

Rapport

Hoogwaardige fietsroute Hugo de Grootstraat - Valckenierstraat

Pilot Schoon en Emissieloos Bouwen

Klant : Gemeente Arnhem
Referentie : BG4228-MI-RP-221130
Status : Definitief
Datum: : 30 november 2022

HASKONINGDHV NEDERLAND B.V.

Jonkerbosplein 52
6534 AB Nijmegen
Mobility & Infrastructure
Trade register number: 56515154

+31 88 348 70 00 **T**
info@rhdhv.com **E**
royalhaskoningdhv.com **W**

Titel document : Hoogwaardige fietsroute Hugo de Grootstraat - Valckenierstraat

Ondertitel : Pilot Schoon en Emissieloos Bouwen

Referentie : BG4228-MI-RP-221130

Status: Definitief

Datum : 30 november 2022

Classificatie : Project gerelateerd

Projectnaam : Pilot SEB Hugo de Grootstraat

Projectnummer: BG4228-131-100

Auteur(s): Peter Gosselink
Adviseur Duurzaamheid
T: 06 460 88 692 E: peter.gosselink@rhdhv.com

Getoetst : Ronald Groen
Adviseur Lucht & Klimaat

Akkoord voor vrijgave : Dennis Oude Wesselink
Projectleider

Namens deze,

Peter Gosselink
Adviseur Duurzaamheid

Paraaf:  -

Nijmegen, 30 november 2022

Behoudens andersluidende afspraken met de Opdrachtgever, mag niets uit dit document worden verveelvoudigd of openbaar gemaakt of worden gebruikt voor een ander doel dan waarvoor het document is vervaardigd. HaskoningDHV Nederland B.V. aanvaardt geen enkele verantwoordelijkheid of aansprakelijkheid voor dit document, anders dan jegens de Opdrachtgever.

Let op: dit document bevat mogelijk persoonsgegevens van medewerkers van HaskoningDHV Nederland B.V.. Voordat publicatie plaatsvindt (of anderszins openbaarmaking), dient dit document te worden geanonimiseerd of dient toestemming te worden verkregen om dit document met persoonsgegevens te publiceren. Dit hoeft niet als wet- of regelgeving anonimiseren niet toestaat.

Inhoud

| Hoofdstuk | | Blad |
|------------------|--|-----------|
| 1 | Inleiding | 1 |
| 1.1 | Aanleiding en doel van het onderzoek | 1 |
| 2 | Onderzoeksscope en definities | 2 |
| 2.1 | Onderzoeksscope | 2 |
| 2.2 | Directe en indirecte emissies | 2 |
| 2.3 | Stikstofdepositie | 2 |
| 2.4 | Definities van mobiele werktuigen en bouwlogistiek | 3 |
| 2.5 | Definities van indicatoren | 3 |
| 2.6 | Definities van brandstoffen | 3 |
| 3 | Methodische aanpak en uitgangspunten | 4 |
| 3.1 | Rekenmethode | 4 |
| 3.2 | Rekeneenheden en parameters | 4 |
| 3.3 | Deellast | 5 |
| 3.4 | Forfaitaire vervoersafstanden | 5 |
| 3.5 | HVO | 5 |
| 3.6 | Gegevens uit het bouwproces | 5 |
| 3.7 | AUB-methode niet toegepast | 5 |
| 4 | Mobiele werktuigen | 6 |
| 4.1 | Gegevens as-built situatie | 6 |
| 4.2 | Gegevens referentie situatie | 7 |
| 4.3 | Resultaten emissieberekening | 8 |
| 5 | Bouwlogistiek | 10 |
| 5.1 | Bepaling van het aantal voertuigkilometers | 10 |
| 5.2 | Resultaten emissieberekening | 11 |
| 6 | Conclusies en aanbevelingen | 12 |
| 6.1 | Conclusies | 12 |
| 6.2 | Aanbevelingen | 12 |
| Bijlagen: | | |
| 1 | Emissiefactoren | |

1 Inleiding

1.1 Aanleiding en doel van het onderzoek

Vanuit Gemeente Arnhem zijn er grote zorgen over de luchtkwaliteit in en rond de stad. Door menselijke activiteiten (verkeer, industrie, bouw, veeteelt etc.) zijn hoge concentraties schadelijke stoffen in de lucht ontstaan. Vooral de hoge concentraties fijnstof, reactieve stikstof (verder kortweg stikstof) en broeikasgassen zijn zorgelijk. Hoge concentraties fijnstof en stikstofoxiden in de lucht kunnen bij mensen leiden tot ernstige gezondheidsschade door inademing. Wanneer stikstof neerslaat in stikstofgevoelige natuurgebieden (stikstofdepositie) dan verstoort dat het natuurlijk evenwicht tussen de planten, insecten en vogels waardoor soorten ervan verdwijnen. Arnhem ligt tegen twee stikstofgevoelige Natura 2000-gebieden aan: de Veluwe en de Rijntakken. Ook de uitstoot van broeikasgassen is schadelijk voor de mens en natuur doordat deze bijdragen aan klimaatverandering. In Nederland manifesteert zich dat in hoofdzakelijk hitte, droogte, wateroverlast (piekneerslag) en overstromingsrisico's.

Gemeente Arnhem heeft een grote verantwoordelijkheid ten aanzien van het verminderen van de uitstoot (emissies) van schadelijke stoffen die bij het uitvoeren van de openbare werken worden veroorzaakt. Om deze reden heeft de gemeente zich gecommitteerd aan het Schone Luchtakkoord en het Rijksbrede manifest Duurzaam GWW 2030.

Het Schone Lucht Akkoord (SLA) is begin 2020 gestart door het Rijk en een groot aantal decentrale overheden, met als specifiek doel om de luchtkwaliteit in Nederland permanent te verbeteren. Duurzaam GWW 2030 is een sectorbreed samenwerkingsverband waarin programmatisch uitvoering wordt gegeven aan bestuurlijk afspraken omtrent het verduurzamen van de grond-, weg- en waterbouw sector. In dat kader heeft Gemeente Arnhem vanaf oktober 2021 tot mei 2022 een pilot emissieloos bouwen uitgevoerd als onderdeel van de realisatie van een nieuw hoogwaardig fietspad in de Hugo de Grootstraat en Valckenierstraat.

Het hoogwaardige fietspad in de Hugo de Grootstraat en Valckenierstraat is een civieltechnisch werk binnen de bebouwde kom van Arnhem. Het fietspad is ongeveer 400 m lang. De werkzaamheden omvatten in hoofdzaak het opnemen van de bestaande verhardingsconstructie en het aanbrengen van een nieuwe verhardingsconstructie van asfalt en betonnen elementen (par. 5.1).

De gemeente heeft in dit project doelgericht gestuurd richting een volledig emissieloze realisatie om zodoende praktische ervaring met het emissieloos bouwen op te doen. De gemeente wil namelijk weten wat praktisch nodig is om het emissieloos bouwen mogelijk te maken, te stimuleren en te controleren. Dit om een programmatische aanpak te ontwikkelen voor het structureel emissieloos bouwen in de stad.

Het nieuwe fietspad is gerealiseerd door aannemingsbedrijf Heijmans Infra BV (verder Heijmans).

De gemeente heeft Royal HaskoningDHV (verder RHDHV) gevraagd om de resultaten uit de pilot emissieloos bouwen te onderzoeken en te rapporteren voor wat betreft de hoeveelheden uitstoot van fijnstof, stikstof en broeikasgassen die samenhangen met de inzet van mobiele werktuigen en bouwlogistiek in het project.

Het voorliggende rapport beschrijft de resultaten uit het onderzoek van RHDHV. In het rapport is een vergelijk gemaakt tussen de emissies die samenhangen met het oorspronkelijk ontwerp van de gemeente (de referentie situatie) en de emissies die samenhangen met de daadwerkelijk gerealiseerde situatie. Dit zodat de impact van de inzet van het elektrisch materieel en HVO konden worden bepaald. Dit betekent ook dat de impact van de tussentijds doorgevoerde ontwerp optimalisaties zijn meegenomen in de resultaten van het onderzoek. Hier dient rekening mee te worden gehouden bij het interpreteren van de gerapporteerde resultaten omdat de impact ervan substantieel is.

2 Onderzoeksscope en definities

2.1 Onderzoeksscope

De afgesproken onderzoeksscope omvat:

1. Inzichtelijk maken hoeveel de uitstoot is van fijnstof (PM₁₀ en PM_{2,5}), reactieve stikstof (NO_x en NH₃) en broeikasgassen (CO₂-equivalenten) die samenhangen met de inzet van mobiele werktuigen en bouwlogistiek (par. 2.4) voor het realiseren van het nieuwe fietspad in de Hugo de Grootstraat en Valckenierstraat, betreft:
 - Het oorspronkelijk ontwerp van Gemeente Arnhem (de referentie situatie) van oktober 2021.
 - De daadwerkelijk door Heijmans gerealiseerde (as-built) situatie van mei 2022.
2. Daarbij inzichtelijk maken welke mobiele werktuigen en bouwlogistiek het grootste aandeel hebben in de totale uitstoot van schadelijke stoffen.
3. Uitsluitend de werkzaamheden die Heijmans zijn opgedragen (par. 5.1). Eventuele werkzaamheden door nutsbedrijven en nevenaannemers vallen buiten de onderzoeksscope.
4. Uitsluitend de directe emissies uit eigen bron (par.2.2).

De gemeente heeft daarbij gevraagd om zoveel mogelijk aan te sluiten op de concept "Routekaart Schoon en Emissieloos Bouwen" van 17 mei 2022 en eventuele relevante verschillen met motivatie te benoemen. Informatie over de routekaart is te vinden op de website van het platform Schoon en Emissieloos Bouwen: www.opwegnaarseb.nl

2.2 Directe en indirecte emissies

Het onderzoek omvat uitsluitend de directe emissies uit de eigen emissiebronnen op de bouwlocatie en op de transportroutes (Scope 1 volgens het Greenhouse Gas Protocol). Als eigen emissiebronnen zijn beschouwd:

- Alle mobiele werktuigen op de bouwlocatie (hfd. 4) met inbegrip van het materieel van derden dat is ingehuurd voor de uitvoering van het werk.
- Alle bouwlogistiek (hfd. 5) met inbegrip van de vrachtwagens van derden (hoofdzakelijk leveranciers) die de benodigde materialen hebben aangevoerd of die de overtollige materialen hebben afgevoerd.

Indirecte emissies (Scope 2 en 3 volgens het Greenhouse Gas Protocol) in de productie- en bouwketen zijn niet meegenomen in het onderzoek. Hier is voor gekozen om de verschillende rekenmethoden die in het onderzoek zijn gehanteerd (par. 3.1) zoveel mogelijk op elkaar aan te laten sluiten en het onderzoek compact te houden. Indirecte emissiebronnen zijn bijvoorbeeld het personenvervoer van het bouwpersoneel, de energiecentrale die de stroom opwekt die nodig is voor het opladen van de elektrische werktuigen en de raffinaderijen die de brandstoffen voor het gemotoriseerde materieel produceren. En bijvoorbeeld ook de fabrieken die de materialen produceren die nodig zijn voor de realisatie van het werk en de verwerkers van het afval dat afkomstig is van het werk.

2.3 Stikstofdepositie

Het inzichtelijk maken van de stikstofdepositie (de neerslag van stikstof) in en rond Arnhem en op en langs de transportroutes naar de stad maakt nadrukkelijk geen deel uit van de onderzoeksscope. Dit is relevant om te benoemen omdat de uitstoot van stikstof op zich weinig zegt over welke hoeveelheid hiervan in welk gebied neerslaat. Er kunnen in het onderzoek dan ook geen conclusies en aanbevelingen worden gegeven voor wat betreft de daadwerkelijke impact van de stikstofemissies vanuit het bouwproject. Hiervoor is een aanvullende analyse met behulp van AERIUS nodig. AERIUS is kort gezegd een rekeninstrument van het

RIVM waarmee stikstofdepositie kan worden bepaald op basis van specifieke gegevens over de bron van de stikstof uitstoot en het omliggende gebied.

2.4 Definities van mobiele werktuigen en bouwlogistiek

Waar in dit rapport staat beschreven “mobiele werktuigen” wordt bedoeld:

- Het gemotoriseerde materieel dat op de bouwplaats wordt ingezet voor het aanbrengen, bewerken, verwijderen en/of verplaatsen van materialen, of voor het opwekken van bouwstroom (aggregaten).

Waar in dit rapport staat beschreven “bouwlogistiek” wordt bedoeld:

- Het gemotoriseerde materieel dat buiten de bouwplaats wordt ingezet voor het vervoeren van materialen vanaf de plaats van leverantie naar de bouwplaats, of vanaf de bouwplaats naar een tijdelijke opslag, verwerkingslocatie of stortplaats.

2.5 Definities van indicatoren

In het onderzoek zijn indicatoren gehanteerd voor het duiden van de mate van de emissies. In de onderstaande tabel zijn deze indicatoren weergegeven met de bijbehorende definitie.

| <i>Categorie</i> | <i>Indicator</i> | <i>Eenheid</i> | <i>Definitie</i> |
|---------------------------|-------------------------|----------------|--|
| <i>Fijnstof</i> | <i>PM₁₀</i> | <i>kg</i> | <i>Particulate Matter, fijnstof kleiner dan 10µm</i> |
| | <i>PM_{2,5}</i> | <i>kg</i> | <i>Particulate Matter, fijnstof kleiner dan 2,5µm. De gerapporteerde hoeveelheden PM_{2,5} zijn een deel uit de fractie PM₁₀.</i> |
| <i>Reactieve stikstof</i> | <i>NH₃</i> | <i>kg</i> | <i>Ammoniak</i> |
| | <i>NO_x</i> | <i>kg</i> | <i>Stikstofoxiden</i> |
| <i>Broeikasgassen</i> | <i>CO₂</i> | <i>kg</i> | <i>CO₂-equivalenten. Cumulatie van de verschillende soorten broeikasgassen, omgerekend naar de milieu-impact van CO₂</i> |

In het concept “Routekaart Schoon en Emissieloos Bouwen” worden de indicatoren, PM₁₀, NO_x en CO₂ gehanteerd. In het onderzoek heeft RHDHV die set indicatoren aangevuld met PM_{2,5} en NH₃. De reden daarvan is dat zodoende een completer beeld wordt verkregen van de fijnstof en stikstof uitstoot. Dat kan nodig zijn voor bijvoorbeeld het bepalen van de gevolgschade van de uitstoot en het beprijzen van de milieueffecten voor bijvoorbeeld een eenpuntsscore. 1 kg NH₃ verschilt namelijk in de humaan- en ecotoxicologische effecten ten opzichte van 1 kg NO_x evenals 1 kg PM_{2,5} ten opzichte van 1 kg PM₁₀.

2.6 Definities van brandstoffen

Waar in dit rapport staat vermeld “diesel” wordt bedoeld:

- Fossiele diesel. Diesel gewonnen uit aardolie.

Waar in dit rapport staat vermeld “HVO” wordt bedoeld:

- 100% Hydrotreated Vegetable Oil (HVO100). Een biodiesel geproduceerd uit plantaardige oliën, afval, restoliën en vetten (bijvoorbeeld afgewerkt frituurvet).

3 Methodische aanpak en uitgangspunten

3.1 Rekenmethode

In het onderzoek zijn twee verschillende rekenmethoden naast elkaar gehanteerd: AERIUS 2020 voor het bepalen van de fijnstof en stikstof emissies en het Greenhouse Gas Protocol (ghgprotocol.org) voor het bepalen van de CO₂ emissies. In de onderstaande tabel is hiervan het overzicht weergegeven.

| Onderdeel | Indicator | Methode | Bron emissiefactoren |
|--------------------|---------------------------------------|---------------------------------|---|
| Mobiele werktuigen | PM ₁₀ en PM _{2,5} | AERIUS 2020 | Dieselnet.com - Emission Standards, EU: Nonroad Engines, november 2021 GCN-rapport 2014: de verhouding PM _{2,5} / PM ₁₀ bedraagt voor mobiele werktuigen 95% |
| | NO _x en NH ₃ | AERIUS 2020 | TNO - Mobiliteit & Logistiek, Roadmaps, Sustainable Traffic en Transport, Emissiefactoren voor stikstofdepositie berekeningen, november 2021 |
| | CO ₂ | Greenhouse Gas Protocol Scope 1 | www.CO2emissiefactoren.nl |
| Bouwlogistiek | PM ₁₀ en PM _{2,5} | AERIUS 2020 | Methods report for calculating the emissions of transport in the Netherlands, version 2019, Klein et al. - Road traffic (3.17, 3.20 en 3.29) |
| | NO _x en NH ₃ | AERIUS 2020 | De emissies PM ₁₀ zijn inclusief slijtage van voertuigbanden, remmen etc. |
| | CO ₂ | Greenhouse Gas Protocol Scope 1 | www.CO2emissiefactoren.nl |

3.2 Rekeneenheden en parameters

De volgende rekeneenheden en parameters zijn in het onderzoek gehanteerd:

| Onderdeel | Indicator | Rekeneenheid | Parameters |
|--------------------|---------------------------------------|----------------------------|---|
| Mobiele werktuigen | PM ₁₀ en PM _{2,5} | kg per uur | <ul style="list-style-type: none"> Materieel specificaties (type) Soort brandstofverbruik Vermogensklasse Emissieklasse Deellast |
| | NO _x en NH ₃ | kg per uur | |
| | CO ₂ | kg per uur | |
| Bouwlogistiek | PM ₁₀ en PM _{2,5} | kg per vtgkm ¹⁾ | <ul style="list-style-type: none"> Specificaties vervoersmodaliteit Soort energiedrager Vermogensklasse Emissieklasse |
| | NO _x en NH ₃ | kg per vtgkm ¹⁾ | |
| | CO ₂ | kg per vtgkm ¹⁾ | |

¹⁾ Voertuigkilometer (vtgkm): een kilometer die wordt afgelegd door één voertuig, ongeacht het aantal inzittenden en de lading.

In de berekening van de CO₂ emissies uit de bouwlogistiek is de gebruikelijke eenheid tonkm (het vervoer van 1 ton over 1 km) los gelaten en in plaats daarvan de eenheid voertuigkilometers (vtgkm) gehanteerd. Dit om zodoende de verschillende rekenmethoden (par. 3.1) zoveel als mogelijk op elkaar aan te laten sluiten.

3.3 Deellast

De deellast(factor) geeft aan welk deel van het motorvermogen gemiddeld wordt gebruikt wanneer het werktuig in werking is. De deellasten in dit rapport zijn overgenomen uit de TNO-data in AERIUS 2020.

3.4 Forfaitaire vervoersafstanden

In het onderzoek zijn forfaitaire vervoersafstanden aangehouden volgens de Bepalingsmethode Milieuprestatie Bouwwerken van Stichting Nationale Milieudatabase (milieudatabase.nl): voor bulkmaterialen 50 km, overige 150 km. De overwegingen hierbij zijn:

- De inschatting van vervoersafstanden vooraf kan per projectfase substantieel verschillen door de aannames die moeten worden gedaan. Daardoor kan een vertekend beeld ontstaan in het onderlinge vergelijk van de emissies.
- Het bijhouden en verifiëren van de daadwerkelijke transportafstanden van alle verschillende aan of af te voeren materialen, per voertuig, is een grote administratieve last voor de aannemer die vooraf niet was voorzien.

3.5 HVO

Bij het berekenen van de fijnstof en stikstof emissies is geen onderscheid gemaakt tussen diesel en HVO. De reden hiervoor is dat het gebruik van beide brandstoffen in moderne motoren geen substantieel verschil maakt voor wat betreft de uitstoot van fijnstof en stikstof. Dit blijkt uit het TNO-rapport "Onderscheidende kenmerken van brandstoftypen als alternatief voor diesel" d.d. juli 2017. In de as built situatie zijn uitsluitend moderne motoren ingezet (Euro 6, Stage 4 en 5).

3.6 Gegevens uit het bouwproces

De informatie over de hoeveelheden aan en af te voeren materiaalsoorten en de gegevens van het in te zetten materieel zijn RHDHV aangereikt door Heijmans (hfd. 4 en 5). Hoewel kan worden aangenomen dat de door Heijmans aangereikte informatie volledig en juist is kon dit niet onafhankelijk door RHDHV worden getoetst. Er is vooraf geen verificatie- en validatieprocedure voor de realisatie van het werk afgesproken.

3.7 AUB-methode niet toegepast

Tijdens het uitvoeren van het onderzoek is door TNO een nieuwe rekenmethode voor AERIUS geïntroduceerd: de AUB-methode. Deze methode gaat uit van het AdBlue¹⁾ verbruik, de uren inzet van het materieel en het brandstofverbruik. De voorgaande methode, die in het onderzoek is gehanteerd, gaat uit van het motorvermogen en de uren inzet. In overleg met Gemeente Arnhem is besloten om het onderzoek voort te zetten met de methode zoals die is gehanteerd voor de referentie situatie (AERIUS 2020). De reden hiervoor is dat voor een goed vergelijk van de emissies in de verschillende projectfasen in alle projectfasen dezelfde rekenmethode gehanteerd moet worden.

Overigens kan achteraf niet worden herleid welke impact de AUB-methode op de uitkomsten van het onderzoek zou hebben gehad. Hoewel Heijmans aangeeft dat voor de realisatie van het werk wel AdBlue is toegepast, is het verbruik ervan niet bijgehouden en achteraf niet goed in te schatten. Dit hangt samen met de benodigde administratie en informatie-uitwisseling betreft de mobiele werktuigen van derden die zijn ingehuurd voor de uitvoering van het werk en de vrachtwagens van derden (hoofdzakelijk leveranciers) die de benodigde materialen hebben aangevoerd of die de overtollige materialen hebben afgevoerd.

¹⁾ AdBlue® is de gedeponeerde handelsnaam voor een oplossing van ureum in gedemineraliseerd water. De oplossing wordt als bijvoeging (additief) gebruikt in brandstof gedreven voer- en werktuigen om deze schoner te laten werken. De vloeistof wordt geïnjecteerd in het uitlaatsysteem. In de chemische reactie die daarop plaatsvindt worden de stikstofoxiden (NOX) omgevormd tot stikstof (N₂) en waterdamp (H₂O). De uitstoot hiervan is niet schadelijk voor mens en milieu.

4 Mobiele werktuigen

In de volgende paragrafen zijn voor de as-built situatie en de referentie situatie beschreven wat de inzet is geweest van de materieeltypen, met het motorvermogen en de emissieklasse, het aantal draaiuren en verbruik van brandstof. De gegevens zijn aangereikt door Heijmans (par. 3.6).

4.1 Gegevens as-built situatie

Het elektrisch materieel dat is ingezet in de gerealiseerde situatie:

| Vermogensklasse | Materieeltype | Vermogen [kW] | Draaiuren [uren] |
|-----------------------|--|------------------|---------------------|
| Licht <19 kW | Shovel / kniklader Giant G2200E (knikmops) | 6,5 | 455 |
| | Zand trilplaat Wacker Neuson AP 2560 | 2,24 | 20 |
| | Wackerstamper AS60E | 2,24 | 24 |
| | Midigraver Limach E18.2 | 10 | 432 |
| | Bandenzaag Milwaukee MXF-CoS350-601 | Accuverm. 6,0 Ah | 80 acculadingen |
| Middelzwaar 56-130 kW | Mobiele kraan Doosan DX 165 W | 120 | 438 |
| Zwaar 130-560 kW | Veegzuigwagen DAF V65E | 350 | 10 |
| | Knijperauto Volvo FE Electric | 400 | 24 |

Heijmans heeft in totaal 16.423 kWh stroomverbruik op de bouwplaats geregistreerd. Naar schatting is hiervan 90% toe te schrijven aan het opladen van de bovenstaande lichte en middelzware werktuigen. De zware werktuigen zijn elders (niet op de bouwplaats) opgeladen waardoor het stroomverbruik van de zware werktuigen onbekend is.

Het stroomverbruik op de bouwplaats is geleverd door de gemeente. De geleverde stroom is een mix van 74% grijze en 26% groene stroom. Het opwekken van de grijze stroom in de energiecentrale (aardgas, kolen, afval) gaat gepaard met het uitstoten van fijnstof, stikstof en broeikasgassen. Dit zijn indirecte emissies. Deze vallen buiten de onderzoeksscope (par. 2.2). Om die reden is het stroomverbruik van de mobiele werktuigen verder buiten beschouwing gelaten.

Het volgende HVO gedreven materieel is ingezet in de gerealiseerde situatie van mei 2022:

| Vermogensklasse | Materieeltype | Verm. [kW] | Emissiekl. | Draaiuren [uren] | HVO | |
|-----------------------|-----------------------------------|---------------|------------|---------------------|---------|---------|
| | | | | | [l/uur] | [liter] |
| Licht <19 kW | Grote trilplaat | 18,5 | Stage 5 | 23 | 2,2 | 51 |
| Licht 37-56 kW | Tandentrilwals | 55 | Stage 4 | 17 | 6 | 102 |
| Middelzwaar 56-130 kW | Drierolwals | 56 | Stage 4 | 17 | 6 | 102 |
| | Fietspadmachine Infranology | 92 | Stage 4 | 6 | 6 | 36 |
| | Freesmachine K500 W50DC | 92 | Stage 4 | 4 | 11 | 44 |
| | Hoogwerker | 100 | Euro 6 | 2 | 5 | 10 |
| | Kleine tractor met frees / zaaim. | 114 | Stage 4 | 12 | 5 | 60 |
| | Grader | 115 | Stage 5 | 16 | 15 | 240 |
| | RAVO veegmach. Johnston | 118 | Euro 6 | 3 | 12 | 36 |
| Zwaar 130-560 kW | Dynapac 2500 | 149 | Stage 5 | 17 | 16,5 | 281 |
| | Vrachtauto markeringen | 150 | Euro 6 | 18 | 13 | 234 |

| Vermogensklasse | Materieeltype | Verm. [kW] | Emissiekl. | Draaiuren [uren] | HVO | |
|-----------------|-----------------------------------|---------------|----------------|---------------------|--------|---------|
| | | | | | [/uur] | [liter] |
| | <i>Kleefwagen</i> | 184 | <i>Euro 6</i> | 17 | 15 | 255 |
| | <i>Freesmachine K1000 W100CFI</i> | 257 | <i>Stage 4</i> | 6 | 27 | 162 |

Totaal verbruik HVO: 1.613

4.2 Gegevens referentie situatie

Het volgende diesel gedreven materieel was voorzien in oktober 2021, op basis van het referentie-ontwerp:

| Vermogensklasse | Materieeltype | Verm. [kW] | Emissiekl. | Draaiuren [uren] | Diesel | |
|------------------------------|--|---------------|-----------------|---------------------|--------|---------|
| | | | | | [/uur] | [liter] |
| <i>Licht <19 kW</i> | <i>Wackerstamper</i> | 1,8 | <i>Stage 3B</i> | 45 | 1 | 45 |
| | <i>Bandenzaag</i> | 3,2 | <i>Stage 2</i> | 18 | 1 | 18 |
| | <i>Zand trilplaat</i> | 3,6 | <i>Stage 4</i> | 20 | 3 | 60 |
| <i>Licht 19-37 kW</i> | <i>Shovel / kniklader (knikmops)</i> | 19 | <i>Stage 3B</i> | 376 | 3 | 1.128 |
| | <i>Midigraver</i> | 30 | <i>Stage 3B</i> | 133 | 3 | 399 |
| <i>Licht 37-56 kW</i> | <i>Zwenklader</i> | 45 | <i>Stage 3B</i> | 106 | 4 | 424 |
| | <i>Tandentrilwals</i> | 55 | <i>Stage 3B</i> | 32 | 5 | 160 |
| <i>Middelzwaar 56-130 kW</i> | <i>Drierolwals</i> | 56 | <i>Stage 3B</i> | 32 | 5 | 160 |
| | <i>Puinwals zelfrijdend</i> | 60 | <i>Stage 4</i> | 9 | 5 | 45 |
| | <i>Fietspadmachine asfalt</i> | 92 | <i>Stage 3B</i> | 32 | 6 | 192 |
| | <i>Fietspadmachine Infranology</i> | 92 | <i>Stage 4</i> | 6 | 6 | 36 |
| | <i>Kleine tractor met frees / zaaim.</i> | 114 | <i>Stage 4</i> | 12 | 5 | 60 |
| | <i>Grader</i> | 115 | <i>Stage 3B</i> | 12 | 15 | 180 |
| | <i>Mobiele kraan</i> | 120 | <i>Stage 3B</i> | 263 | 14 | 3.682 |
| <i>Zwaar 130-560 kW</i> | <i>Asfaltset groot</i> | 149 | <i>Stage 3B</i> | 32 | 29 | 928 |
| | <i>Veegmachine groot</i> | 184 | <i>Euro 4</i> | 16 | 15 | 240 |
| | <i>Kleefwagen</i> | 184 | <i>Euro 4</i> | 26 | 22,5 | 585 |
| | <i>Vrachtauto markeringen</i> | 184 | <i>Euro 4</i> | 18 | 10 | 180 |
| | <i>Freesmachine K1000</i> | 257 | <i>Stage 3B</i> | 15 | 30 | 450 |
| <i>Stationair</i> | <i>Aggregaat 36 kVA</i> | 36 | <i>Stage 3B</i> | 660 | 6 | 3.960 |

Totaal verbruik diesel: 12.932

Note: Stage 3B geldt vanaf een vermogen van 37 kW en Stage 4 vanaf 56 kW.

4.3 Resultaten emissieberekening

In de onderstaande tabel zijn de berekende emissiereducties vermeld voor de as-built situatie en de referentie situatie.

| | <i>Emissies in kg</i> | | | | |
|---|------------------------|-------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| | <i>PM₁₀</i> | <i>PM_{2,5}</i> | <i>NO_x</i> | <i>NH₃</i> | <i>CO₂</i> |
| <i>Emissies referentie-ontwerp (diesel)</i> | 10,6 | 10,3 | 286,5 | 0,12 | 34.360 |
| <i>Emissies as-built situatie (elektrisch + HVO)</i> | 0,30 | 0,28 | 12,9 | 0,10 | 61 |
| <i>Reductie ten opzichte van het referentie-ontwerp</i> | -97 % | -97 % | -96 % | -12 % | -99,8 % |

De berekende emissies zijn gebaseerd op de door Heijmans aangereikte gegevens en de emissiewaarden in bijlage 1, par. 1.1 en 1.2.

In de realisatiefase is 12.932 liter diesel bespaard. In plaats daarvan is 1.613 liter HVO verbruikt en een buiten beschouwing gelaten hoeveelheid grijze stroom (par. 2.2).

De bovenstaande resultaten zijn bereikt door doelgerichte sturing richting volledig emissieloos bouwen:

- Door het civieltechnisch ontwerp van het fietspad te optimaliseren. Bijvoorbeeld door een slimmere asfaltconstructie te ontwerpen zodat minder asfalt nodig is en zodoende het aantal draaiuren van de mobiele werktuigen substantieel is beperkt: -315 draaiuren (-17 %).
- Door HVO als brandstof te gebruiken in plaats van diesel: -98,6 % CO₂ (tank-to-wheel, branchegemiddelde emissiefactor). Het gebruik van HVO als brandstof is uitsluitend effectief voor de CO₂ reductie (par. 3.5).
- Door een bouwaansluiting op het publieke elektriciteitsnetwerk te realiseren zodat geen dieselaggregaat op de bouwplaats nodig was voor de bouwstroom en het opladen van de elektrische werktuigen. De besparing van emissies ten opzichte van de totale hoeveelheden:
-4,8 kg PM₁₀ -60,6 kg NO_x en -10.522 kg CO₂

De grootste directe emissiebronnen in de as-built situatie (mei 2022):

| Emissiebron | Verm. [kW] | Emissie klasse | Uitstoot totaal aantal draaiuren | | | | |
|--|---------------|-------------------|----------------------------------|---------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| | | | PM ₁₀ [kg] | PM _{2,5} [kg] | NO _x [kg] | NH ₃ [kg] | CO ₂ [kg] |
| Totale hoeveelheid van al het materieel → | | | 0,30 | 0,28 | 12,9 | 0,10 | 61 |
| Grote trilplaat | 18,5 | Stage 5 | 0,09 | 0,09 | 1,5 | 0,00 | 1 |
| Tandentrilwals | 55 | Stage 4 | 0,01 | 0,01 | 1,9 | 0,00 | 4 |
| Grader | 115 | Stage 5 | 0,03 | 0,03 | 1,3 | 0,00 | 9 |
| Dynapac 2500 | 149 | Stage 5 | 0,04 | 0,04 | 1,8 | 0,00 | 11 |
| Vrachtauto markeringen | 150 | Euro 6 | 0,01 | 0,01 | 1,4 | 0,04 | 9 |
| Kleefwagen | 184 | Euro 6 | 0,02 | 0,01 | 1,6 | 0,04 | 10 |

De grootste directe emissiebronnen in de referentie situatie (oktober 2021):

| Emissiebron | Verm. [kW] | Emissie klasse | Uitstoot totaal aantal draaiuren | | | | |
|--|---------------|-------------------|----------------------------------|---------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| | | | PM ₁₀ [kg] | PM _{2,5} [kg] | NO _x [kg] | NH ₃ [kg] | CO ₂ [kg] |
| Totale hoeveelheid van al het materieel → | | | 10,6 | 10,3 | 286,5 | 0,12 | 34.360 |
| Shovel / kniklader (knikmops) | 19 | Stage 3B | 2,4 | 2,3 | 28,0 | 0,00 | 2.997 |
| Midigraver | 30 | Stage 3B | 1,7 | 1,6 | 16,4 | 0,00 | 1.060 |
| Mobiele kraan | 120 | Stage 3B | 0,7 | 0,6 | 102,6 | 0,05 | 9.783 |
| Aggregaat 36 kVA | 36 | Stage 3B | 4,8 | 4,6 | 60,6 | 0,00 | 10.522 |

Stage 3B geldt vanaf een vermogen van 37 kW en Stage 4 vanaf 56 kW.

5 Bouwlogistiek

5.1 Bepaling van het aantal voertuigkilometers

In de onderstaande tabel zijn de hoeveelheden met transportafstanden vermeld van de materiaalsoorten die voor de realisatie van het werk zijn aangevoerd en/of afgevoerd. Op basis van deze gegevens zijn de voertuigkilometers (par. 3.2) en de emissies uit de bouwlogistiek berekend.

De vrachtwagens van de leveranciers die de materialen van en naar het werk hebben vervoerd zijn in het onderzoek beschouwd als materieel van Heijmans en dus gerekend als directe emissiebronnen (par. 2.2).

Gronddoek, kolken, rioolbuizen, verkeersborden etc. zijn hier buiten beschouwing gelaten gezien het geringe aandeel ervan in het totaal van de vervoersprestaties.

De hoeveelheden van de materiaalsoorten zijn aangereikt door Heijmans (par. 3.6).

De vermelde transportafstanden zijn forfaitair volgens de Bepalingsmethode Milieuprestatie Bouwwerken: bulkmaterialen 50 km, overige 150 km (par. 3.5). Deze afstanden zijn enkele reis. Gerekend is met de heen en terugreis. Bij het bepalen van het totaal aantal voertuigkilometers is voor de terugreis dezelfde afstand gerekend voor de heenreis.

| Materiaal <i>Materiaal</i> soort | Transport <i>Forfaitaire afstand</i> [km] | As-built situatie ¹⁾ | | Referentie situatie ²⁾ | |
|--|--|---|---|---|---|
| | | <i>Aanvoeren en aanbrengen</i> [ton] | <i>Opnemen en afvoeren</i> [ton] | <i>Aanvoeren en aanbrengen</i> [ton] | <i>Opnemen en afvoeren</i> [ton] |
| Zand en grond | 50 | 472 | 1.083 | 1.111 | 1.239 |
| Puin / menggranulaat voor fundering | 50 | 992 | 433 | 694 | 1.075 |
| Bomengranulaat | 50 | 203 | - | 121 | - |
| Betonnen straatstenen en tegels | 150 | 58 | - | 218 | - |
| Betonbanden | 150 | 62 | - | 131 | - |
| Schrale beton voor kantopsluitingen | 50 | 163 | - | 207 | - |
| Asfalt | 50 | 364 | 84 | 733 | 85 |
| Totalen | | 2.314 | 1.600 | 3.215 | 2.399 |

¹⁾ As-built: de daadwerkelijk gerealiseerde (as-built) situatie in mei 2022. ²⁾ Referentie: het referentie-ontwerp van oktober 2021.

Voor de berekening van de voertuigkilometers is uitgegaan van vrachtwagens met een laadvermogen van maximaal 26 ton, 90% beladen.

De hoeveelheid voertuigkilometers is bepaald door het aantal ritten te berekenen op basis van de belading (90% van het maximaal laadvermogen) en de uitkomst daarvan te vermenigvuldigen met de forfaitaire rijafstand heen en terug.

Op basis van de bovenstaande gegevens zijn de volgende voertuigkilometers berekend:

- As-built situatie (mei 2022): 17.758 vtgkm
- Referentie situatie (oktober 2021): 26.979 vtgkm

5.2 Resultaten emissieberekening

In de onderstaande tabel zijn de berekende emissiereducties vermeld voor de as-built situatie en de referentie situatie.

| | <i>Emissies in kg</i> | | | | |
|---|------------------------|-------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| | <i>PM₁₀</i> | <i>PM_{2,5}</i> | <i>NO_x</i> | <i>NH₃</i> | <i>CO₂</i> |
| <i>Emissies referentie-ontwerp (diesel)</i> | 3,8 | 1,1 | 164,0 | 2,3 | 21.505 |
| <i>Emissies as-built situatie (HVO)</i> | 2,5 | 0,7 | 108,0 | 1,5 | 222 |
| <i>Reductie ten opzichte van het referentie-ontwerp</i> | -34 % | -34 % | -34 % | -34 % | -99 % |

De berekende emissies zijn gebaseerd op de door Heijmans aangereikte gegevens en de emissiewaarden in bijlage 1, par. 2.1 en 2.2.

De bovenstaande resultaten zijn bereikt door doelgerichte sturing richting volledig emissieloos bouwen:

- Door het civieltechnisch ontwerp van het fietspad te optimaliseren. Bijvoorbeeld door een slimmere asfaltconstructie te ontwerpen zodat minder asfalt nodig is en zodoende het aantal voertuigkilometers substantieel is beperkt: -9.221 vtgkm (-34 %).
- Door HVO als brandstof te gebruiken in plaats van diesel: -98,6 % CO₂ (tank-to-wheel, branchegemiddelde emissiefactor). Het gebruik van HVO als brandstof is uitsluitend effectief voor de CO₂ reductie (par. 3.5).

6 Conclusies en aanbevelingen

6.1 Conclusies

In de onderstaande tabel is het totaal van de resultaten uit de as-built situatie vermeld in vergelijking met de resultaten uit de referentie situatie, op basis van de resultaten uit hoofdstuk 4 en 5.

| | <i>Fijnstof</i> | | <i>Reactieve stikstof</i> | | <i>Broeikasgas</i> |
|---------------------------|------------------------|-------------------------|---------------------------|-----------------------|-----------------------|
| | <i>PM₁₀</i> | <i>PM_{2,5}</i> | <i>NO_x</i> | <i>NH₃</i> | <i>CO₂</i> |
| <i>Mobiele werktuigen</i> | -10,3 kg -97 % | -10,0 kg -97 % | -273,7 kg -96 % | -0,01 kg -12 % | -34.299 kg -99,8 % |
| <i>Bouwlogistiek</i> | -1,3 -34 % | -0,4 kg -34 % | -56,1 kg -34 % | -0,8 kg -34 % | -21.283 kg -99 % |
| <i>Totaal</i> | -11,6 -80 % | -10,4 kg -91 % | -329,7 kg -73 % | -0,8 kg -33 % | -55.582 kg -99 % |

Uit de bovenstaande tabel zijn substantiële reducties van de verschillende emissies af te leiden: -80 % fijnstof, -73 % stikstofoxiden en -99 % CO₂. Dit is voor het grootste deel toe te schrijven aan de inzet van elektrische werktuigen. HVO heeft daar voor de CO₂ emissies substantieel aan bijgedragen (-98,6 %). Daarbij hebben de optimalisaties van het civieltechnisch ontwerp een grote invloed gehad op het verminderen van de uitstoot van zowel fijnstof, stikstof als broeikasgassen. Dit doordat substantieel minder materialen aan- en afgevoerd zijn dan in het oorspronkelijke plan was geraamd. Zodoende zijn minder draaiuren (-17 %) en minder vervoerskilometers (-34 %) gemaakt dan was voorzien.

Met de maatregelen voor de mobiele werktuigen is 12.932 liter diesel bespaard. In plaats daarvan is 1.613 liter HVO verbruikt en een buiten beschouwing gelaten hoeveelheid grijze stroom (par. 2.2). Hoeveel diesel is bespaard in de bouwlogistiek is onbekend omdat dit niet is bijgehouden door Heijmans en achteraf ook niet goed kan worden herleid uit de beschikbare gegevens.

De gerealiseerde CO₂ reductie staat gelijk aan de jaarlijkse uitstoot van 3 huishoudens, of de jaarlijkse CO₂ vastlegging door 5 hectare bos (indicatieve gemiddelden Nederland).

6.2 Aanbevelingen

RHDHV heeft de volgende aanbevelingen naar aanleiding van het uitgevoerde onderzoek.

1. Overwegen om voortaan ook de indirecte (Scope 2 en 3) emissies te onderzoeken

Buiten de onderzoeksscope zijn gehouden de indirecte emissies (par. 2.2) die bijvoorbeeld samenhangen met de productieketens van de materialen die nodig waren voor de realisatie van het werk en de emissies vanuit de (afval)verwerkingsketens betreft de materialen die van het werk zijn afgevoerd. Ook de emissies die samenhangen met het verbruik van (grijze) stroom door het ingezette materieel is buiten beschouwing gelaten. Verwacht kan worden dat de betreffende emissies wel substantieel zijn ten opzichte van het berekende totaal. Er ligt dan ook een kans om de betreffende emissies voortaan wel in beeld te brengen en daar vervolgens mitigerende maatregelen voor te onderzoeken en te implementeren.

2. Onderzoeken van potentiële maatregelen en alternatieven voor dieselaggregaten

Een van de grootste emissiebronnen in de referentie situatie was de dieselaggregaat. Doordat voor de realisatie van het werk een bouwaansluiting op het publieke elektriciteitsnet was georganiseerd, als alternatief voor de dieselaggregaat, zijn veel directe emissies voorkomen. Ten opzichte van de totale hoeveelheden: -45 % PM₁₀, -21% NO_x en -31 % CO₂. Maar het zal niet in elk bouwproject mogelijk zijn om tijdig een bouwaansluiting met voldoende laadcapaciteit te verkrijgen. Het is daarom zinvol om te

onderzoeken wat de voorwaarden en aandachtspunten zijn voor het tijdig verkrijgen van een bouwaansluiting op het publieke elektriciteitsnet zodat maatregelen kunnen worden genomen om het gebruik van een bouwaansluiting te stimuleren, als alternatief voor een diestelaggregaat. Tegelijk is het zinvol om te onderzoeken welke potentiële maatregelen voorhanden zijn om de emissies van aggregaten te beperken. Vervolgens kunnen milieutechnische eisen voor de aggregaten worden opgenomen in de bestekken. Hierbij te denken aan eisen voor het gebruik van alternatieve brandstoffen (biobrandstoffen, waterstof), groene (hybride) aggregaten die gebruik maken van zonne-energie en windenergie, het gebruik van fijnstof- en stikstofilters etc.

3. Overwegen om HVO uit te faseren

In de pilot is HVO gebruikt als vervanger van diesel. RHDHV adviseert om dit te beschouwen als een tussenstap op het transitiepad naar volledig emissieloos bouwen. Ten eerste is de inzet van HVO nauwelijks van invloed op de fijnstof en stikstof uitstoot. Wel draagt het substantieel bij aan het verminderen van de CO₂ uitstoot. Maar daar moet bij worden opgemerkt dat de CO₂ emissiefactor die in het onderzoek voor HVO is gehanteerd als een branchegemiddelde moet worden beschouwd. In de praktijk kan de CO₂ uitstoot per HVO mengsel veel verschillen van het branchegemiddelde afhankelijk van de mengselsamenstelling. Daarbij zijn niet alle HVO mengsels duurzaam van samenstelling, door bijvoorbeeld het gebruik van palmolie. De toenemende vraag naar palmolie leidt tot grootschalige ontbossing in tropische gebieden. Het is daarom zinvol om het gebruik van HVO uit te faseren in gelijke tred met de opkomst van vrachtwagens en werktuigen gedreven op groene stroom of groene waterstof.

4. AdBlue verbruik registreren

In toekomstige projecten waarbij meetbaar wordt gestuurd op het emissieloos bouwen dient het AdBlue verbruik te worden geregistreerd voor de AUB-methode in AERIUS 2021 of nieuwer (par. 3.7).

5. Invoeren van een verificatie en validatie procedure

De resultaten uit het onderzoek zijn afhankelijk van de volledigheid en juistheid van de gegevens die de aannemer heeft aangereikt (par. 3.6). RHDHV adviseert om bij het ontwikkelen van een programmatische aanpak voor het emissieloos bouwen een verificatie en validatieprocedure in te voeren met een template voor het eenduidige uitwisselen van de benodigde informatie. Dit zodat vooraf bekend is welke informatie op welk moment moet worden uitgewisseld en zodat alle informatie onafhankelijk op volledigheid en juistheid kan worden getoetst.

Bijlage 1

Emissiefactoren

1 Emissiefactoren mobiele werktuigen

1.1 Emissiefactoren fijnstof en stikstof

De volgende tabellen in de paragrafen 1.1.1 en 1.1.2 vermelden de emissiefactoren die zijn gehanteerd bij het berekenen van de emissies in de as-built situatie (mei 2022) en in de referentie situatie (oktober 2021).

Er is geen onderscheid gemaakt tussen diesel en HVO omdat een keuze in een van beide brandstoffen geen substantieel verschil geeft in de uitstoot van fijnstof en stikstof (par. 3.5).

Alle gegevens over het materieeltype, het motorvermogen en de emissieklasse zijn aangereikt door Heijmans (par. 3.6).

De rekenmethode en bronnen van de emissiefactoren zijn beschreven in paragraaf 3.1.

De in de tabellen vermelde deellasten (par. 3.5) zijn verrekend in de emissiefactoren.

1.1.1 As-built situatie

| Vermogens klasse | Materieeltype | Verm. [kW] | Emissie klasse | Deellast | Uitstoot in kg per draaiuur | | | |
|------------------|-----------------------------------|------------|----------------|----------|-----------------------------|-------------------|-----------------|-----------------|
| | | | | | PM ₁₀ | PM _{2,5} | NO _x | NH ₃ |
| < 19 kW | Grote trilplaat | 18,5 | Stage 5 | 55% | 0,0041 | 0,0039 | 0,0659 | 0,0000 |
| 37-56 kW | Tandentrilwals | 55 | Stage 4 | 55% | 0,0008 | 0,0007 | 0,1112 | 0,0001 |
| 56-130 kW | Drierolwals | 56 | Stage 4 | 55% | 0,0008 | 0,0007 | 0,0303 | 0,0001 |
| | Fietspadmachine Infranology | 92 | Stage 4 | 76% | 0,0021 | 0,0020 | 0,0659 | 0,0002 |
| | Freesmachine K500 W50DC | 92 | Stage 4 | 84% | 0,0023 | 0,0022 | 0,0650 | 0,0002 |
| | Hoogwerker | 100 | Euro 6 | 55% | 0,0008 | 0,0008 | 0,0541 | 0,0001 |
| | Kleine tractor met frees / zaaim. | 114 | Stage 4 | 55% | 0,0019 | 0,0018 | 0,0617 | 0,0002 |
| | Grader | 115 | Stage 5 | 84% | 0,0019 | 0,0018 | 0,0813 | 0,0002 |
| | RAVO veegmach. Johnston | 118 | Euro 6 | 24% | 0,0006 | 0,0005 | 0,0617 | 0,0017 |
| 130-560 kW | Dynapac 2500 | 149 | Stage 5 | 76% | 0,0023 | 0,0022 | 0,1068 | 0,0002 |
| | Vrachtauto markeringen | 150 | Euro 6 | 24% | 0,0005 | 0,0005 | 0,0784 | 0,0021 |
| | Kleefwagen | 184 | Euro 6 | 24% | 0,0009 | 0,0008 | 0,0962 | 0,0026 |
| | Freesmachine K1000 W100CFI | 257 | Stage 4 | 84% | 0,0064 | 0,0061 | 0,1816 | 0,0004 |

Stage 3B geldt vanaf een vermogen van 37 kW en Stage 4 vanaf 56 kW.

1.1.2 Referentie situatie

| Vermogens klasse | Materieeltype | Verm. [kW] | Emissie klasse | Deellast | Uitstoot in kg per draaiuur | | | |
|------------------|-------------------------------|------------|----------------|----------|-----------------------------|-------------------|-----------------|-----------------|
| | | | | | PM ₁₀ | PM _{2,5} | NO _x | NH ₃ |
| < 19 kW | Wackerstamper | 1,8 | Stage 3B | 55% | 0,0006 | 0,0006 | 0,0102 | 0,0000 |
| | Bandenzaag | 3,2 | Stage 2 | 30% | 0,0008 | 0,0007 | 0,0101 | 0,0000 |
| | Zand trilplaat | 3,6 | Stage 4 | 55% | 0,0012 | 0,0011 | 0,0204 | 0,0000 |
| 19-37 kW | Shovel / kniklader (knikmops) | 19 | Stage 3B | 55% | 0,0063 | 0,0060 | 0,0744 | 0,0000 |
| | Midigraver | 30 | Stage 3B | 69% | 0,0125 | 0,0118 | 0,1231 | 0,0000 |
| 37-56 kW | Zwenklader | 45 | Stage 3B | 55% | 0,0007 | 0,0007 | 0,0869 | 0,0001 |

| Vermogens klasse | Materieeltype | Verm. [kW] | Emissie klasse | Deellast | Uitstoot in kg per draaiuur | | | |
|---------------------|-----------------------------------|---------------|-------------------|----------|-----------------------------|-------------------|-----------------|-----------------|
| | | | | | PM ₁₀ | PM _{2,5} | NO _x | NH ₃ |
| | Tandentriuwals | 55 | Stage 3B | 55% | 0,0008 | 0,0007 | 0,1112 | 0,0001 |
| 56-130 kW | Drierolwals | 56 | Stage 3B | 55% | 0,0008 | 0,0007 | 0,0981 | 0,0001 |
| | Puinwals zelfrijdend | 60 | Stage 4 | 0,0010 | 0,0009 | 0,0325 | 0,0001 | 0,0010 |
| | Fietspadmachine asfalt | 92 | Stage 3B | 76% | 0,0021 | 0,0020 | 0,3289 | 0,0002 |
| | Fietspadmachine Infranology | 92 | Stage 4 | 76% | 0,0021 | 0,0020 | 0,0659 | 0,0002 |
| | Kleine tractor met frees / zaaim. | 114 | Stage 4 | 55% | 0,0019 | 0,0018 | 0,0617 | 0,0002 |
| | Grader | 115 | Stage 3B | 84% | 0,0029 | 0,0027 | 0,3930 | 0,0002 |
| | Mobiele kraan | 120 | Stage 3B | 69% | 0,0025 | 0,0024 | 0,3903 | 0,0002 |
| 130-560 kW | Asfaltset groot | 149 | Stage 3B | 76% | 0,0034 | 0,0032 | 0,2992 | 0,0003 |
| | Veegmachine groot | 184 | Euro 4 | 24% | 0,0088 | 0,0084 | 0,4780 | 0,0002 |
| | Kleefwagen | 184 | Euro 4 | 24% | 0,0088 | 0,0084 | 0,4780 | 0,0002 |
| | Vrachtauto markeringen | 184 | Euro 4 | 24% | 0,0088 | 0,0084 | 0,4780 | 0,0002 |
| | Freesmachine K1000 | 257 | Stage 3B | 84% | 0,0054 | 0,0051 | 0,4908 | 0,0004 |
| Stationair | Aggregaat 36 kVA | 36 | Stage 3B | 34% | 0,0073 | 0,0069 | 0,0918 | 0,0000 |

Stage 3B geldt vanaf een vermogen van 37 kW en Stage 4 vanaf 56 kW.

1.2 Emissiefactoren broeikasgassen

1.2.1 Diesel en HVO

In deze paragraaf zijn berekend de emissiefactoren voor CO₂ betreft de mobiele werktuigen.

Bij het verbruik van 1 liter diesel komt 2,657 kg CO₂ vrij en bij het verbruik van 1 liter HVO komt 0,038 kg CO₂ vrij (bron: www.CO2emissiefactoren.nl, jan./feb. 2021). Dit betreffen uitsluitend de directe emissies, tank-to-wheel (par. 2.2). De CO₂ emissies die vrijkomen bij de winning en verplaatsing van de grondstoffen en het productieproces van diesel en HVO zijn niet inbegrepen.

Een kanttekening is dat de hierboven vermelde hoeveelheid CO₂ emissies per 1 liter HVO als branchegemiddeld moet worden beschouwd. De daadwerkelijke CO₂ emissies kunnen per HVO mengsel substantieel verschillen. Er kon geen product specifieke LCA worden overlegd van het HVO mengsel dat Heijmans heeft gebruikt.

2 Emissiefactoren bouwlogistiek

In de volgende paragrafen 2.1 en 2.2 zijn de emissiefactoren voor fijnstof, stikstof en CO₂ beschreven zoals die zijn gehanteerd voor het bepalen van de emissies vanuit de bouwlogistiek (par. 5.2). De emissiefactoren zijn in het onderzoek gerelateerd aan de eenheid voertuigkilometers (par. 3.2). Daarbij is uitgegaan van vrachtwagens 8x4 Euro 6, 350 kW motorvermogen en maximaal 26 ton laadvermogen.

2.1 Emissiefactoren fijnstof en stikstof

In de onderstaande tabel zijn de emissiefactoren voor fijnstof en stikstof vermeld betreft de bouwlogistiek. Er is hierbij geen onderscheid gemaakt tussen diesel en HVO omdat een keuze in een van beide brandstoffen geen substantieel verschil geeft in de uitstoot van fijnstof en stikstof (par. 3.5).

| Energiedrager | Uitstoot in kg per voertuigkilometer (vtgkm) | | | |
|--------------------------|--|-------------------|-----------------|-----------------|
| | PM ₁₀ | PM _{2,5} | NO _x | NH ₃ |
| Diesel én HVO (par. 3.6) | 0,1408 | 0,0390 | 6,0798 | 0,0860 |

De fijnstof en stikstof emissies zijn overeenkomstig de "Methods report for calculating the emissions of transport in the Netherlands", version 2019, Klein et al. - Road traffic (3.17, 3.20 en 3.29).

De emissies PM₁₀ zijn inclusief de slijtage van voertuigbanden, remmen etc.

2.2 Emissiefactoren broeikasgassen

In deze paragraaf zijn berekend de emissiefactoren voor CO₂ betreft de bouwlogistiek.

Als uitgangspunt is gehanteerd dat een vrachtwagen gemiddeld 30 liter diesel per 100 vtgkm verbruikt of gemiddeld 33 liter HVO per 100 vtgkm.

Bij het verbruik van 1 liter diesel komt 2,657 kg CO₂ vrij en bij het verbruik van 1 liter HVO komt 0,038 kg CO₂ vrij (bron: www.CO2emissiefactoren.nl, jan./feb. 2021). Dit betreffen uitsluitend de directe emissies, tank-to-wheel (par. 2.2). De CO₂ emissies die vrijkomen bij de winning en verplaatsing van de grondstoffen en het productieproces van diesel en HVO zijn niet inbegrepen.

Op basis van de bovenstaande gegevens zijn de in het onderzoek te hanteren CO₂ emissiefactoren:

- Diesel: $30/100 \times 2,657 = 0,7971$ kg CO₂ per vtgkm
- HVO: $33/100 \times 0,038 = 0,0125$ kg CO₂ per vtgkm

Een kanttekening is dat de hierboven vermelde hoeveelheid CO₂ emissies per 1 liter HVO als branchegemiddeld moet worden beschouwd. De daadwerkelijke CO₂ emissies kunnen per HVO mengsel substantieel verschillen. Er kon geen product specifieke LCA worden overlegd van het HVO mengsel dat Heijmans heeft gebruikt.