergelijkbaar met de processen en omgevingscondities in een asfaltcentrale.

Tijdens het onderzoek zijn een aantal bevindingen gedaan die nader onderzocht kunnen worden ter verdere duiding van de resultaten beschreven in dit rapport. Dit zijn:

- nadere analyse van de hoeveelheid benzeenemissie bij verhitting tot 400 °C.
- nadere analyse monsters locatie Y.
- relatie tussen gebruikte grondstoffen en de hoeveelheid benzeenemissie.
- homogeniteit in monsters.

Naast bovengenoemde aanbevelingen, wordt ook aanbevolen om onderstaande nader te onderzoeken:

- relatie tussen benzeen in het monster voor verhitting en benzeenemissiecurve van het monster.
- bepaling van het gehalte aan (polycyclische) aromatische koolwaterstoffen en berekening van de omzettingsgraad.
- aanwezigheid van PAK's in het emissiegas.
- aanwezigheid andere stoffen.

Mogelijke maatregelen om de emissie van benzeen te beperken zijn:

- piektemperaturen bij het verwerken van granulaat voorkomen.
- de verblijftijd en de verwerkingstemperatuur van granulaat optimaliseren.

>



# Inhoud

	<b>Samenvatting</b>	<b>1</b>
	<b>Inhoud</b>	<b>3</b>
<b>1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Kort literatuuronderzoek</b>	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>Methode-ontwikkeling</b>	<b>3</b>
3.1	Parameters bij de methode	3
3.1.1	Vocht in het granulaat	3
3.1.2	De hoeveelheid en de grootte van het granulaat	3
3.1.3	Het draaggas	3
3.1.4	De temperatuur	3
3.1.5	De manier van meten	4
3.1.5.1	Methode A	4
3.1.5.2	Methode B	4
3.1.6	Analysemethode	5
3.1.7	Experimentele opstelling	5
3.2	Resultaten methode A en methode B	7
3.2.1	Criteria voor de vergelijking tussen methode A en methode B	7
3.2.2	Vergelijking gasmonsters methode A en methode B	8
3.2.3	Vergelijking vloeistofmonsters methode A en methode B	9
3.2.4	Conclusie methode ontwikkeling	9
<b>4</b>	<b>Resultaten vervolgonderzoek</b>	<b>10</b>
4.1	Reproduceerbaarheid	10
4.2	Kwalitatieve resultaten	10
4.3	Kwantitatieve resultaten	12
<b>5</b>	<b>Conclusies en aanbevelingen</b>	<b>14</b>
5.1	Conclusies	14
5.2	Aanbevelingen	14
	<b>Bijlage 1</b>	<b>17</b>
	<b>Bijlage 2</b>	<b>19</b>
	<b>Bijlage 3</b>	<b>20</b>



>



# 1 Inleiding

In het Activiteitenbesluit worden grenzen gesteld aan de hoeveelheid benzeen die vrij mag komen bij de productie van asfalt. Het is belangrijk om aan de huidige en toekomstige emissiegrenzen te blijven voldoen.

Bouwend Nederland wil weten in hoeverre benzeen vrijkomt bij de productie van asfaltgranulaat omdat dit al aanwezig is in het granulaat. Het is ook mogelijk dat het benzeen vrijkomt bij het productieproces ten gevolge van het kraken van zwaardere componenten.

Door het asfaltgranulaat gecontroleerd te verhitten en de hierbij vrijkomende verbindingen te analyseren, wordt inzicht verkregen in het vrijkomen van benzeen.. Dit inzicht kan benut worden door een selectie van de grondstoffen (asfaltgranulaat) en het verbeteren van het productieproces om de emissie van benzeen zoveel mogelijk te reduceren.

Het doel van het beschreven onderzoek is om een meetmethode vast te stellen waarmee de hoeveelheid benzeenemissie uit asfaltgranulaat zo goed mogelijk kan worden vastgesteld. Daarnaast is het doel om vast te stellen of het benzeen dat vrijkomt al voor de verhitting aanwezig is in het granulaat en/of dat het ook ontstaat door een thermische omzetting.

>



## 2 Kort literatuuronderzoek

Een korte survey, gericht op de mogelijke omzettingen van benzeen, heeft de volgende informatie opgeleverd:

Verdamping van benzeen treedt op bij verhitting. Het kookpunt van benzeen is 80,1 °C. Vanaf 560 °C kan zelfontbranding van benzeen plaatsvinden. Thermische conversie zal ook optreden (met oplopende temperatuur) bij toluen, antracene, fenantreen, pyreen en naftaleen. Het is niet duidelijk naar welke verbindingen deze stoffen worden omgezet, maar waarschijnlijk vindt ook omzetting naar benzeen plaats.

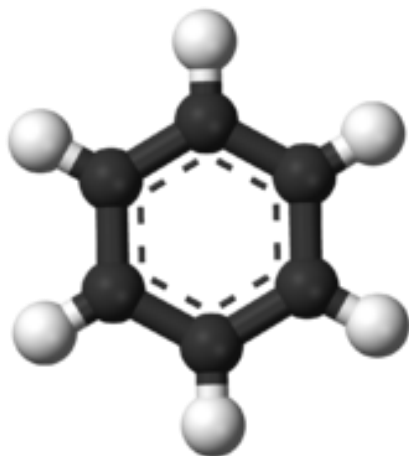
Benzeen kan omgezet worden in naftaleen en waterstof. Naftaleen is een verbinding met twee benzeenringen en is veel minder toxisch dan benzeen. Deze omzetting vindt in ieder geval boven 600 °C plaats. Bij 630 °C is 5% omzetting van benzeen waargenomen. Naftaleen kan verder omgezet worden naar trifenyl en waterstof. Boven een temperatuur van 760 °C zal de benzeenring geopend worden, waarbij deze verbinding omgezet wordt naar kleinere moleculen als acetyleen, ethyleen en methaan.

De ontleding van benzeen en polyaromaten is afhankelijk van de gassenstelling (en dus ook van de aanwezigheid van deze stoffen in het granulaat), de temperatuur, de verblijftijd, het milieu en de activeringsenergie. In de publicatie van B.J. Vreugdenhil en R.W.R. Zwart (Tar formation in pyrolysis and gasification, ECN-E--08-087, juni 2009), staan enkele waarden van activeringsenergieën vermeld alsmede curves voor de ontleding als functie van de temperatuur en verblijftijd.

Door uit te gaan van een bepaalde verblijftijd en temperatuur, kan de omzettingsgraad berekend worden en worden vergeleken met de waarnemingen. Hiermee wordt inzicht verkregen in de rol van pyrolyse (thermische omzetting) onder de gegeven procescondities.

### Bronnen:

1. C. Brooks, S. Peacock, B. Reuben, Pyrolysis of benzene, Journal of the Chemical Society, Faraday Transactions 1: Physical Chemistry in Condensed Phases 1989, Issue 12, Page 3901 to 4366
2. <http://umich.edu/~elements/5e/08chap/pdf/problem.pdf>
3. B.J. Vreugdenhil en R.W.R. Zwart, Tar formation in pyrolysis and gasification, ECN-E--08-087, juni 2009



Figuur 1: benzeenmolecuul



## 3 Methode-ontwikkeling

### 3.1 Parameters bij de methode

Bij de ontwikkeling van de methode is Kiwa tegen een aantal vragen opgelopen waar steeds een oplossing voor gekozen is. De parameters zijn onderzocht aan de hand van methode A.

#### 3.1.1 *Vocht in het granulaat*

Bij de eerste proeven is asfaltgranulaat uitgestookt en opgevangen in Tedlar bags. Hierbij bleek dat een aanzienlijke hoeveelheid vocht wordt uitgestookt. Aangezien benzeen gedeeltelijk oplosbaar is in water, zou de analyse van het gas een vertekend beeld kunnen opleveren.

Met Bouwend Nederland is overlegd of het asfaltgranulaat eerst gedroogd kan worden. Het nadeel is dat dit een vertekend beeld oplevert ten opzichte van de praktijk in de asfaltcentrales waar er immers niet-gedroogd asfaltgranulaat wordt gebruikt.

Later is een experiment gedaan, waarbij in stappen van 100 °C is verwarmd tot 700 °C en het gas en het ontstane condensaat is opgevangen.

Uit de analyse van de monsters blijkt dat de verhouding massa benzeen in het gas versus massa benzeen in het condensaat, steeds tussen 0,5 en 2,5 ligt. Deze verhouding is dus relatief constant. Doel is om vooral een goede reproduceerbare vergelijking op te zetten. Daarom kan worden volstaan met een meting van de gasfase met een gaschromatograaf, zonder het granulaat vooraf te drogen.

#### 3.1.2 *De hoeveelheid en de grootte van het granulaat*

Essentie is dat voor een reproduceerbare meting, het proefmonster representatief is voor de te testen batch en ook representatief voor de praktijkcondities. In eerste instantie is getest met 500 gram monster. Hierbij bleek dat het verhitten van deze hoeveelheid tijd kost, waardoor het gehele monster niet homogeen wordt verwarmd en dus ook geen goed beeld wordt verkregen van de hoeveelheid benzeen die bij een bepaalde temperatuur wordt geëmitteerd. Uiteindelijk is gekozen voor badges van 200 gram.

Het verschil in grootte van de deeltjes en ook een eventuele inhomogene verdeling van bitumen aan de deeltjes kan invloed hebben op de uitkomsten.

#### 3.1.3 *Het draaggas*

De hoeveelheid zuurstof blijkt invloed te hebben op de hoeveelheid benzeen die wordt afgevangen. De reden hiervoor is nog niet duidelijk. Mogelijk vindt er verbranding plaats, waarbij als bijproduct benzeen wordt gevormd. Benzeen zal bij volledige verbranding worden omgezet naar koolstofdioxide en water.

De hoeveelheid benzeen die bij 700 °C wordt gevormd, blijkt niet sterk afhankelijk te zijn van de hoeveelheid zuurstof.

Bij 0% zuurstof wordt ca. 13 mg benzeen gemeten, bij 1% zuurstof is dit ca. 22 mg en bij 15% ca 15 mg benzeen.

Bij 300 °C zijn de verschillen juist wel groot. Bij 20% zuurstof in stikstof wordt ongeveer zeven maal zoveel benzeen aangetroffen dan bij 0% zuurstof. Zuurstof lijkt een versnellend effect te hebben op het proces van benzeenemissie.

Aangezien het om trends gaat en om zoveel mogelijk de condities in asfaltcentrales na te bootsen, waarbij met lucht wordt gewerkt, is besloten om met 15% zuurstof en 85% stikstof te gaan werken.

#### 3.1.4 *De temperatuur*

Het asfaltgranulaat wordt in de praktijk bij 160 °C verwerkt waarbij plaatselijk hogere temperaturen kunnen optreden omdat het granulaat met de vlam in contact komt.



In de asfaltcentrale in Y vindt indirecte verhitting plaats en zal de temperatuur homogener verdeeld zijn. Uit de experimenten blijkt dat bij hogere temperaturen meer benzeen vrijkomt, waarbij het maximum bij ca. 700 °C optreedt. Het is niet duidelijk of bij 700 °C sprake is van verdampen van benzeen uit het granulaat, of dat een chemische omzetting plaatsvindt, zoals bijvoorbeeld het kraken van polycyclische verbindingen. Besloten is om in eerste instantie tot 900 °C te meten om het hele temperatuurbereik waarbij benzeen gevormd kan worden, te meten.

### **3.1.5 De manier van meten**

Er zijn twee procedures getest om via het doorlopen van een temperatuurtraject de hoeveelheid benzeen te bepalen in zowel de opgevangen gas- als vloeistoffase.

#### **3.1.5.1 Methode A**

Bij methode A wordt een monster in duplo ingezet, elk in een aparte monsterhouder en op de gewenste temperatuur gebracht en gedurende drie uur verwarmd. Hierbij wordt een monster niet de gehele tijd op deze eindtemperatuur blootgesteld i.v.m. het nog niet opgewarmd zijn van de oven en van het monstermateriaal. Een volgende duplo wordt opnieuw ingezet en naar de volgende temperatuur gebracht en hier gedurende drie uur verwarmd.

Er wordt een mengsel van 15% zuurstof en 85% stikstof over het sample geleid met een flow van 20 ml/minuut.

Het condensaat wordt per monster opgevangen in een flesje en het gas wordt per monster opgevangen in een Tedlarbag.

De vloeistof bevat een waterige fase en hier bovenop een olie-achtige fase. De analyse van de vloeistofmonsters vindt plaats met behulp van gaschromatografie, waarbij zowel de waterige fase als de olie-achtige fase wordt gemeten. Het component benzeen wordt gemeten in de vloeistof.

De gasmonsters worden ook met gaschromatografie geanalyseerd op uitsluitend het benzeengehalte.

Er wordt gemeten bij 100 °C, 160 °C, 300 °C, 400 °C, 500 °C, 600 °C, 700 °C, 800 °C en 900 °C. Voor elk meetpunt geldt dat na het inzetten van de meting de oven tot de ingestelde temperatuur wordt verhit. Drie uur na het inzetten van de meting (inclusief opwarmtijd), worden de flesjes en de Tedlarbags vervangen en koelt de oven af. Hierna worden er weer nieuwe monsters in een monsterhouder gedaan en in de oven geplaatst.

In totaal is dus sprake van 18 gasanalyses en 18 vloeistofanalyses voor in totaal 18 verschillende monsters.

Nadeel van deze methode is dat vooral bij de hogere temperaturen, de afkoeling lange tijd in beslag neemt en bij de hoge temperaturen kan slechts één meting per dag worden gedaan. Het doorlopen van een complete cyclus kost ongeveer twee weken doorlooptijd.

#### **3.1.5.2 Methode B**

Bij methode B betreft het een meting waarbij in duplo één monster het gehele temperatuurtraject doorloopt en waarbij steeds één uur op de gewenste temperatuur wordt bemonsterd.

Het voordeel van deze methode is dat deze veel minder tijd kost en daardoor ook beter in te zetten is als testmethode om de kwaliteit van een monster te beoordelen. Ook bij optie B geldt dat de meting reproduceerbaar moet zijn en dat badges goed met elkaar kunnen worden vergeleken. Om de spreiding goed te kunnen vaststellen wordt de methode in duplo uitgevoerd. Er zijn twee monsters die steeds tegelijkertijd worden ingezet en hetzelfde temperatuurtraject doorlopen.

Er wordt een mengsel van 15% zuurstof en 85% stikstof over het sample geleid met een flow van 30 ml/minuut.

Het condensaat wordt opgevangen gedurende de gehele proef in één flesje per monster. Het gas wordt opgevangen in een Tedlarbag, waarbij na één uur gasdoorleiding op de gewenste temperatuur, de Tedlarbag wordt vervangen.





De meettemperaturen zijn: 100 °C, 160 °C, 300 °C, 400 °C, 500 °C, 600 °C en 700 °C.

In totaal is dus sprake van 14 gasanalyses en 2 vloeistofmonsters (welke bewaard worden en nu niet worden geanalyseerd) voor in totaal 2 verschillende duplomonsters die steeds het temperatuurtraject doorlopen, waarbij ze “onderweg” één uur op een ingestelde temperatuur worden verhit, alvorens naar een hogere temperatuur te gaan.

Het doorlopen van een complete cyclus duurt een hele dag. Omdat de oven moet worden afgekoeld, kan een vervolgmeting niet gelijk de volgende dag plaatsvinden. Uitgaande van een vijfdaagse werkweek kan de ene week drie keer deze meetcyclus worden uitgevoerd en de andere week, twee keer.

De verschillen tussen methode A en B, zijn schematisch weergegeven in tabel 1.

Tabel 1: weergave condities voor Methode A en Methode B

Parameter	Methode A	Methode B
Hoeveelheid monster (g)	200	200
Vloeistofanalyse	benzeen	bewaren vloeistof
Gasanalyse (MS en FID)	benzeen	benzeen
Aantal monsters	duplo	duplo
Aantal gasanalyses per monster	1 per settemperatuur	1 per settemperatuur
Aantal deelmonsters per proef	1 per settemperatuur (7*200 gram)	1 per gehele proef (1*200 gram)
Aantal vloeistofanalyses	1 per settemperatuur	1 per gehele proef
Samenstelling doorleidgas	15% O <sub>2</sub> , 85% N <sub>2</sub>	15% O <sub>2</sub> , 85% N <sub>2</sub>
Flow doorleiding	20 ml/minuut	30 ml/minuut
Temperatuur (°C)	100, 160, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900	100, 160, 300, 400, 500, 600, 700
Tijdsduur proef	2 weken	1 lange dag

Bij methode B zullen de monsters minder lang zijn blootgesteld aan lage temperaturen dan bij methode A. Bij methode B worden de monsters juist langer blootgesteld aan hogere temperaturen dan bij methode A.

Om een goed vergelijk te kunnen maken tussen de beide methoden, zijn twee monsters (één afkomstig van locatie X en één afkomstig van locatie Y) middels beide methoden getest en daarna zijn de uitkomsten vergeleken met elkaar.

### 3.1.6 Analysemethode

De gasmonsters zijn gemeten met gaschromatografie-massaspectrometrie (GCMS) en gecombineerd met vlamionisatiedetectie (FID).

De vloeistofanalyses zijn bepaald door middel van gaschromatografie met een GC-MS (GC = Trace 1300 serie; MS = ISQ serie; Analytische kolom = 5SiIMS 20m x 0,18mm x 0,18µm).

### 3.1.7 Experimentele opstelling

Om een methode te ontwikkelen, en later monsters te analyseren op basis van de gekozen methode, is een proefopstelling ontwikkeld. Deze proefopstelling (figuur 2) bestaat uit een oven waarin de monsters op temperatuur worden gebracht. Het vrijkomende gas wordt opgevangen in Tedlarbags en het vrijkomende condensaat wordt opgevangen in glazen monsterflessen (figuur 3).



*Figuur 2: overzicht moffeloven en opstelling*



*Figuur 3: opvang van gas in Tedlarbag en vloeistof in een glazen monsterfles*



## 3.2 Resultaten methode A en methode B

### 3.2.1 *Criteria voor de vergelijking tussen methode A en methode B*

De experimenten zijn uitgevoerd aan monsters afkomstig van de locaties X (monsternummer 5, hierna #5) en Y (monsternummer 605, hierna #605). Monsters van deze twee locaties zijn met beide methoden getest. Na het doorlopen van het complete testprogramma kan daardoor een vergelijking gemaakt worden.

Criteria bij de vergelijking zijn:

- vergelijking reproduceerbaarheid tussen de duplo's van methode A en B. Een onderling verschil in de totale benzeenemissie van de duplo's per monster van maximaal 20% is acceptabel (variatiecoëfficiënt (VC) tussen de duplo-waarden dient <20% te zijn).
- vergelijking kwalitatief methode A en B (vindt de meeste uitstoot, met name de benzeenemissie, ook bij dezelfde temperatuur plaats?)
- vergelijking kwantitatief methode A en B (zijn de uitgestoten hoeveelheden van methode A en B vergelijkbaar?)

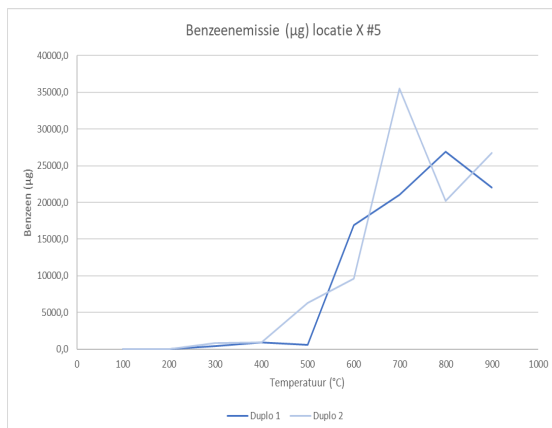
De eventuele verschillen zullen geduid worden en uit de metingen zal een methode worden geselecteerd die wordt gebruikt voor de beantwoording van de tweede en belangrijkste onderzoeksvraag.

>

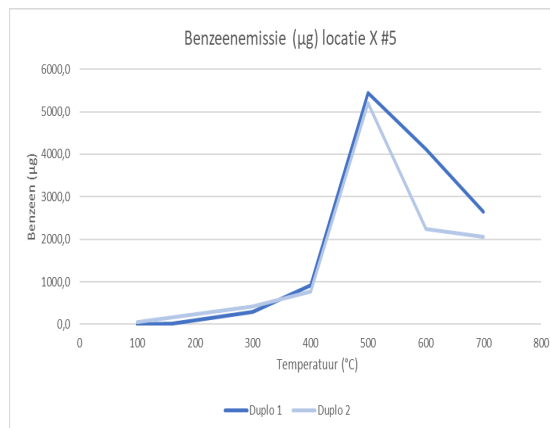


### 3.2.2 Vergelijking gasmonsters methode A en methode B

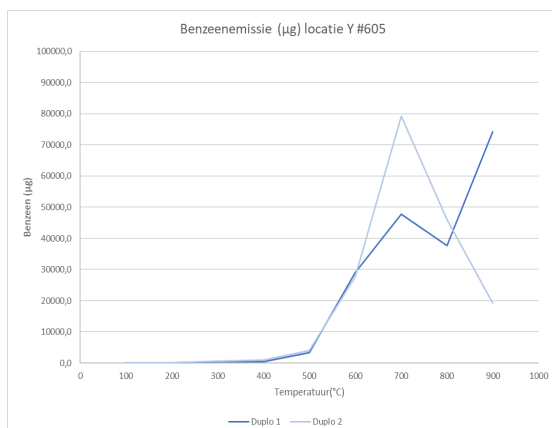
De resultaten uit de gasmonsters zijn weergegeven in figuur 4 t/m 7. Voor een grotere weergave van figuur 4 t/m 7 wordt verwezen naar bijlage 1.



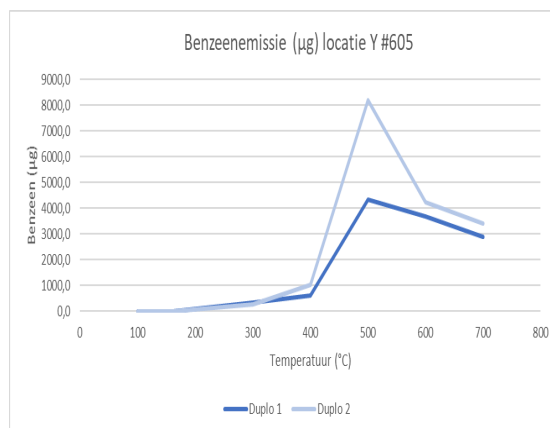
*Figuur 4: massa benzeen uitgezet ten opzichte van de temperatuur (in duplo) gasmonster locatie X (#5) methode A*



*Figuur 5: massa benzeen uitgezet ten opzichte van de temperatuur (in duplo) gasmonster locatie X (#5) methode B*



*Figuur 6: massa benzeen uitgezet ten opzichte van de temperatuur (in duplo) gasmonster locatie Y (#605) methode A*



*Figuur 7: massa benzeen uitgezet ten opzichte van de temperatuur (in duplo) gasmonster locatie Y (#605) methode B*

De vergelijking is gedaan op basis van de criteria. Hieronder volgt per criterium een vergelijking tussen beide methoden:

- **Reproduceerbaarheid:** bij beide methoden wordt elk monster in duplo ingezet. En hoewel de waarden niet altijd gelijk zijn, zijn de verschillen in de duplo's wel vergelijkbaar. Daarmee mag geconcludeerd worden dat beide methoden in dit opzicht vergelijkbaar zijn. Bij beide monsters, bij beide methoden geldt dat de VC van de duplo's kleiner is dan 20%.
- **Kwalitatieve vergelijking:** bij methode A wordt de meeste benzeen waargenomen bij een temperatuur van 700°C. Bij methode B wordt de meeste benzeen waargenomen bij een temperatuur van 500°C. Het verschil in temperaturen van de maximale benzeenemissie kan verklaard worden door het verschil in tijd van verhitting van het monster zoals al beschreven is in 3.1.5.2 onder tabel 1. Voor het doel van het onderzoek is dit niet van belang. De andere parameters zijn bij methode B niet wezenlijk gewijzigd ten



opzichte van methode A. Beide methoden tonen aan dat er onder invloed van verhitting benzeen versneld vrijkomt.

Opgemerkt moet worden dat deze waarden zijn bereikt in een proefopstelling in een geconditioneerde omgeving. De proefopstelling en geconditioneerde omgeving zijn niet vergelijkbaar met de processen en omgevingscondities in een asfaltcentrale.

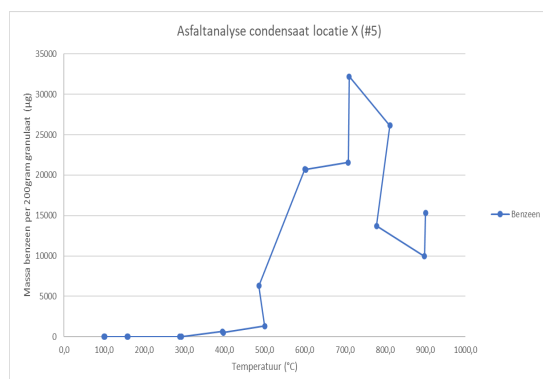
- Kwantitatieve vergelijking: de gemiddelde benzeenemissie van de deelmonsters X (#5) bij methode A (bij een temperatuur van 700°C tot 900°C) bedraagt 25,4 mg gemiddeld per sample. De Y deelmonsters (#605) bevatten bij methode A gemiddeld 50,7 mg per monster. Bij methode B is de totale benzeenemissie van het gehele traject bij de X monsters 14,0 mg per monster. De Y monsters bevatten gemiddeld 14,4 mg gemiddeld per monster.

De gemeten waarden zijn onderling verschillend. Dit kan verklaard worden door het verschil in verblijfsduur van een deelmonster bij de verschillende temperaturen.

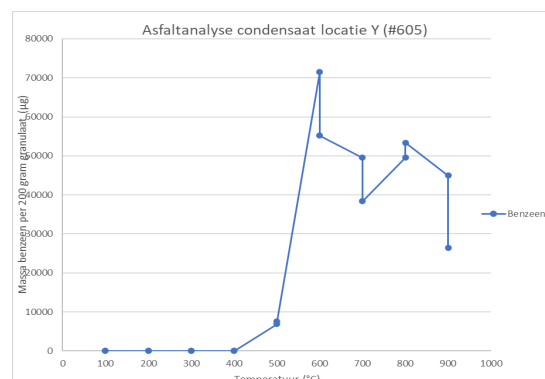
### 3.2.3 Vergelijking vloeistofmonsters methode A en methode B

Bij methode A zijn ook de vloeistofmonsters gemeten en zijn de resultaten hiervan verwerkt. Tijdens het ontwikkelen van methode B, is er voor gekozen om de opgevangen vloeistof niet te analyseren. De methode moet aanduiden of er sprake is van benzeen in gas, daarom is vloeistofanalyse buiten beschouwing gelaten bij methode B. De vloeistofmonsters zijn wel bewaard en beschikbaar voor analyse op een later moment.

Omdat de analyse van de vloeistofmonsters bij methode A wel informatie geeft betreffende de gemeten waarden, is hieronder een weergave van de resultaten opgenomen. Voor een vergrote weergave van onderstaande figuur 8 en 9 wordt verwezen naar bijlage 2.



Figuur 8: asfaltanalyse condensaat locatie X (#5)



Figuur 9: asfaltanalyse condensaat locatie Y (#605)

Uit de analyse van de monsters (#5 en #605) blijkt dat de verhouding massa benzeen in het gas versus de massa benzeen in het condensaat, steeds tussen 0,5 en 2,5 ligt. Deze verhouding is dus relatief constant. Dit bleek ook tijdens de testfase bij het test asfaltmonster de verhouding te zijn. Voor het beantwoorden van de onderzoeksvraag volstaat het meten van uitsluitend de gasmonsters.

### 3.2.4 Conclusie methode ontwikkeling

Om de onderzoeksvraag te kunnen beantwoorden, heeft methode A geen wezenlijke voordelen ten opzichte van methode B.

Omdat methode B een kortere doorlooptijd heeft dan methode A -in twee weken tijd kunnen vijf monsters volgens methode B worden gemeten en slechts 1 volgens methode A- verdient methode B de voorkeur.

Methode B is geschikt voor het meten van kwaliteitsverschillen tussen de verschillende aangeleverde monsters.



## 4 Resultaten vervolgonderzoek

Om te kunnen bepalen of benzeen ontstaat door een thermische omzetting en/of dat er sprake is van benzeenemissie van al aanwezig benzeen, is methode B gebruikt om dit te onderzoeken.

Hiervoor zijn in totaal 17 monsters geanalyseerd. Hiervan zijn 9 monsters afkomstig van locatie X en 8 monsters zijn afkomstig van locatie Y. Eén van de monsters afkomstig van locatie Y is “nieuwe steenslag & bitumen” en bevat geen asfaltgranulaat.

In dit hoofdstuk wordt een samenvatting van de onderzoeksresultaten van de monsters afkomstig van de locaties X en Y gegeven. Voor een overzicht van de resultaten per monster, wordt verwezen naar bijlage 3.

In bijlage 3 is ook het resultaat opgenomen van het monster ‘nieuwe steenslag & bitumen’ (hierna #NS&B). De resultaten van dit monster zijn ook opgenomen in figuur 10 t/m 15.

### 4.1 Reproduceerbaarheid

Alle onderzochte monsters zijn in duplo uitgevoerd. Een onderling verschil in de totale benzeenemissie van de duplo's per monster van maximaal 20% is acceptabel. De resultaten per monster (zie figuur 10 en 11) voldoen aan dit criterium. Voor 77% van de monsters geldt dat de VC-waarde <10% is.

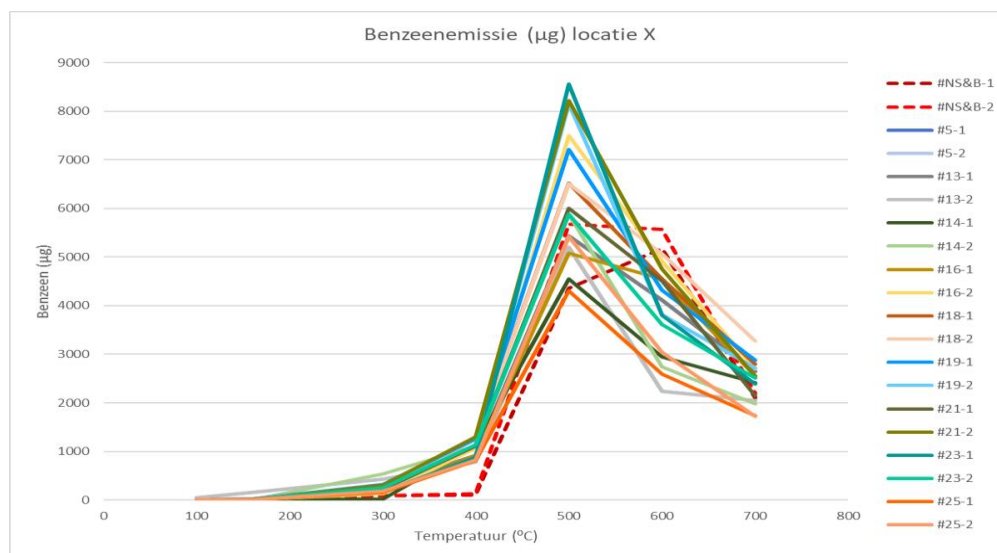
Daarmee mag geconcludeerd worden dat de resultaten van de monsters voldoende reproduceerbaar zijn.

Gezien de te verwachten inhomogeniteit van de monsters en de hoeveelheid inzet zijn de resultaten van de duplo's acceptabel.

### 4.2 Kwalitatieve resultaten

De gemeten benzeenemissie per temperatuurstap van 100 °C is per monster (in duplo) weergegeven in de figuren 10 en 11.

Opgemerkt moet worden dat deze waarden zijn bereikt in een proefopstelling in een geconditioneerde omgeving.

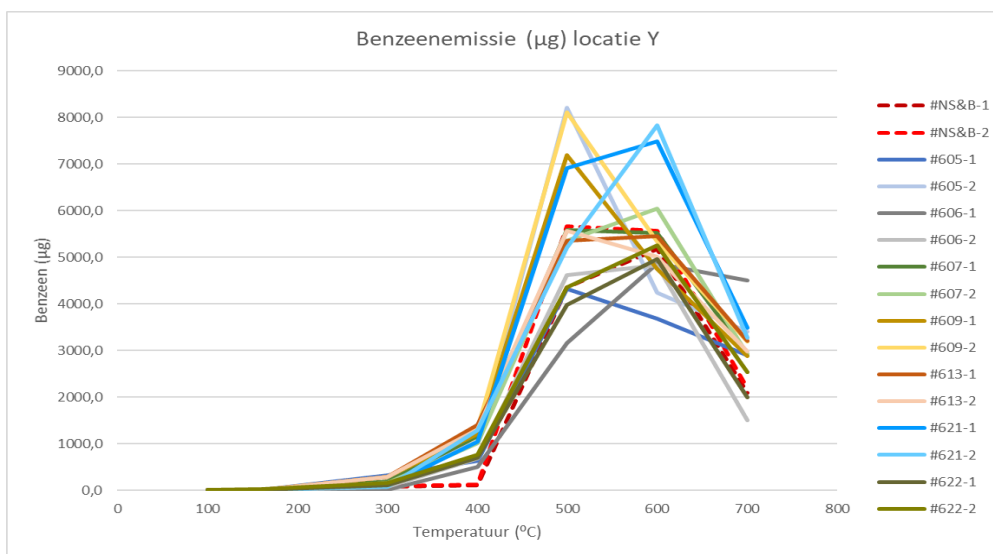


Figuur 10: benzeenemissie monsters (in duplo) locatie X. Monster NS&B (nieuwe steenslag & bitumen) is afkomstig van locatie Y.

Analyse van de monsters van locatie X laat zien dat bij alle monsters (in duplo) een stijging van de hoeveelheid benzeenemissie waarneembaar is vanaf 300 °C. Een piek in de hoeveelheid benzeenemissie wordt bij alle monsters (in duplo) gemeten bij 500



°C. Het monster #NS&B laat een afwijkend patroon zien ten opzichte van de andere monsters. Een substantiële stijging van de hoeveelheid benzeenemissie is bij dit monster gemeten vanaf 400 °C. Een piek in de hoeveelheid benzeenemissie wordt gemeten tussen 500 °C en 600 °C.



Figuur 11: benzeenemissie monsters (in duplo) locatie Y.

Analyse van de monsters van locatie Y laat zien dat bij alle monsters (in duplo) een stijging van de hoeveelheid benzeenemissie waarneembaar is vanaf 300 °C. Een piek in de hoeveelheid benzeenemissie wordt gemeten bij de temperaturen 500 °C en 600 °C.

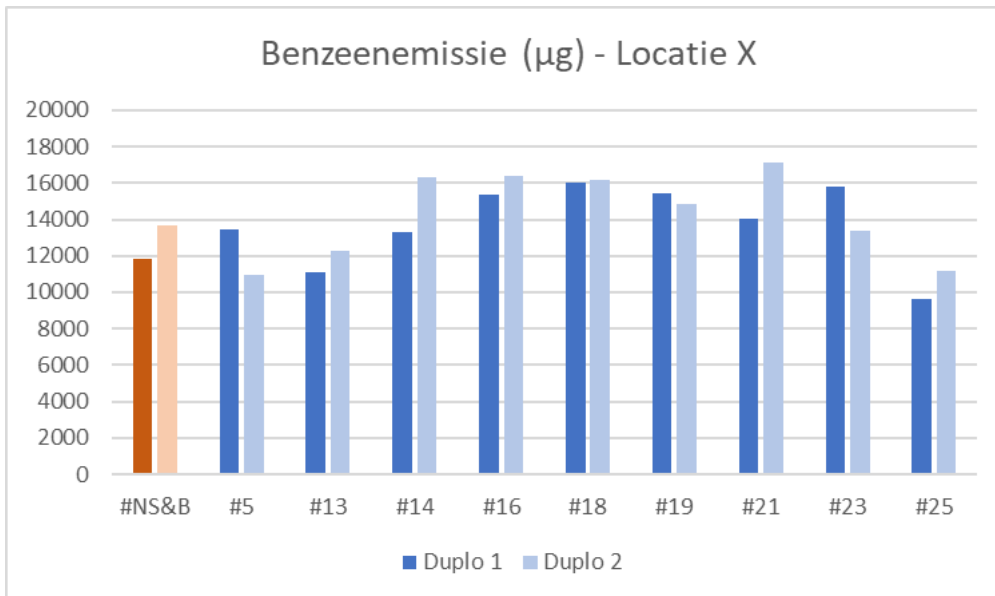






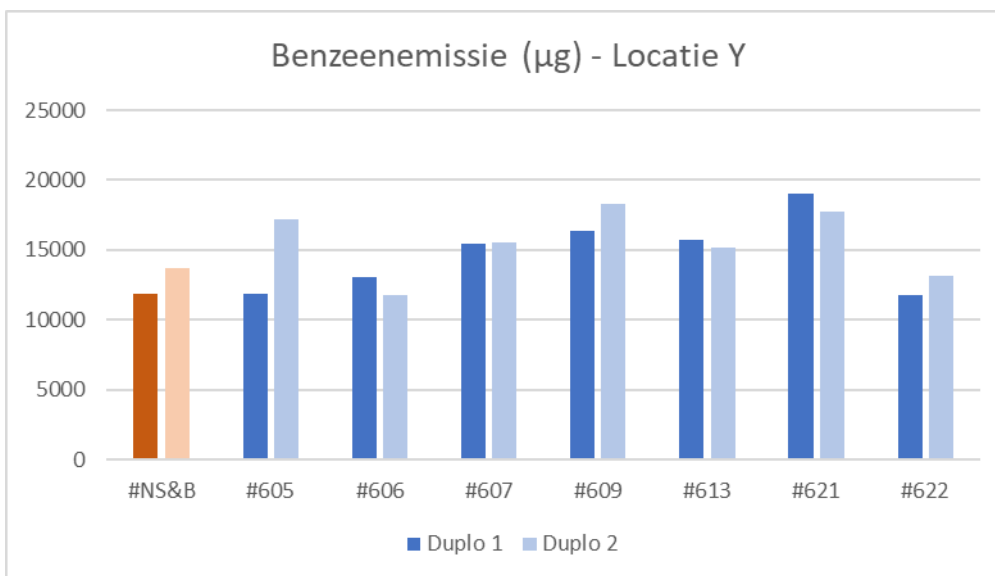
### 4.3 Kwantitatieve resultaten

De gemeten totale benzeenemissie per monster bij verhitting tot 700 °C is weergegeven in de figuren 12 en 13. Om het effect van verhitting tot een lagere temperatuur (500 °C) inzichtelijk te maken, zijn de figuren 14 en 15 opgenomen. Opgemerkt moet worden dat deze waarden zijn bereikt in een proefopstelling in een geconditioneerde omgeving.



Figuur 12: totale benzeenemissie per monster uit locatie X (in duplo) bij verhitting tot 700 °C. Monster NS&B (nieuwe steenslag & bitumen) is afkomstig van locatie Y.

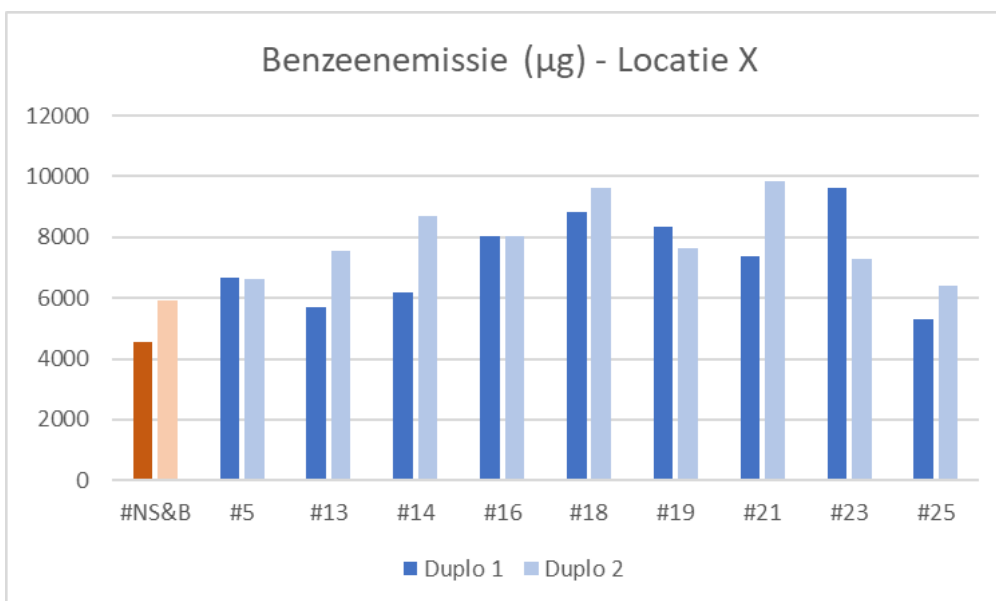
Op basis van de gemeten waarden, bedraagt de gemeten emissie bij monsters afkomstig van locatie X gemiddeld 14.038 µg (met een standaarddeviatie van 2.264) bij verhitting tot 700 °C.



Figuur 13: totale benzeenemissie per monster uit locatie Y (in duplo) bij verhitting tot 700 °C.

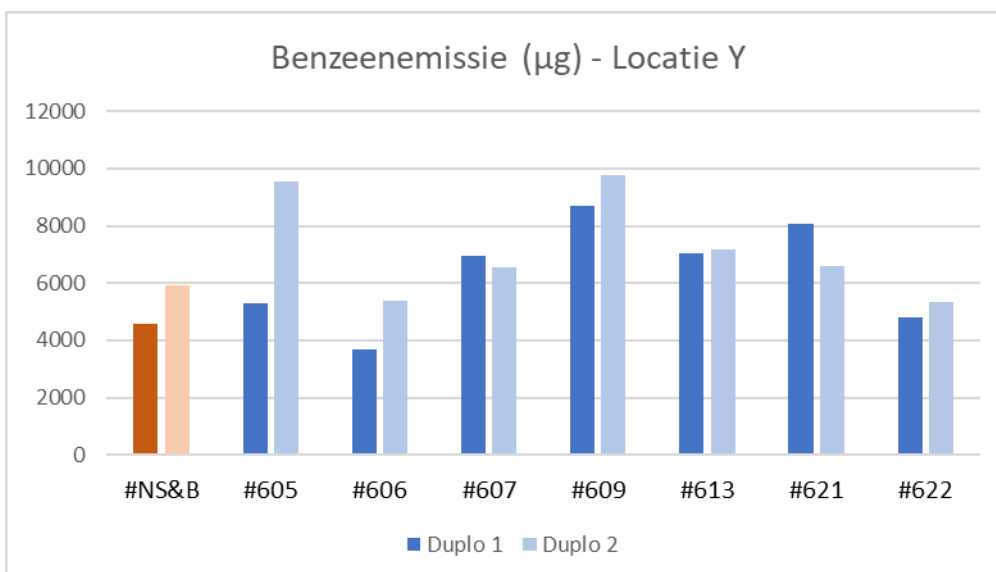
Op basis van de gemeten waarden, bedraagt de gemeten benzeenemissie bij monsters afkomstig van locatie Y gemiddeld 15.141 µg (met een standaarddeviatie van 2.484) bij verhitting tot 700 °C.





Figuur 14: totale benzeenemissie per monster uit locatie X (in duplo) bij verhitting tot 500 °C. Monster NS&B (nieuwe steenslag & bitumen) is afkomstig van locatie Y.

Op basis van de gemeten waarden, bedraagt de gemeten benzeenemissie bij monsters afkomstig van locatie X gemiddeld 7.635 µg (met een standaarddeviatie van 1.352) bij verhitting tot 500 °C.



Figuur 15: totale benzeenemissie per monster uit locatie Y (in duplo) bij verhitting tot 500 °C.

Op basis van de gemeten waarden, bedraagt de gemeten benzeenemissie bij monsters afkomstig van locatie Y gemiddeld 6.781 µg (met een standaarddeviatie van 1.797) bij verhitting tot 500 °C.

Analyse van de resultaten laat zien dat er geen significant verschil is tussen de kwantitatieve benzeenemissie van locatie X en locatie Y bij verhitting tot 700 °C. Bij verhitting tot 500 °C is er wel een verschil zichtbaar tussen de monsters bij locatie Y. Dit is ook zichtbaar in de resultaten opgenomen in figuur 11.



## 5 Conclusies en aanbevelingen

### 5.1 Conclusies

Het ontstaan van benzeenemissie als gevolg van een thermische omzetting en/of dat er sprake is van benzeenemissie van al aanwezig benzeen, is met de ontwikkelde methode niet volledig vastgesteld. Beide processen vinden plaats bij het verhitten van granulaat. Het is niet met zekerheid vast te stellen welk proces wanneer in gang wordt gezet tijdens het verhitten.

Mogelijke verklaringen voor het verloop van de curve zijn:

- Verdamping van benzeen bij ca. 100 – 400 °C
- Omzetting van PAK's naar benzeen
- Uitputting van benzeen in het granulaat
- Omzetting van benzeen naar o.a. naftaleen
- Ontleding/zelfontbranding van benzeen bij hogere temperaturen

Benzeenemissie ontstaat als gevolg van een verhoging van de temperatuur. Tussen 100 °C en 300 °C (voor het monster #NS&B is dit tot 400 °C) vindt een langzame stijging plaats van de hoeveelheid benzeenemissie. Vanaf 300 °C (voor het monster #NS&B is dit 400 °C) versnelt de emissie van benzeen. Een sterke verhoging is zichtbaar tussen 400 °C en 600 °C. Hierbij is een verschil zichtbaar tussen de monsters van locatie X en Y. De monsters afkomstig van locatie X laten een piek zien in de gemeten hoeveelheid benzeenemissie bij 500 °C. De monsters afkomstig van locatie Y laten een piek zien in de gemeten hoeveelheid benzeenemissie bij 500 °C en 600 °C.

De gemiddeld gemeten hoeveelheid benzeenemissie is voor beide locaties vergelijkbaar bij verhitting tot en met 700 °C. De metingen zijn in duplo uitgevoerd. De duplo's geven een vergelijkbaar gehalte aan benzeenemissie.

Opgemerkt moet worden dat deze waarden zijn bereikt in een proefopstelling in een geconditioneerde omgeving. De proefopstelling en geconditioneerde omgeving zijn niet vergelijkbaar met de processen en omgevingscondities in een asfaltcentrale.

Tijdens de methodeontwikkeling zijn vloeistofmonsters onderzocht, na scheiding van het gas. Dit om het uitwaseffect van benzeen in een Tedlarbag te voorkomen. Hoewel hier niet mee verder is gegaan, is wel inzicht verkregen in de aanwezigheid van PAK's.

### 5.2 Aanbevelingen

Tijdens het onderzoek zijn een aantal bevindingen gedaan die nader onderzocht kunnen worden ter verdere duiding van de resultaten beschreven in dit rapport. Dit zijn:

- Nadere analyse van de hoeveelheid benzeenemissie bij verhitting tot 400 °C: Het verloop van benzeenemissie bij verhitting tot 400 °C kan nader onderzocht worden door te verhitten in kleinere temperatuurstappen (van 50 °C) en gebruik te maken van granulaat met een kleinere korrelgrootte. Een kleinere temperatuurstap geeft een meer nauwkeurige benadering van de relatie tussen de hoeveelheid benzeenemissie en de temperatuur in het genoemde gebied.
- Nadere analyse monsters locatie Y: De monsters afkomstig van locatie Y laten een grotere variatie zien in de monsters onderling. Dit is zowel zichtbaar bij de kwalitatieve als de kwantitatieve resultaten. In dit onderzoek is niet verder onderzocht wat de oorzaak van deze variatie kan zijn.
- Relatie tussen gebruikte grondstoffen en de hoeveelheid benzeenemissie:



Het monster #NS&B laat een ander kwalitatief resultaat zien dan de overige monsters. Mogelijk wordt dit veroorzaakt door de afwezigheid van granulaat. Door meer monsters zonder granulaat te onderzoeken, kan worden bepaald of er een relatie is tussen de afwezigheid van granulaat en de gemeten hoeveelheid benzeenemissie bij verhitting.

- Homogeniteit in monsters:  
Door de homogeniteit van de monsters te verbeteren, ontstaat mogelijk een beter beeld van het effect van de grootte van het granulaat op de hoeveelheid benzeenemissie bij verhitting. De homogeniteit kan verbeterd worden door toepassing van vermaling van het granulaat waardoor het granulaat kleiner wordt.

Naast bovengenoemde aanbevelingen, wordt ook aanbevolen om onderstaande nader te onderzoeken:

- Relatie tussen benzeen in het monster voor verhitting en benzeenemissiecurve van het monster:  
Door middel van extractie de hoeveelheid aanwezig benzeen in het monster te bepalen en dit te relateren aan de benzeenemissiecurve kan er meer inzicht verkregen worden in het al aanwezig zijn van benzeen voor verhitting dan wel de vorming van benzeen tijdens verhitting.
- Bepaling van het gehalte aan (polycyclische) aromatische koolwaterstoffen en berekening van de omzettingsgraad:  
Door middel van extractie het gehalte aan (polycyclische) aromatische koolwaterstoffen in de monsters bepalen en de omzettingsgraad berekenen en vergelijken met de uitkomsten (zie hoofdstuk 2). Hiermee wordt inzicht verkregen in de rol van pyrolyse (thermische omzetting) onder de gegeven procescondities.
- Aanwezigheid van PAK's in het emissiegas:  
Door de gasfase direct door een vloeistof te laten lopen (wassen) en een geheel traject te laten doorlopen, kan een beter beeld worden verkregen van de aanwezige PAK's. Hier is dus geen sprake van scheiding van de vloeistoffase en gasfase, maar een opvangen van alle componenten in een vloeistoffase.
- Aanwezigheid andere stoffen:  
Om een goed en compleet beeld te krijgen van de aanwezige stoffen in de gasmonsters, is het aan te bevelen om een gasmonster, naast benzeen, te analyseren op aanwezige stoffen (CO, CO<sub>2</sub>, methaan, etheen etc.) en dit monster het gehele traject te volgen.

Mogelijke maatregelen om de emissie van benzeen te beperken zijn:

- piektemperaturen bij het verwerken van granulaat voorkomen
- de verblijftijd en de verwerkingstemperatuur van granulaat optimaliseren.



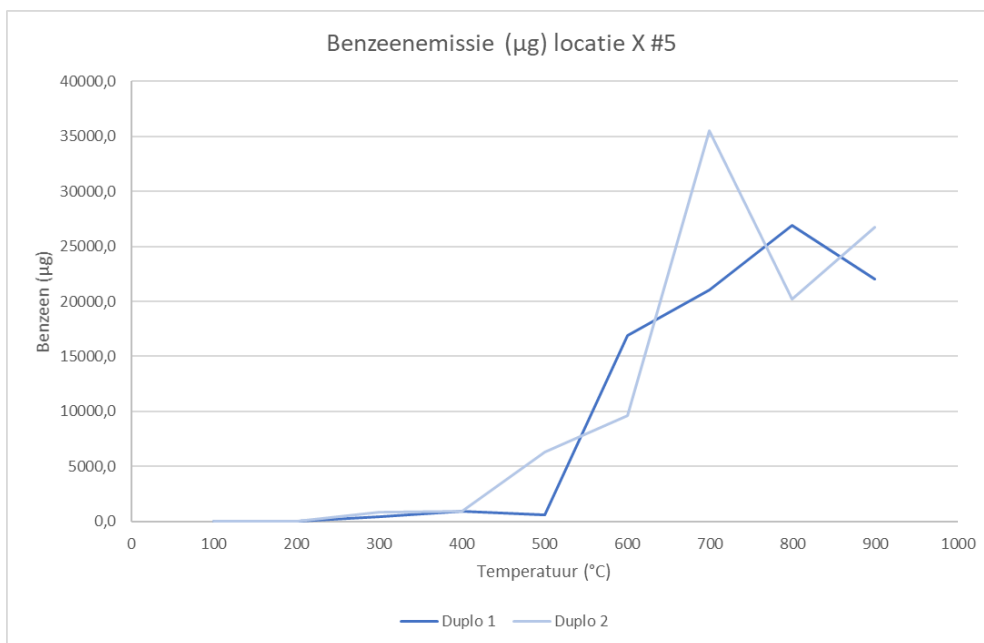
>



# Bijlage 1

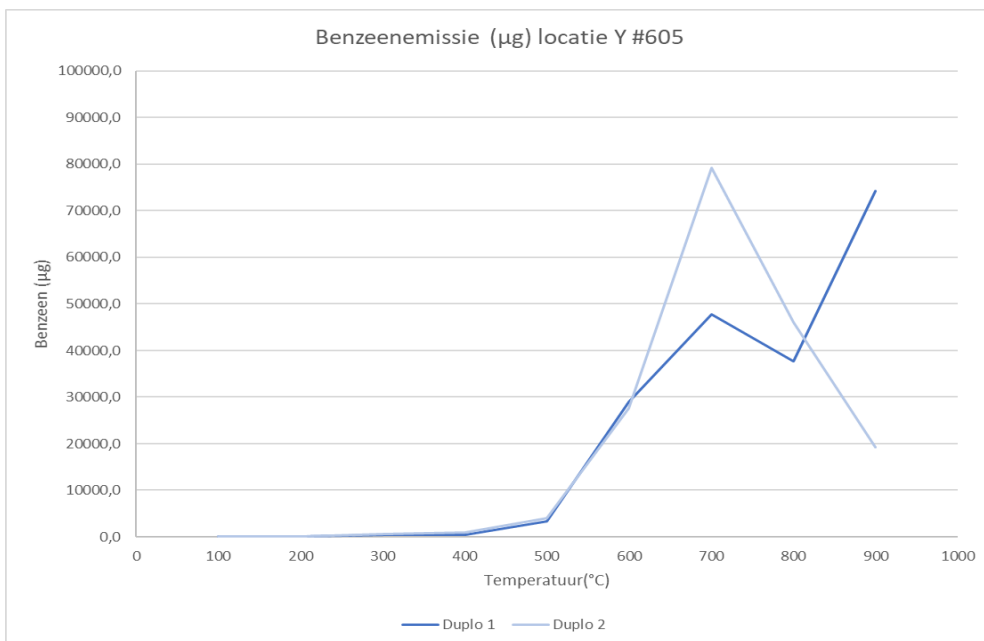
## Gasmonsters methode A

### Vergrote weergave figuur 4



Figuur 16: massa benzeen uitgezet ten opzichte van de temperatuur (in duplo)gasmonster locatie X (#5) methode A

### Vergrote weergave figuur 6

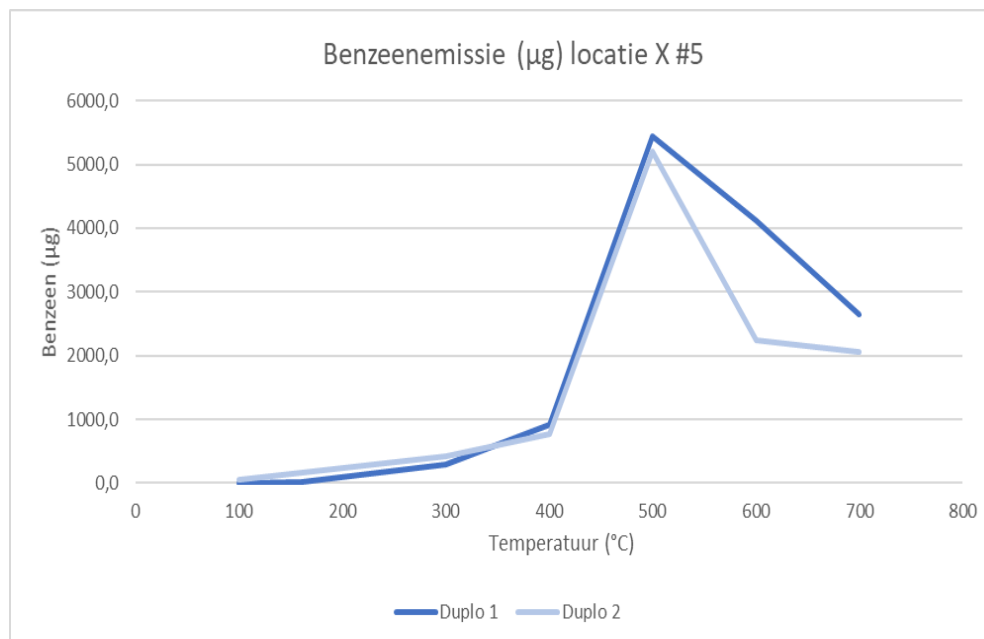


Figuur 17: massa benzeen uitgezet ten opzichte van de temperatuur (in duplo)gasmonster locatie Y (#605) methode A



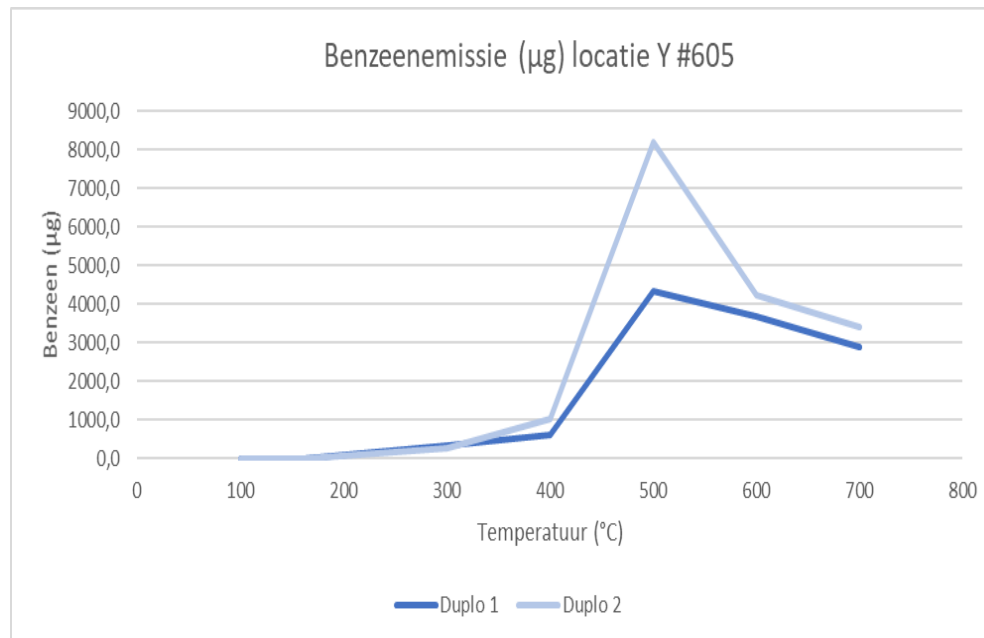
## Gasmonsters methode B

### Vergrote weergave figuur 5



*Figuur 18: massa benzeen uitgezet ten opzichte van de temperatuur (in duplo)gasmonster locatie X (#5) methode B*

### Vergrote weergave figuur 7



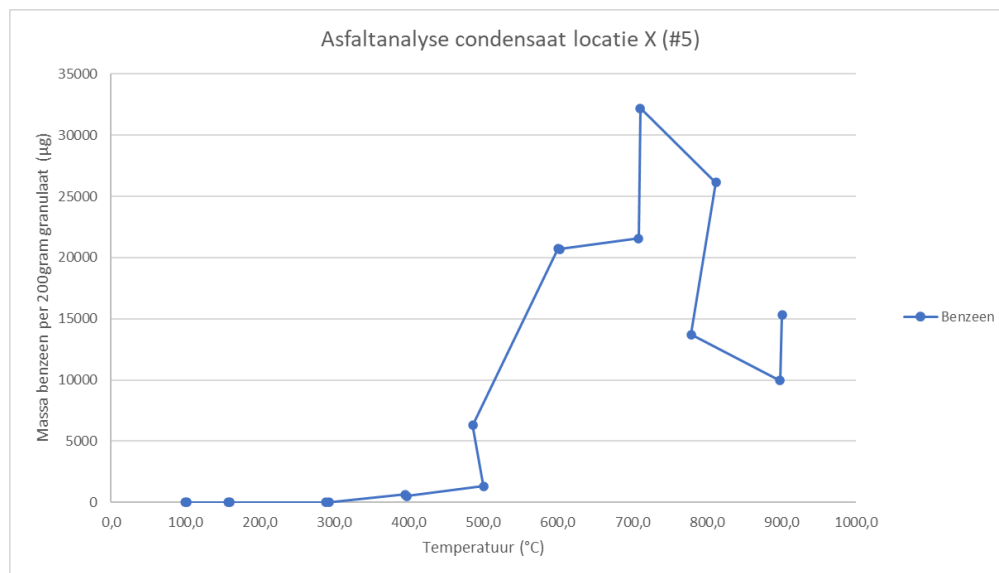
*Figuur 19: massa benzeen uitgezet ten opzichte van de temperatuur (in duplo)gasmonster locatie Y (#605) methode B*



## Bijlage 2

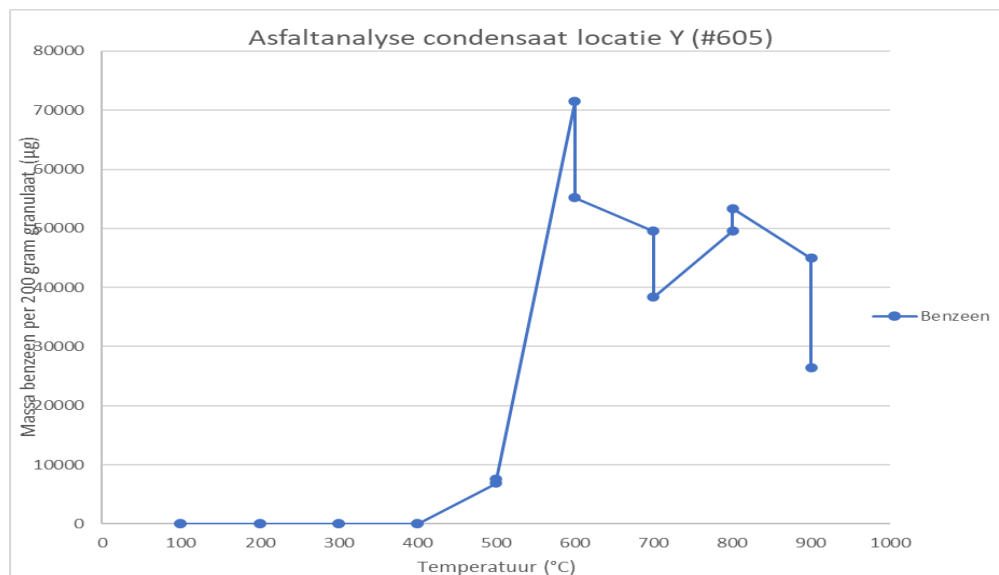
### Vloeistofmonsters methode A

#### Vergrote weergave figuur 8



Figuur 20: asfaltanalyse locatie X (#5)

#### Vergrote weergave figuur 9

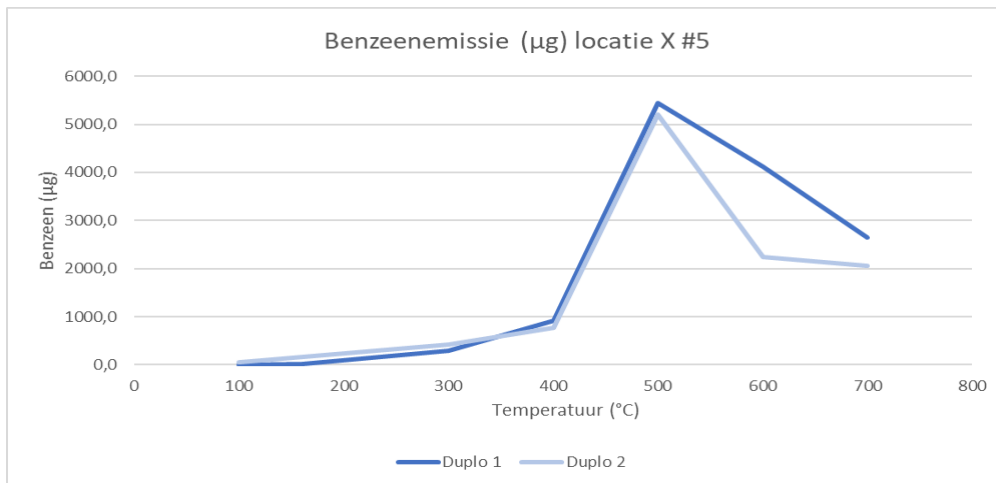


Figuur 21: asfaltanalyse locatie Y (#605)

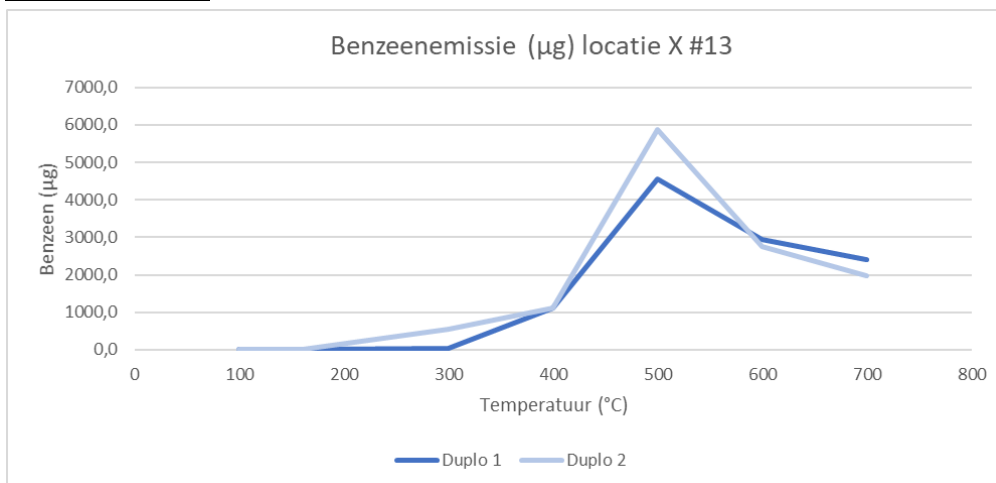


## Bijlage 3

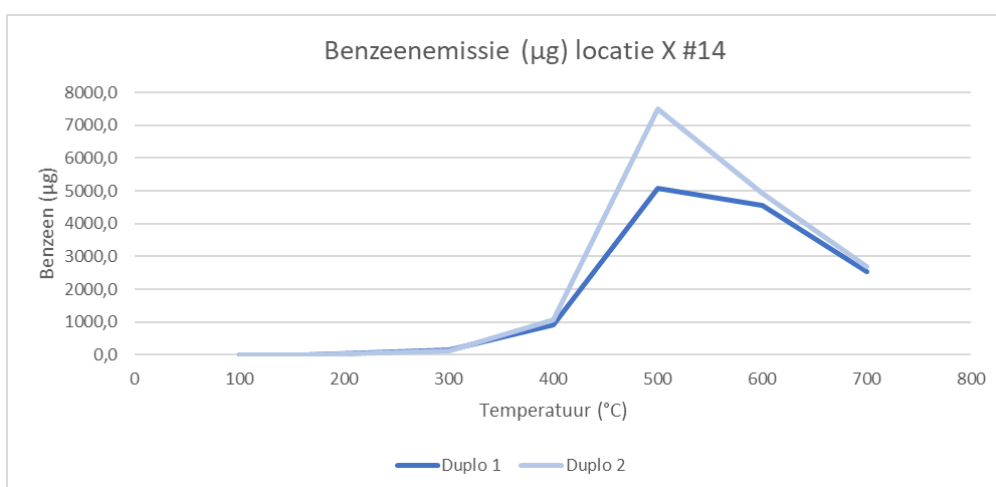
### Resultaten X #5



### Resultaten X #13



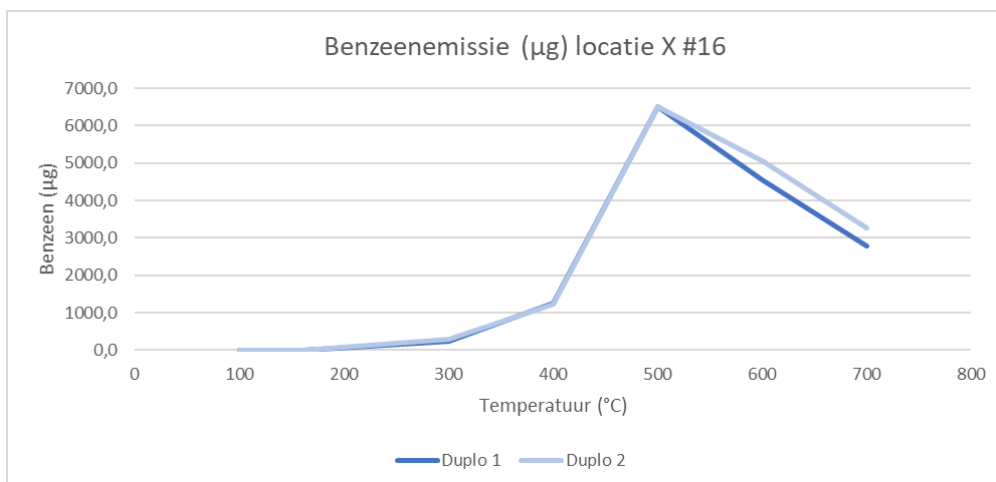
### Resultaten X #14



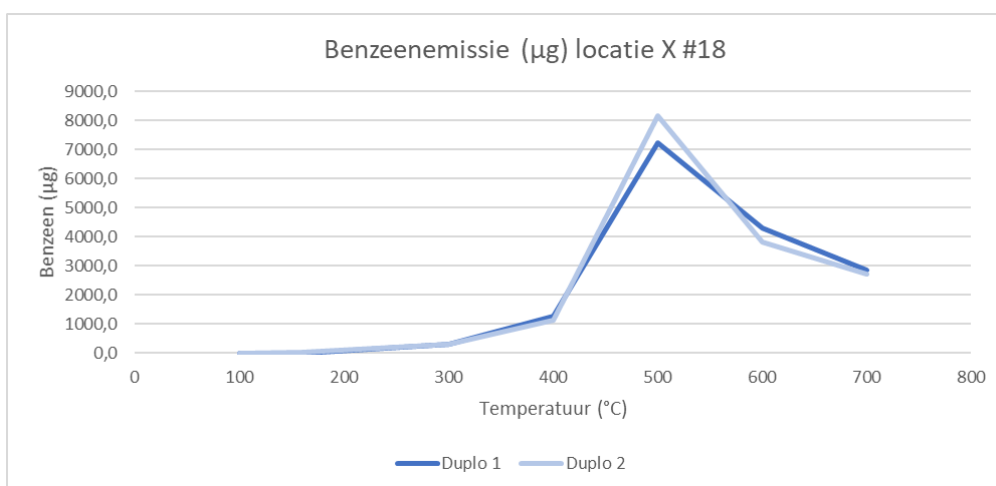




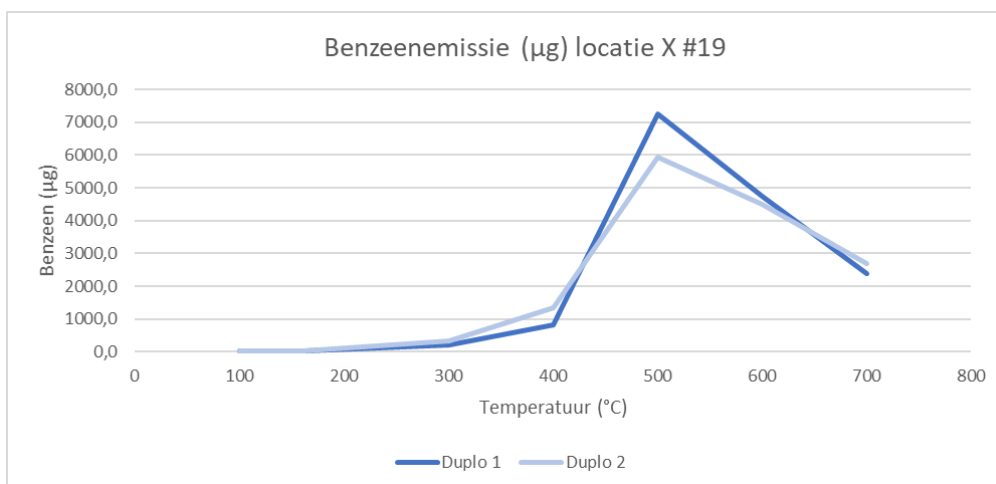
### Resultaten X #16



### Resultaten X #18

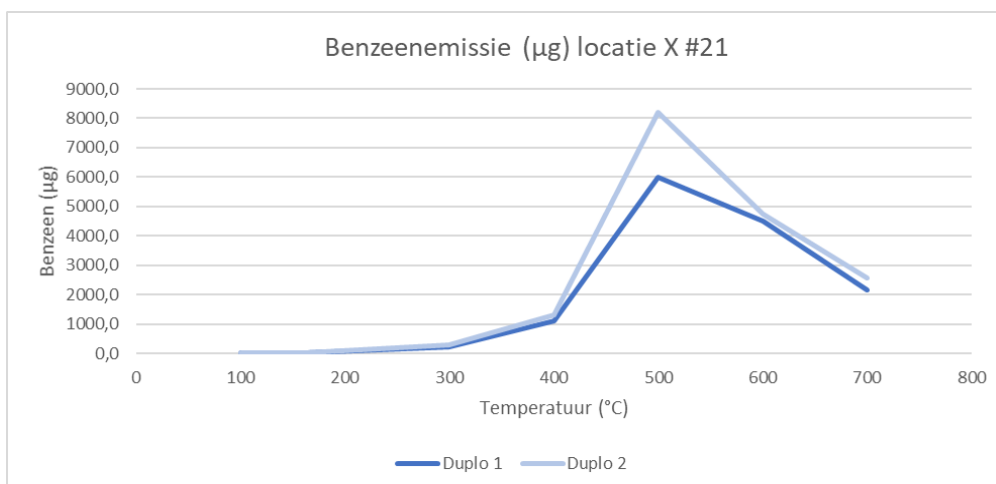


### Resultaten X #19

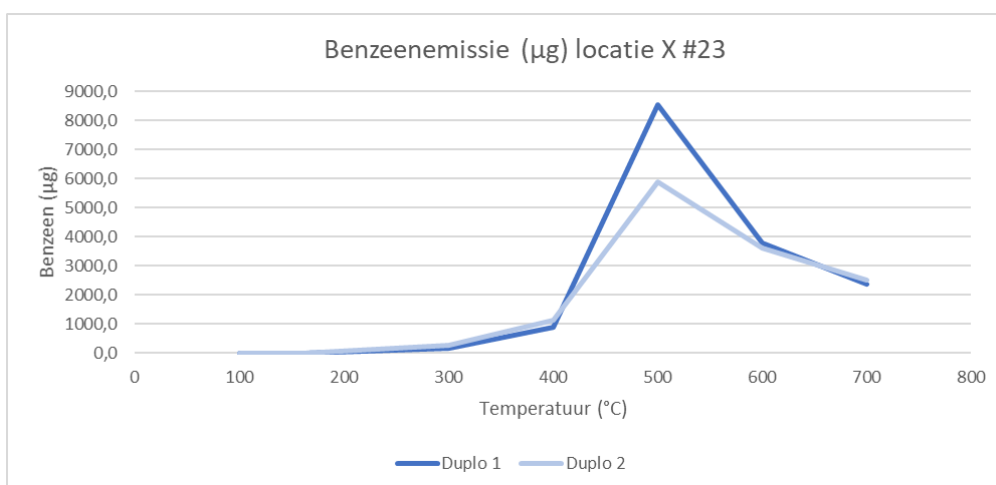




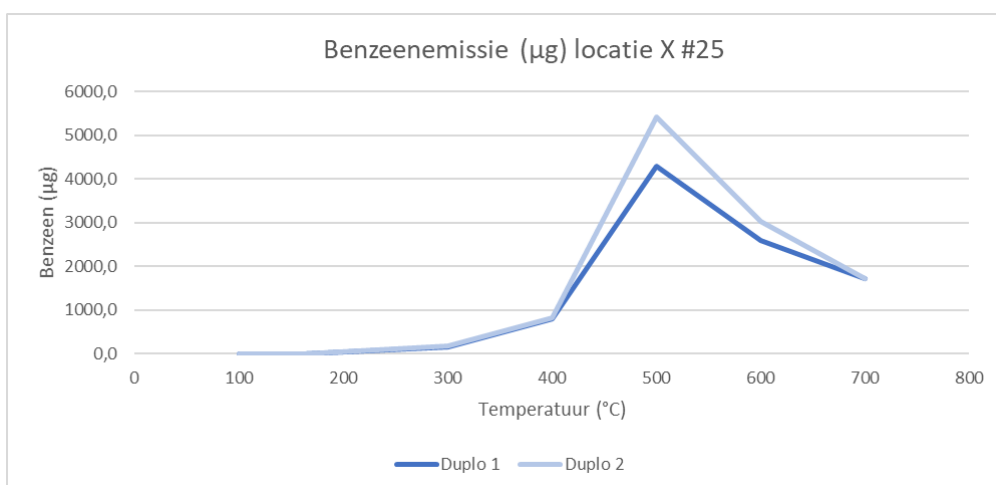
### Resultaten X #21



### Resultaten X #23

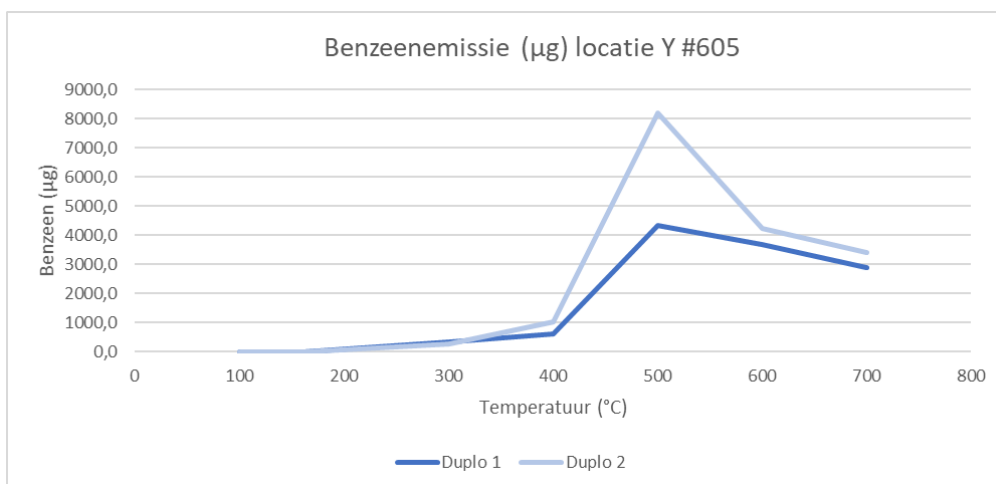


### Resultaten X #25

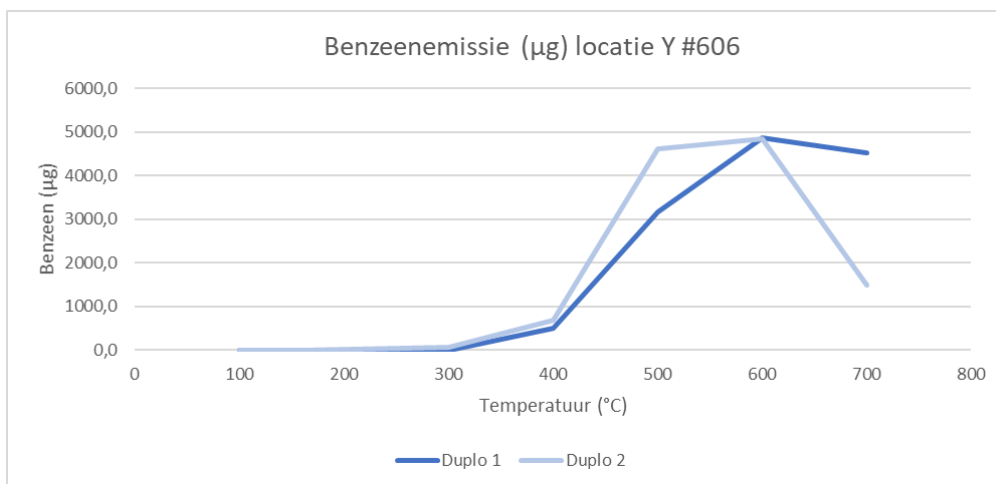




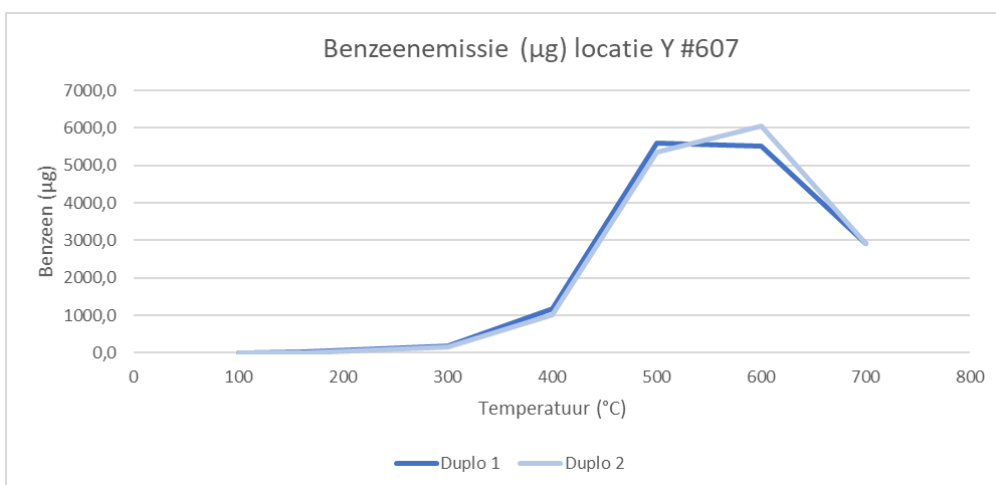
### Resultaten Y #605



### Resultaten Y #606

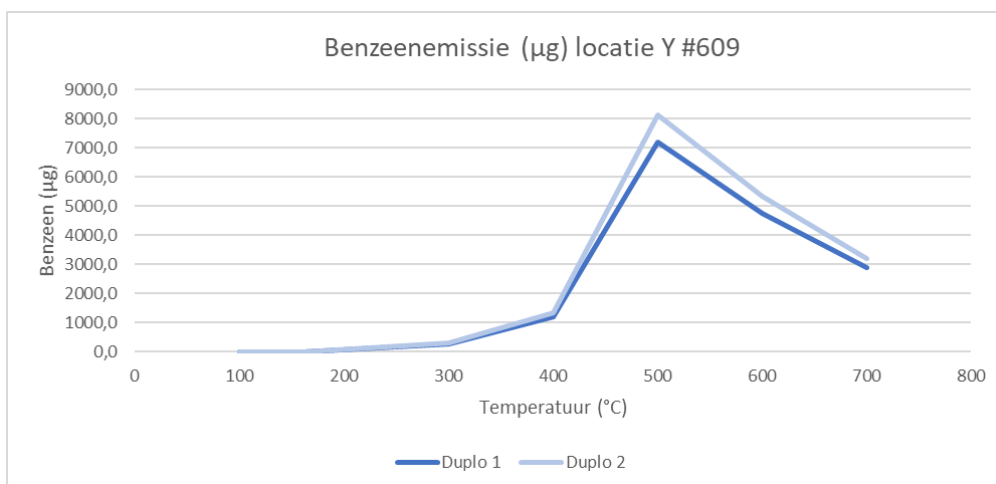


### Resultaten Y #607

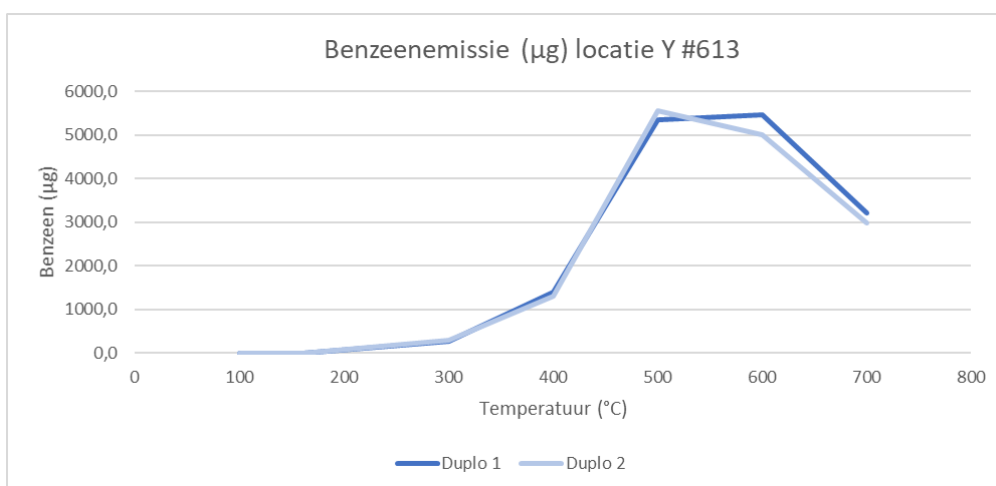




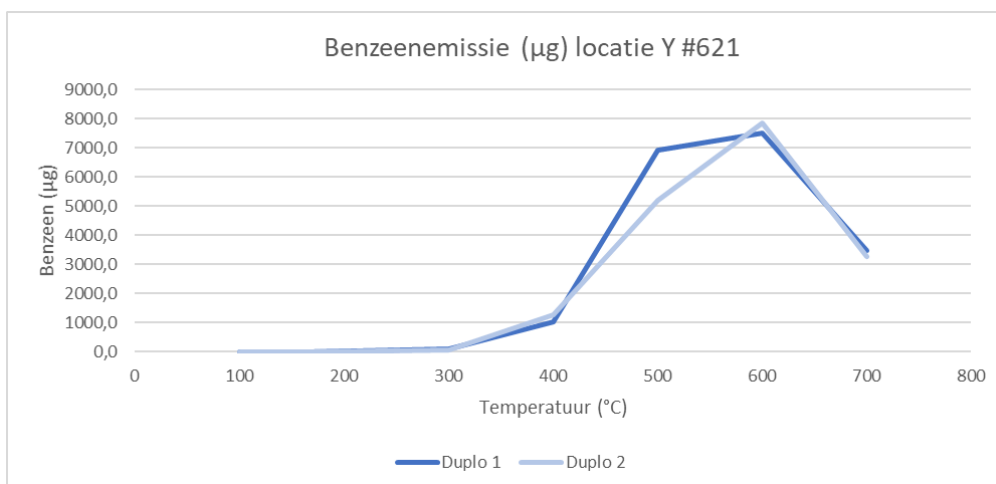
### Resultaten Y #609



### Resultaten Y #613

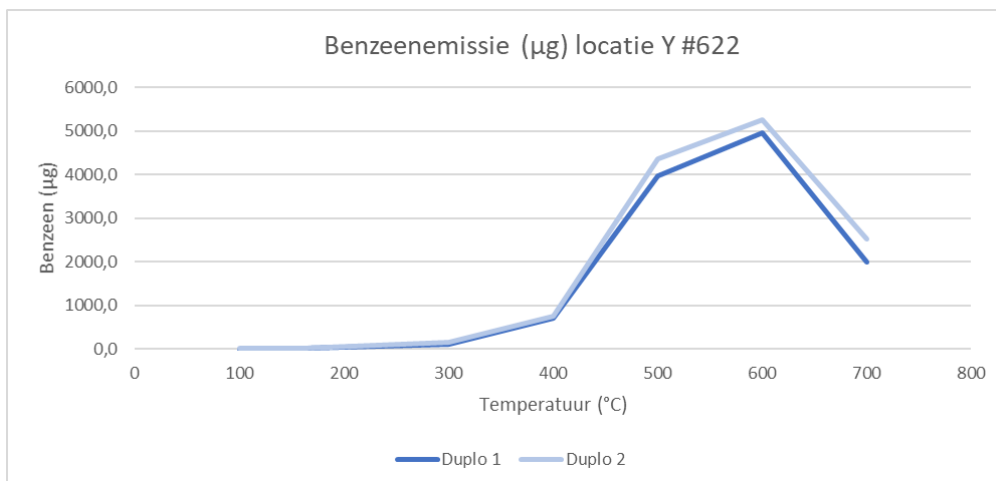


### Resultaten Y #621

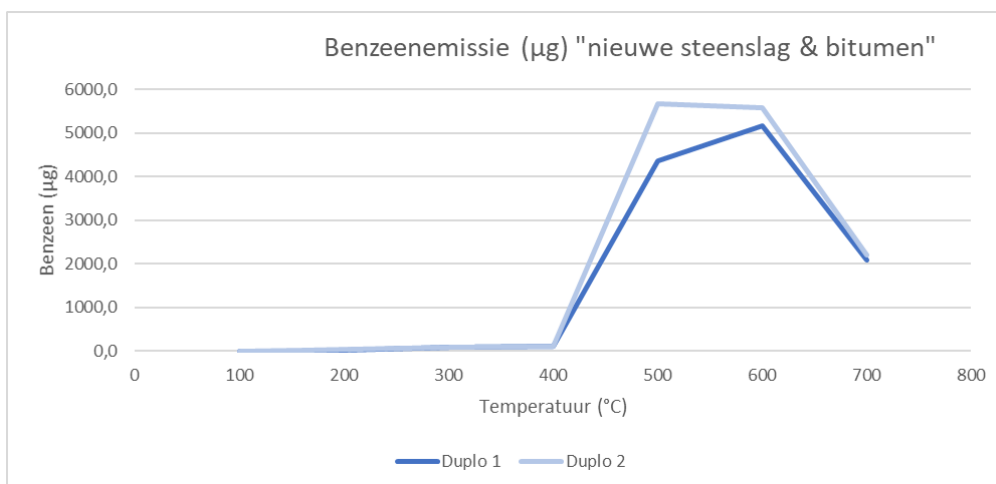




### Resultaten Y #622



### Resultaten #ns&b



# **Bijlage 3**



## Notitie

<b>Contactpersoon</b>	Berend Hoekstra en Albert Brouwer
<b>Datum</b>	19 december 2018
<b>Kenmerk</b>	N001-1248917BRA-V02-ihu-NL

## Impact van benzeen op leefniveau in de omgeving van asfaltmenginstallaties (toets luchtkwaliteit)

### 1 Inleiding

In opdracht van Bouwend Nederland, heeft Tauw verspreidingsberekeningen uitgevoerd om de impact van benzeenemissies rondom asfaltmenginstallaties te bepalen. Dit onderzoek wordt uitgevoerd in verband met het aanvragen van maatwerkvoorschriften voor benzeen bij asfaltmenginstallaties. Uit onderzoek binnen de branche is afgelopen jaren gebleken dat bij installaties soms hogere emissieconcentraties voor benzeen kunnen optreden dan volgens de algemene eisen van het Activiteitenbesluit. Bouwend Nederland is hierover in overleg met de vertegenwoordigers van de overheid (Ministerie I&W, Infomil, ODRN). In het kader hiervan vinden thans diverse nadere onderzoeken plaats. Een belangrijk onderzoek om een eventueel maatwerkvoorschrift vast te stellen, is het bepalen in welke mate benzeen op leefniveau rondom asfaltmenginstallaties een risico voor de omgeving is. Dit onderzoek brengt op generieke wijze de maximale impact van benzeen rondom een asfaltmenginstallatie onder worst case uitgangspunten in beeld. Deze maximale impact wordt getoetst aan de grenswaarde van benzeen in de buitenlucht.

### 2 Uitgangspunten berekeningen

#### *Overzicht uitgangspunten*

Belangrijke parameters die de benzeenconcentratie op leefniveau bepalen, zijn de emissievracht (debiet x concentratie), de warmte-inhoud van de afgassen en de bedrijfsduur van de installatie. Daarnaast zijn de schoorsteenhoogte en de ruwheidslengte bepalend voor de mate van verspreiding. Voor de emissievracht, warmte-inhoud en bedrijfsduur, zijn worst uitgangspunten bepaald. Om voor elke asfaltmenginstallatie zo goed mogelijk de maximale benzeenconcentratie te kunnen bepalen, zijn berekeningen gemaakt waarin gevarieerd wordt met de schoorsteenhoogte en de ruwheidslengte.



De concentratie van benzeen op leefniveau is berekend aan de hand van worst-case uitgangspunten zoals weergegeven in tabel 2.1.

Tabel 2.1 Uitgangspunten modellering

Grootheid	Waarde
Debiet [Nm <sup>3</sup> /uur]	100.000
Emissieconcentratie [mg/Nm <sup>3</sup> ]	5
Emissievracht [g/uur]	500
Warmte-inhoud [MW]	0
Bedrijfsduur [uur/jaar]	2.500
Schoorsteenhoogte [m]	20, 30, 40, 50
Ruwheidslengte [m]	0,1 en 1

### Toelichting uitgangspunten

Het debiet van 100.000 Nm<sup>3</sup>/uur is worst-case gekozen aan de hand van meetervaringen uit het verleden, daarbij blijkt dat asfaltcentrales een emissiedebiet hebben die veel lager is dan 100.000 Nm<sup>3</sup>/uur. Doorgaans ligt het debiet beneden 50.000 Nm<sup>3</sup>/uur. Met een rekenwaarde van 100.000 Nm<sup>3</sup>/uur kan dus gesteld worden dat de rekenresultaten worst-case zullen zijn.

De wettelijke emissieconcentratie is 1 mg/Nm<sup>3</sup>, maar metingen hebben aangetoond dat deze soms enkele mg/Nm<sup>3</sup> kunnen zijn. Een jaargemiddelde concentratie van 5 mg/Nm<sup>3</sup>, kan op basis van de huidige inzichten als worst-case worden gezien. De warmte-inhoud wordt gehouden op 0 MW, zodat er relatief weinig verspreiding op zal treden en de immissieconcentratie dus worst-case bepaald wordt. Kenmerkend voor asfaltmenginstallaties is de relatief korte bedrijfsduur. Er wordt uitgegaan van een bedrijfsduur van 2.500 uur per jaar (uitgaande van een hoge productiecapaciteit van 750.000 ton/jaar en 300 ton/uur).

Variatie wordt geïntroduceerd in de schoorsteenhoogte en ruwheidslengte. Voor de schoorsteenhoogte worden vier verschillende waarden gebruikt (20 tot 50 meter), voor de ruwheidslengte zijn dat er 2, namelijk 0,1 (laag) en 1 (hoog). In totaal worden dus acht berekeningen uitgevoerd. Voor de locatie van de schoorsteen wordt een willekeurige locatie in oostelijk Nederland gekozen.

De concentratie benzeen wordt berekend op 100 toetspunten. Deze toetspunten zijn geplaatst met een onderlinge afstand van 50 meter (effectafstand tot 5.000 meter) op een lijn vanaf de installatie in noordoostelijke richting. Dit is worst-case voor een Nederlandse situatie, omdat de wind in Nederland het grootste gedeelte van de tijd uit zuidwestelijke richting komt.

Voor de overige uitgangspunten zijn de volgende waarden aangehouden:

- De emissies zijn gemodelleerd met het rekenmodel Geomilieu STACKS, versie 4.41. Dit is een door het ministerie van I&W goedgekeurd model voor het uitvoeren van luchtverspreidingsberekeningen in het kader van vergunningstrajecten
- Er is gerekend voor het component benzeen
- De meteorologische gegevens over de periode van 1995-2004 zijn gebruikt. Dit is een standaard dataset voor gebruik bij verspreidingsberekeningen



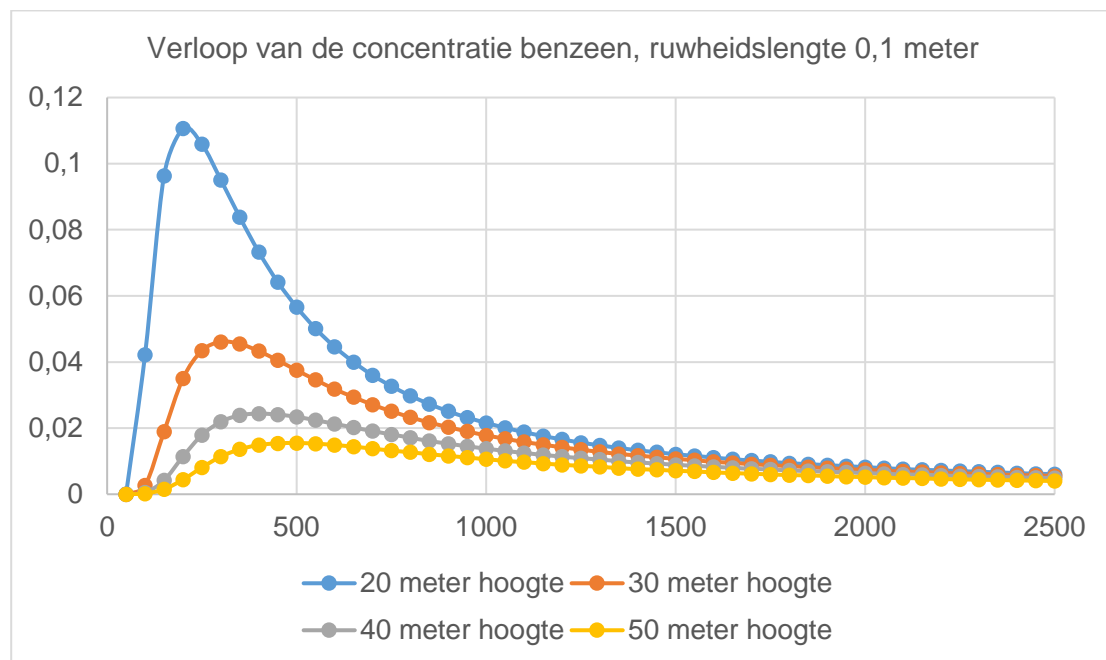


- Zichtjaar 2017 is toegepast, omdat benzeen slechts berekend kan worden voor gepasseerde jaren
- De schoorsteen is geplaatst op de coördinaten (X: 202451, Y: 440322). Dit betreft een locatie ten noordoosten van Duiven, Oost-Nederland. Hiermee is gekozen voor een relatief ongunstige meteorologie

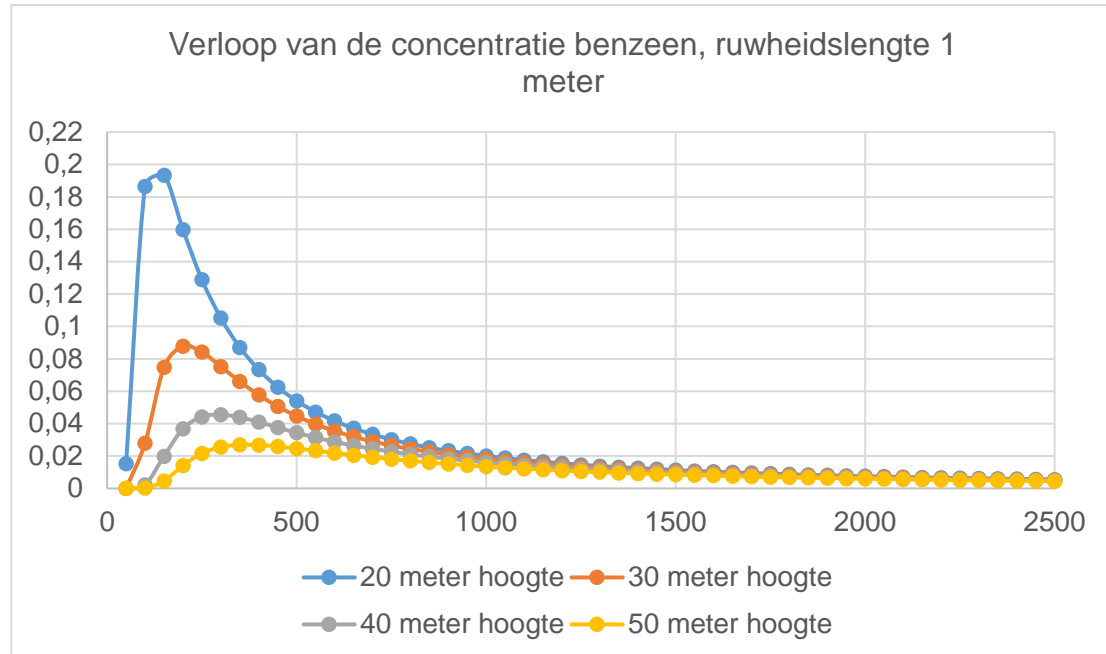
### 3 Resultaten

De onderstaande grafieken 1 en 2 geven het verloop van de concentratie benzeen bij een emissievracht van 500 g/uur weer, over een afstand van 2.500 meter. In bijlage 1 zijn alle berekende concentraties getalsmatig weergegeven voor alle berekende varianten.

De bijdrage van een emissiebron is lineair met de emissievracht. Desgewenst kunnen de berekende concentraties worden geschaald naar de feitelijke emissie van de betreffende asfaltmenginstallatie.



Figuur 3.1 Verloop van de jaargemiddelde benzeenconcentratie ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) bij een emissievracht van 500 g/uur en een ruwheidslengte van 0,1 meter



Figuur 3.2 Verloop van de jaargemiddelde benzeenconcentratie ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) bij een emissievracht van 500 g/uur en een ruwheidslengte van één meter

## 4 Conclusie

De verspreiding van benzeenemissie rondom asfaltmenginstallaties is gemodelleerd. Hierbij is gebruikgemaakt van worst-case uitgangspunten. Dat betekent dat de werkelijke concentratie benzeen rondom een asfaltmenginstallatie, lager zal zijn. Uit de resultaten blijkt dat de concentratie benzeen op leefniveau afneemt naarmate de schoorsteen hoger is. Dat wordt verklaard doordat de emissies beter verspreid worden over een groter gebied.

Van alle resultaten wordt de hoogste waarde berekend bij een schoorsteen van 20 meter hoogte en een omgeving met een ruwheidslengte van één meter. De jaargemiddelde concentratie benzeen in deze situatie bedraagt op korte afstand van de installatie  $0,19 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (bij een benzeenemissie van 500 g/uur). Dit is ruim beneden de grenswaarde van  $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . De benzeenconcentraties liggen in Nederland al jaren onder de Europese grenswaarde van  $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Sinds 2012 wordt de landsdekkende GCN-kaart met benzeenconcentraties niet meer geactualiseerd. De grootschalige benzeenconcentratie vertoonde in dat jaar een vrij vlak beeld over Nederland, variërend van ongeveer  $0,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$  in het noorden tot ongeveer  $0,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$  in het zuiden. In grote steden zijn de concentraties ongeveer  $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Het effect van de benzeenemissie bij asfaltmenginstallaties op de omgeving is nihil.



## Bijlage 1

## Resultaten

*Tabel B1.1, Jaargemiddelde benzeenconcentratie bij een emissievracht van 500 g/uur en een ruwheidslengte van 0,1 meter*

Afstand [m]	Concentratie benzeen [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ], 20 meter schoorsteen	Concentratie benzeen [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ], 30 meter schoorsteen	Concentratie benzeen [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ], 40 meter schoorsteen	Concentratie benzeen [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ], 50 meter schoorsteen
0	--	--	--	--
50	0,0001	0	0	0
100	0,0422	0,0027	0,0005	0,0002
150	0,0963	0,0189	0,0042	0,0015
200	0,1106	0,035	0,0114	0,0044
250	0,1059	0,0434	0,0179	0,0081
300	0,0951	0,0461	0,0219	0,0114
350	0,0838	0,0455	0,0239	0,0136
400	0,0733	0,0433	0,0244	0,0149
450	0,0642	0,0405	0,0241	0,0154
500	0,0566	0,0375	0,0234	0,0155
550	0,0501	0,0346	0,0224	0,0153
600	0,0446	0,0318	0,0213	0,0149
650	0,04	0,0294	0,0202	0,0144
700	0,036	0,0271	0,0191	0,0138
750	0,0327	0,0251	0,0181	0,0132
800	0,0298	0,0233	0,0171	0,0127
850	0,0273	0,0217	0,0161	0,0121
900	0,0251	0,0203	0,0153	0,0116
950	0,0232	0,019	0,0145	0,0111
1000	0,0216	0,0178	0,0138	0,0106
1050	0,0201	0,0168	0,0131	0,0101
1100	0,0188	0,0158	0,0125	0,0097
1150	0,0176	0,015	0,0119	0,0093
1200	0,0166	0,0142	0,0114	0,0089
1250	0,0156	0,0135	0,0109	0,0086
1300	0,0148	0,0128	0,0105	0,0083
1350	0,014	0,0122	0,01	0,0079
1400	0,0133	0,0117	0,0096	0,0076
1450	0,0127	0,0112	0,0093	0,0074
1500	0,0121	0,0107	0,0089	0,0071
1550	0,0116	0,0103	0,0086	0,0069
1600	0,0111	0,0098	0,0083	0,0066
1650	0,0106	0,0095	0,008	0,0064
1700	0,0102	0,0091	0,0077	0,0062
1750	0,0098	0,0088	0,0075	0,006
1800	0,0094	0,0085	0,0072	0,0058



Afstand [m]	Concentratie benzeen [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ], 20 meter schoorsteen	Concentratie benzeen [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ], 30 meter schoorsteen	Concentratie benzeen [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ], 40 meter schoorsteen	Concentratie benzeen [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ], 50 meter schoorsteen
1850	0,0091	0,0082	0,007	0,0057
1900	0,0088	0,0079	0,0068	0,0055
1950	0,0085	0,0076	0,0066	0,0053
2000	0,0082	0,0074	0,0064	0,0052
2050	0,0079	0,0071	0,0062	0,005
2100	0,0076	0,0069	0,006	0,0049
2150	0,0074	0,0067	0,0059	0,0048
2200	0,0072	0,0065	0,0057	0,0046
2250	0,007	0,0063	0,0055	0,0045
2300	0,0068	0,0062	0,0054	0,0044
2350	0,0066	0,006	0,0053	0,0043
2400	0,0064	0,0058	0,0051	0,0042
2450	0,0062	0,0057	0,005	0,0041
2500	0,0061	0,0055	0,0049	0,004
2550	0,0059	0,0054	0,0048	0,0039
2600	0,0057	0,0052	0,0047	0,0038
2650	0,0056	0,0051	0,0046	0,0037
2700	0,0055	0,005	0,0045	0,0037
2750	0,0053	0,0049	0,0044	0,0036
2800	0,0052	0,0048	0,0043	0,0035
2850	0,0051	0,0047	0,0042	0,0034
2900	0,005	0,0046	0,0041	0,0034
2950	0,0049	0,0045	0,004	0,0033
3000	0,0048	0,0044	0,0039	0,0032
3050	0,0047	0,0043	0,0038	0,0032
3100	0,0046	0,0042	0,0038	0,0031
3150	0,0045	0,0041	0,0037	0,003
3200	0,0044	0,004	0,0036	0,003
3250	0,0043	0,0039	0,0036	0,0029
3300	0,0042	0,0039	0,0035	0,0029
3350	0,0041	0,0038	0,0034	0,0028
3400	0,0041	0,0037	0,0034	0,0028
3450	0,004	0,0036	0,0033	0,0027
3500	0,0039	0,0036	0,0032	0,0027
3550	0,0038	0,0035	0,0032	0,0026
3600	0,0038	0,0035	0,0031	0,0026
3650	0,0037	0,0034	0,0031	0,0025
3700	0,0036	0,0033	0,003	0,0025
3750	0,0036	0,0033	0,003	0,0025
3800	0,0035	0,0032	0,0029	0,0024

Afstand [m]	Concentratie benzeen [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ], 20 meter schoorsteen	Concentratie benzeen [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ], 30 meter schoorsteen	Concentratie benzeen [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ], 40 meter schoorsteen	Concentratie benzeen [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ], 50 meter schoorsteen
3850	0,0035	0,0032	0,0029	0,0024
3900	0,0034	0,0031	0,0028	0,0024
3950	0,0033	0,0031	0,0028	0,0023
4000	0,0033	0,003	0,0028	0,0023
4050	0,0032	0,003	0,0027	0,0022
4100	0,0032	0,0029	0,0027	0,0022
4150	0,0031	0,0029	0,0026	0,0022
4200	0,0031	0,0028	0,0026	0,0022
4250	0,003	0,0028	0,0026	0,0021
4300	0,003	0,0027	0,0025	0,0021
4350	0,003	0,0027	0,0025	0,0021
4400	0,0029	0,0027	0,0025	0,002
4450	0,0029	0,0026	0,0024	0,002
4500	0,0028	0,0026	0,0024	0,002
4550	0,0028	0,0026	0,0024	0,002
4600	0,0028	0,0025	0,0023	0,0019
4650	0,0027	0,0025	0,0023	0,0019
4700	0,0027	0,0025	0,0023	0,0019
4750	0,0026	0,0024	0,0022	0,0019
4800	0,0026	0,0024	0,0022	0,0018
4850	0,0026	0,0024	0,0022	0,0018
4900	0,0025	0,0023	0,0021	0,0018
4950	0,0025	0,0023	0,0021	0,0018
5000	0,0025	0,0023	0,0021	0,0017

Tabel B1.2, Jaargemiddelde benzeenconcentratie bij een emissievracht van 500 g/uur en een ruwheidslengte van 1 meter

Afstand [m]	Concentratie benzeen [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ], 20 meter schoorsteen	Concentratie benzeen [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ], 30 meter schoorsteen	Concentratie benzeen [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ], 40 meter schoorsteen	Concentratie benzeen [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ], 50 meter schoorsteen
0	--	--	--	--
50	0,0152	0	0	0
100	0,1864	0,028	0,0022	0,0002
150	0,1934	0,0748	0,0199	0,0046
200	0,1598	0,0878	0,0368	0,0141
250	0,1289	0,0842	0,0442	0,0217
300	0,1052	0,0752	0,0456	0,0256
350	0,0871	0,066	0,0439	0,0269



Afstand [m]	Concentratie benzeen [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ], 20 meter schoorsteen	Concentratie benzeen [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ], 30 meter schoorsteen	Concentratie benzeen [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ], 40 meter schoorsteen	Concentratie benzeen [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ], 50 meter schoorsteen
400	0,0733	0,0577	0,041	0,0268
450	0,0625	0,0506	0,0376	0,0259
500	0,054	0,0447	0,0344	0,0246
550	0,0472	0,0397	0,0314	0,0233
600	0,0417	0,0355	0,0288	0,0219
650	0,0372	0,032	0,0265	0,0205
700	0,0334	0,029	0,0245	0,0193
750	0,0302	0,0265	0,0227	0,0181
800	0,0275	0,0244	0,021	0,017
850	0,0252	0,0226	0,0196	0,016
900	0,0233	0,0209	0,0183	0,0151
950	0,0216	0,0195	0,0172	0,0143
1000	0,0201	0,0182	0,0161	0,0135
1050	0,0188	0,0171	0,0152	0,0128
1100	0,0175	0,0161	0,0143	0,0122
1150	0,0165	0,0151	0,0136	0,0116
1200	0,0155	0,0143	0,0129	0,011
1250	0,0146	0,0135	0,0122	0,0105
1300	0,0138	0,0128	0,0116	0,0101
1350	0,0131	0,0122	0,0111	0,0096
1400	0,0125	0,0116	0,0106	0,0092
1450	0,0119	0,0111	0,0101	0,0088
1500	0,0113	0,0106	0,0097	0,0085
1550	0,0108	0,0101	0,0093	0,0082
1600	0,0103	0,0097	0,0089	0,0079
1650	0,0099	0,0093	0,0086	0,0076
1700	0,0095	0,0089	0,0082	0,0073
1750	0,0091	0,0086	0,0079	0,007
1800	0,0087	0,0083	0,0076	0,0068
1850	0,0084	0,008	0,0074	0,0066
1900	0,0081	0,0077	0,0071	0,0064
1950	0,0078	0,0074	0,0069	0,0061
2000	0,0075	0,0072	0,0067	0,006
2050	0,0073	0,0069	0,0064	0,0058
2100	0,007	0,0067	0,0062	0,0056
2150	0,0068	0,0065	0,006	0,0054
2200	0,0066	0,0063	0,0059	0,0053
2250	0,0064	0,0061	0,0057	0,0051
2300	0,0062	0,0059	0,0055	0,005
2350	0,006	0,0057	0,0054	0,0049



Afstand [m]	Concentratie benzeen [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ], 20 meter schoorsteen	Concentratie benzeen [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ], 30 meter schoorsteen	Concentratie benzeen [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ], 40 meter schoorsteen	Concentratie benzeen [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ], 50 meter schoorsteen
2400	0,0058	0,0056	0,0052	0,0047
2450	0,0057	0,0054	0,0051	0,0046
2500	0,0055	0,0053	0,0049	0,0045
2550	0,0054	0,0051	0,0048	0,0044
2600	0,0052	0,005	0,0047	0,0043
2650	0,0051	0,0049	0,0046	0,0042
2700	0,0049	0,0047	0,0045	0,0041
2750	0,0048	0,0046	0,0044	0,004
2800	0,0047	0,0045	0,0043	0,0039
2850	0,0046	0,0044	0,0042	0,0038
2900	0,0045	0,0043	0,0041	0,0037
2950	0,0044	0,0042	0,004	0,0036
3000	0,0043	0,0041	0,0039	0,0035
3050	0,0042	0,004	0,0038	0,0035
3100	0,0041	0,0039	0,0037	0,0034
3150	0,004	0,0038	0,0036	0,0033
3200	0,0039	0,0038	0,0036	0,0033
3250	0,0038	0,0037	0,0035	0,0032
3300	0,0037	0,0036	0,0034	0,0031
3350	0,0037	0,0035	0,0033	0,0031
3400	0,0036	0,0035	0,0033	0,003
3450	0,0035	0,0034	0,0032	0,0029
3500	0,0034	0,0033	0,0032	0,0029
3550	0,0034	0,0033	0,0031	0,0028
3600	0,0033	0,0032	0,003	0,0028
3650	0,0033	0,0031	0,003	0,0027
3700	0,0032	0,0031	0,0029	0,0027
3750	0,0031	0,003	0,0029	0,0026
3800	0,0031	0,003	0,0028	0,0026
3850	0,003	0,0029	0,0028	0,0025
3900	0,003	0,0029	0,0027	0,0025
3950	0,0029	0,0028	0,0027	0,0025
4000	0,0029	0,0028	0,0026	0,0024
4050	0,0028	0,0027	0,0026	0,0024
4100	0,0028	0,0027	0,0025	0,0023
4150	0,0027	0,0026	0,0025	0,0023
4200	0,0027	0,0026	0,0025	0,0023
4250	0,0027	0,0025	0,0024	0,0022
4300	0,0026	0,0025	0,0024	0,0022
4350	0,0026	0,0025	0,0023	0,0022





Afstand [m]	Concentratie benzeen [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ], 20 meter schoorsteen	Concentratie benzeen [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ], 30 meter schoorsteen	Concentratie benzeen [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ], 40 meter schoorsteen	Concentratie benzeen [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ], 50 meter schoorsteen
4400	0,0025	0,0024	0,0023	0,0021
4450	0,0025	0,0024	0,0023	0,0021
4500	0,0025	0,0023	0,0022	0,0021
4550	0,0024	0,0023	0,0022	0,002
4600	0,0024	0,0023	0,0022	0,002
4650	0,0024	0,0022	0,0021	0,002
4700	0,0023	0,0022	0,0021	0,002
4750	0,0023	0,0022	0,0021	0,0019
4800	0,0023	0,0021	0,0021	0,0019
4850	0,0022	0,0021	0,002	0,0019
4900	0,0022	0,0021	0,002	0,0018
4950	0,0022	0,0021	0,002	0,0018
5000	0,0021	0,002	0,0019	0,0018



## Bijlage 2

## Invoer schoorsteen

## Benzeen asfaltmenginstallaties schoorsteen Schoorsteen

---

Model: 50 meter  
Verspeidingsberekeningen benzeen - RL 0,1 - Verspeidingsberekeningen benzeen  
Groep: (hoofdgroep)  
Lijst van Schoorstenen, voor rekenmethode Luchtkwaliteit - STACKS

Groep	ItemID	Grp.ID	Datum	Naam	Omschr.	Vorm	X	Y	Hoogte	Rel.H	Int.diam.	Ext.diam.	Emis NOx	Emis PM10
--	1	0	13:29, 18 dec 2018	1	1	Punt	202451,37	440322,19	50,00	50,00	1,50	1,60	0,00000000	0,00000000

## Benzeen asfaltmenginstallaties schoorsteen Schoorsteen

---

Model: 50 meter  
Verspeidingsberekeningen benzeen - RL 0,1 - Verspeidingsberekeningen benzeen  
Groep: (hoofdgroep)  
Lijst van Schoorstenen, voor rekenmethode Luchtkwaliteit - STACKS

Groep	Emis SO2	Emis Benz	Emis BaP	Emis CO	Emis Pb	Emis PM2.5	Emis EC	Flux	Gas temp	Warmte	%NO2	Geb.bron	Bedr. uren	00-01	01-02	02-03
--	0,00000000	0,00013889	0,00000000	0,00000000	0,00000000	0,00000000	0,00000000	27,780	285,0	0,000	5,00	Nee	2500,00	False	False	False

## Benzeen asfaltmenginstallaties schoorsteen Schoorsteen

---

Model: 50 meter  
Verspeidingsberekeningen benzeen - RL 0,1 - Verspeidingsberekeningen benzeen  
Groep: (hoofdgroep)  
Lijst van Schoorstenen, voor rekenmethode Luchtkwaliteit - STACKS

Groep	03-04	04-05	05-06	06-07	07-08	08-09	09-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18	18-19	19-20	20-21	21-22	22-23	23-24	Monday	Tuesday
--	False	False	False	True	True	True	True	True	True	True	True	True	True	True	True	False	False	False	False	False	False	True	True

## Benzeen asfaltmenginstallaties schoorsteen Schoorsteen

---

Model: 50 meter  
Verspeidingsberekeningen benzeen - RL 0,1 - Verspeidingsberekeningen benzeen  
Groep: (hoofdgroep)  
Lijst van Schoorstenen, voor rekenmethode Luchtkwaliteit - STACKS

Groep	Wednesday	Thursday	Friday	Saturday	Sunday	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December
--	True	True	True	False	False	True	True	True	True	True	True	True	True	True	True	True	True