

## RAPPORT

# **Kosteneffectiviteit van SCR op een offshore dieselgeneratorset in opdracht van Neptune Energy Netherlands B.V.**

Klant: Neptune Energy Netherlands B.V.

Referentie: BG4094I&BRP001F01

Status: 01/Finale versie

Datum: 20 december 2018

**HASKONINGDHV NEDERLAND B.V.**

Jonkerbosplein 52  
6534 AB NIJMEGEN  
Industry & Buildings  
Trade register number: 56515154

+31 88 348 70 00 **T**  
+31 24 323 93 46 **F**  
info@rhdhv.com **E**  
royalhaskoningdhv.com **W**

Titel document: Kosteneffectiviteit van SCR op een offshore diesелgeneratorset in opdracht van Neptune Energy Netherlands B.V.

Ondertitel:

Referentie: BG4094I&BRP001F01

Status: 01/Finale versie

Datum: 20 december 2018

Projectnaam: KE assessment L10 Diesels

Projectnummer: BG4094

Auteur(s): 5.1.2.e

Opgesteld door: 5.1.2.e

Gecontroleerd door: 5.1.2.e

Datum/Initialen: 20 december 2018

Goedgekeurd door: 5.1.2.e

Datum/Initialen: 20 december 2018

Classificatie

Projectgerelateerd



## Disclaimer

*No part of these specifications/printed matter may be reproduced and/or published by print, photocopy, microfilm or by any other means, without the prior written permission of HaskoningDHV Nederland B.V.; nor may they be used, without such permission, for any purposes other than that for which they were produced. HaskoningDHV Nederland B.V. accepts no responsibility or liability for these specifications/printed matter to any party other than the persons by whom it was commissioned and as concluded under that Appointment. The integrated QHSE management system of HaskoningDHV Nederland B.V. has been certified in accordance with ISO 9001:2015, ISO 14001:2015 and OHSAS 18001:2007.*

## Inhoud

|          |                                                                     |          |
|----------|---------------------------------------------------------------------|----------|
| <b>1</b> | <b>Samenvatting</b>                                                 | <b>2</b> |
| <b>2</b> | <b>Inleiding</b>                                                    | <b>3</b> |
| <b>3</b> | <b>Milieueffecten en kosteneffectiviteit NOx emissiereductie</b>    | <b>4</b> |
| 3.1      | Dieselmotoren                                                       | 4        |
| 3.2      | Uitgangspunten SCR                                                  | 5        |
| 3.3      | Additionele emissies en kosten door toegenomen onderhoudsfrequentie | 6        |
| 3.4      | Berekeningen                                                        | 6        |
| <b>4</b> | <b>Conclusie en interpretatie</b>                                   | <b>8</b> |

## Bijlagen

1. Kosteneffectiviteitsberekening
2. Standaard berekeningswijze van de kosteneffectiviteit (Bijlage 2 Abm, behorend bij artikel 2.7)

## 1 Samenvatting

Neptune Energy Netherlands B.V. (verder Neptune Energy) heeft op een onbemand boorplatform (L10-M) twee dieselgeneratoren staan voor de elektriciteitsvoorziening op het platform. Om aan de strengere emissie-eisen te voldoen die per 01-01-2019 in gaan heeft Neptune Energy Royal HaskoningDHV gevraagd om de kosteneffectiviteit te bepalen voor de toepassing van Selectieve Katalytische Reductie (SCR) en gas-to-liquid brandstof (GTL).

In de huidige situatie, bij een deellast van 37%, wordt uit gegaan van een ongereinigde emissievracht van 3.044 kg NO<sub>x</sub>/jaar. Deze emissievracht kan worden gereduceerd door toepassen van SCR, tot een totale restemissie van 609 kg NO<sub>x</sub>/jaar, tegen een kostprijs van €529.121 per jaar. Dit resulteert in een kosteneffectiviteit van €217,3/kg NO<sub>x</sub>. Hiermee is SCR niet-kosteneffectief. De hoofdzakelijke reden van de hoge kosteneffectiviteit voor de toepassing van de SCR is de annuïteit van de kapitaalkosten. Doordat Neptune het platform per 1 januari 2023 uit bedrijf neemt is er te weinig tijd om een investering in SCR terug te verdienen.

Wanneer de dieselmotoren op 51% deellast draaien wordt uit gegaan van een emissievracht van 4.195 kg NO<sub>x</sub>/jaar. Dit kan, bij eenzelfde deellast, worden gereduceerd tot 3.971 kg NO<sub>x</sub>/jaar door toepassen van GTL. Uitgaande van een hogere brandstofprijs van €15,04/100 liter (excl. Btw), resulteert dit in een jaarlijkse investering van €29.848. Dit resulteert in een kosteneffectiviteit van €132,9/kg NO<sub>x</sub>. Hiermee is het toepassen van GTL niet-kosteneffectief. Tevens heeft het deelvermogen waarop de motoren draaien weinig invloed op de kosteneffectiviteit, omdat het enkel OPEX-kosten betreft, die direct afhankelijk zijn van het brandstofverbruik. In de onderstaande tabel zijn de kosten en effecten per optie samengevat.

Tabel 1.1: Samenvatting kosteneffectiviteit

| Onderdeel                                | Scenario |        | Eenheid                  |
|------------------------------------------|----------|--------|--------------------------|
|                                          | SCR      | GTL    |                          |
| Kosten                                   |          |        |                          |
| Kapitaalskosten                          | 468.686  | 0      | €/jaar                   |
| Bouwkundige kapitaalskosten              | 0        | 0      | €/jaar                   |
| Operationele vaste kosten                | 23.434   | 0      | €/jaar                   |
| Variabele operationele kosten            | 37.000   | 29.848 | €/jaar                   |
| <u>Totale kosten</u>                     | 529.121  | 29.848 | €/jaar                   |
| Effecten                                 |          |        |                          |
| Jaarlijkse ongereinigde vracht           | 3.044    | 4.195  | kg NO <sub>x</sub> /jaar |
| Jaarlijkse restemissie                   | 609      | 3.971  | kg NO <sub>x</sub> /jaar |
| Jaarlijkse emissies t.g.v. storingen     | 61       | 79     | kg NO <sub>x</sub> /jaar |
| <u>Totale jaarlijkse emissiereductie</u> | 2.435    | 225    | kg NO <sub>x</sub> /jaar |
| Kosteneffectiviteit                      |          |        |                          |
| <u>Kosteneffectiviteit</u>               | 217,3    | 132,9  | €/kg                     |

## 2 Inleiding

Neptune Energy Netherlands B.V. (verder Neptune Energy) heeft op een onbemand boorplatform (L10-M) twee dieselgeneratoren staan voor de elektriciteitsvoorziening op het platform. Tot voor kort werd aangenomen dat emissiereducerende maatregelen nodig waren om aan de strengere emissie-eisen te voldoen die per 01-01-2019 in gaan. Uit recente metingen aan de afgassen van de generatoren blijkt dat de generatoren aan de gestelde eisen voor een maatwerk voorschrift voldoen, namelijk een maximaal thermisch vermogen van 600 kW en een emissiegrenswaarde van maximaal 930 mg/Nm<sup>3</sup>.

Om in aanmerking te komen voor een maatwerk voorschrift dient een kosteneffectiviteitsstudie te worden uitgevoerd.

Neptune Energy heeft Royal HaskoningDHV gevraagd om de kosteneffectiviteit te bepalen voor de toepassing van Selectieve Katalytische Reductie (SCR) en gas-to-liquid brandstof (GTL).

Daarnaast is het van belang dat de operaties op het platform stoppen vanaf 1 januari 2023. Het platform heeft dan haar end-of-lifetime bereikt. Alle investeringen moeten dan ook afgewogen worden met een tijdshorizon tot 2023. Hiervoor hebben we de annuïteit in de KE berekening gecorrigeerd.

Voor het bepalen van de kosteneffectiviteit van de SCRs kijken we in deze rapportage naar de verwachte milieueffecten en de kosten van twee SCRs op de twee dieselgeneratoren. De verwachte milieueffecten en kosten vertalen we naar een kosteneffectiviteit van de maatregel via een berekening volgens het Abm, bijlage 2, behorend bij artikel 2.7. In artikel 2.7 van het Abm is voor emissies van stikstofoxiden (NO<sub>x</sub>), zwaveldioxide (SO<sub>2</sub>), vluchtige organische stoffen (VOS) en totaal stof een afwegingsgebied gegeven waarbinnen maatregelen mogelijk kosteneffectief zijn. Een maatregel is in ieder geval kosteneffectief indien de berekende KE-waarde lager is dan de laagste waarde van het afwegingsgebied. Maatregelen boven het afwegingsgebied zijn niet kosteneffectief. De afwegingsgebieden zijn:

Tabel 2.1: Afwegingsgebieden voor de kosteneffectiviteit van NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, VOS en stof

| Component       | Afwegingsgebied (€/kg) |
|-----------------|------------------------|
| NO <sub>x</sub> | 5 – 20                 |
| SO <sub>2</sub> | 5 – 10                 |
| VOS             | 8 – 15                 |
| Stof            | 8 – 15                 |

We hebben twee verschillende KE berekeningen uitgevoerd: een scenario waarin een SCR wordt toegepast bij het gebruik van diesel en het toepassen van GTL als alternatief voor diesel.

### 3 Milieueffecten en kosteneffectiviteit NO<sub>x</sub> emissiereductie

In de berekening van de kosteneffectiviteit nemen we het type maatregel, afschrijvingstermijnen, onderhoudskosten en de verwachte emissiereductie mee. Voor de investeringskosten, onderhoudskosten en onderhoudsfrequenties zijn indicatieve waarden opgegeven door Neptune Energy. Voor kosten ten gevolge van storingen zijn standaardwaarden uit het Abm gebruikt.

#### 3.1 Dieselmotoren

Neptune Energy heeft twee dieselmotoren geïnstalleerd van elk 352 kWth. Door Emissie- en Luchtkwaliteitsmetingen B.V. (ELM) is op 16-9-2018 een NO<sub>x</sub>-emissiemeting uitgevoerd aan de afgassen van de dieselmotoren op het platform. De meting is uitgevoerd bij zowel normale diesel als bij 'gas to liquid' (GTL) brandstof. De motoren zijn onlangs overgeschakeld op GTL, wat een lichte reductie in NO<sub>x</sub>-emissie tot gevolg heeft. In tabel 3.1 zijn de resultaten van de metingen samengevat. Tevens is de jaarlijkse NO<sub>x</sub> emissievracht berekend aan de hand van het deelvermogen waarop de motoren draaide tijdens de meting.

Voor het SCR-scenario wordt aangenomen dat in principe 80% van de tijd één dieselmotor aan staat op 37% belasting en dat 20% van de tijd een tweede dieselmotor bij draait, indien er additioneel vermogen nodig is, waarbij beide motoren 37% belast worden. Voor het GTL-scenario wordt aangenomen dat motoren voor 51% belast worden onder dezelfde verhouding. De gebruikte deellasten zijn gebaseerd op de meetresultaten van ELM.

Om het huidige scenario te kunnen vergelijken met de beoogde situatie op GTL, wordt de deellast van de motor op basis van GTL vergeleken met de situatie waarbij de motor op normale diesel draait, bij dezelfde deellast (van 51%). Wanneer de motor op normale diesel draait bij een deellast van 51% wordt er 4.195 kg NO<sub>x</sub>/jaar geëmitteerd naar de lucht. Dit resulteert in een beoogde reductie van 225 kg NO<sub>x</sub>.

Tabel 3.1: Kenmerken dieselmotoren op platform.

| Bron                                   | Totaal vermogen [kWth] | Deelvermogen [kWth] | Bedrijfstijd [uur] | Rookgasdebiet [Nm³/uur] | Emissiefactor <sup>1)</sup> [mg/Nm³] | Emissievracht [kg NO <sub>x</sub> /jaar] |
|----------------------------------------|------------------------|---------------------|--------------------|-------------------------|--------------------------------------|------------------------------------------|
| Diesel baseline 37%                    |                        |                     |                    |                         |                                      |                                          |
| Dieselmotor 1                          | 352                    | 131 (37%)           | 8.760              | 739,7                   | 722,1 (391,4 <sup>2)</sup> )         | 3.044                                    |
| Dieselmotor 2                          |                        |                     | 1.752              |                         |                                      |                                          |
| Diesel baseline 51% (geschat scenario) |                        |                     |                    |                         |                                      |                                          |
| Dieselmotor 1                          | 352                    | 180 (51%)           | 8.760              | 1019,6 <sup>3)</sup>    | 722,1 (391,4 <sup>2)</sup> )         | 4.195                                    |
| Dieselmotor 2                          |                        |                     | 1.752              |                         |                                      |                                          |
| GTL-Scenario                           |                        |                     |                    |                         |                                      |                                          |
| Dieselmotor 1                          | 352                    | 180 (51%)           | 8.760              | 600,4                   | 684,8 (628,3 <sup>4)</sup> )         | 3.971                                    |
| Dieselmotor 2                          |                        |                     | 1.752              |                         |                                      |                                          |

1) Bij 15% O<sub>2</sub> droog afgas.

2) Bij 17,7% O<sub>2</sub> in het rookgas (gemeten).

3) Geprojecteerd debiet

4) Bij 15,5% O<sub>2</sub> in het rookgas (gemeten).

### 3.2 Uitgangspunten SCR

Omdat de twee dieselmotoren onafhankelijk van elkaar moeten kunnen werken gaan we ervan uit dat elke motor een eigen SCR nodig heeft. Technisch gezien zal het mogelijk zijn gebruik te maken van één SCR voor de twee motoren, maar dit geeft een complexe regeling met verschillende kleppen. Voor een onbemand offshore platform is dit een ongewenste situatie gezien de storingsgevoeligheid van een dergelijke schakeling. In totaal is er € 1.485.673 begroot door Neptune Energy voor de installatie van beide SCR-systemen.

Dit ligt aan de hoge kant in vergelijking met andere kosteneffectiviteitsstudies voor NO<sub>x</sub> emissie reducerende maatregelen. Investeringskosten verschillen aanzienlijk per type en grootte installatie en lopen uiteen van enkele honderdduizenden euro's per SCR tot enkele miljoenen euro's. Kleinere installaties zijn daarbij minder kosteneffectief. Bovendien hebben we in dit geval te maken met een offshore retrofit situatie waardoor de kosten aanzienlijk hoger zijn dan bij een standaard onshore oplossing. Een uitsplitsing van de kosten is opgenomen in onderstaande tabel.

Tabel 3.2: Begroting kapitaalkosten [ opgave Neptune]

| Omschrijving                | Eerste begroting | Cumulatieve begroting | Herziende begroting |
|-----------------------------|------------------|-----------------------|---------------------|
| Detailed Engineering Design | €200.000         | €200.000              | €380.224            |
| Productie                   | €100.000         | €300.000              | €104.500            |
| Materialen                  | €150.000         | €450.000              | €244.057            |
| Installatie                 | €270.000         | €720.000              | €347.104            |
| Eigenaren TW DED/uitvoer    | €180.000         | €900.000              | €232.083            |
| Onvoorziene kosten          | €0               | €900.000              | €177.705            |
| <b>Totaal</b>               |                  |                       | <b>€1.485.673</b>   |

De werking van de SCR is als volgt: ureum wordt rechtstreeks geïnjecteerd in het rookgaskanaal. In de katalysatoren die verderop in het rookgaskanaal zijn geschakeld, wordt de NO<sub>x</sub> omgezet in N<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> en H<sub>2</sub>O. Als katalysator worden veelal de oxiden van vanadium, wolfram, molybdeen of andere metalen gebruikt, met titaandioxide als dragermateriaal. De reactie kan hierdoor bij een lagere temperatuur plaatsvinden; circa 350 graden Celsius. Gezien de kleine vermogens is een nauwkeurige insputting van belang. Te weinig ureum geeft een lage effectiviteit van de maatregel, een te grote dosering leidt tot NH<sub>3</sub> slip en mogelijke vorming van ureumkristallen in het systeem. Daarnaast is het van belang dat de ureum op voldoende hoge temperatuur wordt gehouden. Bij temperaturen lager dan 250 °C bestaat de kans dat het uitkristalliseert. Een SCR heeft een rendement van circa 80-95%<sup>1</sup>. Worst-case is daarom uitgegaan van een rendement van 80%. Opgemerkt wordt dat wanneer een efficiëntie van 95% wordt aangehouden, dit geen significant effect heeft op de kosteneffectiviteit, doordat het platform haar end-of-lifetime nadert en hierdoor de kapitaalkosten erg hoog zijn.

Een SCR vereist onderhoud. Het systeem moet regelmatig worden voorzien van nieuw ureum. Aangenomen wordt dat jaarlijks circa 25 m<sup>3</sup> ureum benodigd is. Omdat dit een beperkte hoeveelheid betreft worden zijn er geen additionele bezoeken aan het platform nodig. Aangenomen wordt dat het ureum met de reguliere leveringen wordt geleverd. Ureum kost circa €200/m<sup>3</sup>, waardoor de kosten voor ureum wordt begroot op €5.000 per jaar.

<sup>1</sup> Report EUR 27140 EN

### **3.3      Additionele emissies en kosten door toegenomen onderhoudsfrequentie**

Het onderhoud van een SCR systeem vergt tijd. Omdat het gebruik van dit soort installaties offshore een zwaardere belasting legt op het materiaal, zal het platform maandelijks worden aangedaan voor inspectie en onderhoud. Naar aanleiding van extra benodigd onderhoud is €12.000 per jaar begroot. Tevens dient twee keer per jaar de katalysator te worden vervangen, waarvoor wordt uitgegaan van €20.000 additionele kosten. In totaal is er €32.000 begroot door Neptune Energy voor het onderhoud van het SCR systeem.

Omdat het gebruik van de SCR-systemen maar beperkte extra vrachten oplevert, zijn er geen extra schepen nodig voor de levering van materialen en/of onderhoud. Extra bezoeken aan het platform kunnen verlopen middels de schepen voor reguliere levering. Er zijn daarom geen extra kosten, noch emissies ingecalculerd ten gevolge van een toegenomen onderhoudsfrequentie.

### **3.4      Berekeningen**

In Bijlage 1 zijn de berekeningen bijgevoegd. Er zijn in totaal twee KE-berekeningen uitgevoerd: één SCR-scenario en een GTL-scenario. Voor het GTL-scenario is aangenomen dat GTL €15,04 (excl. Btw) duurder is per 100 liter brandstof dan normale diesel<sup>2</sup>. De berekeningen m.b.t. de emissies zijn gebaseerd op de meetresultaten van ELM en zijn daar waar nodig gespecificeerd.

In tabel 3.3 is een overzicht gegeven van de algemene uitgangspunten die zijn gehanteerd bij de kosteneffectiviteitsberekeningen, conform Bijlage 2 van het Abm. Per (kosten-)post is weergegeven waarop de uitgangspunten gebaseerd zijn. De effecten zijn berekend aan de hand van de meetresultaten van ELM. Tenslotte is de kosteneffectiviteit berekend.

---

<sup>2</sup> <https://www.oliecentrale.nl/producten/lijstprijs-brandstoffen>. Prijs bijgewerkt op 16-11-2018

Tabel 3.3: Algemene uitgangspunten

| Onderdeel                                                                                                   | Eenheid                       | SCR                  | GTL                 | Bron                                                                                                                                           |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|----------------------|---------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>KOSTEN</b>                                                                                               |                               |                      |                     |                                                                                                                                                |
| Kapitaalkosten                                                                                              | €/jaar                        | 468.686              | n.v.t.              | Bekend middels annuïteit en de totale aanschaffings-investeringen. Opgave Neptune                                                              |
| Annuïteit van totale investeringen: (factor t.o.v. aanschaffings-investeringen + bouwkundige investeringen) | % van de totale investeringen | 0,315                | n.v.t.              | Berekend a.d.h.v. Abm, Bijlage 2 (zie Annex I). Neptune neemt het platform per 1 jan. 2023 uit bedrijf. Hiervoor is de annuïteit gecorrigeerd. |
| Vaste operationele kosten: Onderhoud                                                                        | % van de aanschafprijs        | 5%                   | n.v.t.              | Abm, Bijlage 2 (zie Annex I).                                                                                                                  |
| Vaste operationele kosten: Onderhoud                                                                        | €/jaar                        | 23.434               | n.v.t.              | Berekend als percentage (5%) van de kapitaalkosten                                                                                             |
| Vaste operationele kosten: Extra kosten brandstof                                                           | €/jaar                        | n.v.t.               | 29.848              | Inschatting RHDHV/Neptune Energy                                                                                                               |
| Reagensverbruik (ureum)                                                                                     | €/jaar                        | 5.000                | n.v.t.              | Optimum: 25 m <sup>3</sup> /jaar á 200 euro/m <sup>3</sup>                                                                                     |
| Overige variabele operationele kosten                                                                       | €/jaar                        | 32.000               | n.v.t.              | Vervangen katalyst 2x/jaar en onderhoud. Inschatting Neptune Energy                                                                            |
| Opbrengsten en besparingen                                                                                  | €/jaar                        | 0                    |                     | Aanvullende technieken leveren geen economisch voordeel op                                                                                     |
| <b>EFFECTEN</b>                                                                                             |                               |                      |                     |                                                                                                                                                |
| Emissieconcentraties                                                                                        | mg/m <sup>3</sup>             | 391,4                | 628,3               | Gemeten door ELM bij respectievelijk 17,7% en 15,5% O <sub>2</sub>                                                                             |
|                                                                                                             |                               | 722,1                | 684,8               | gecorrigeerd naar 15% O <sub>2</sub> .                                                                                                         |
| Vermogens ketels                                                                                            | MW <sub>th</sub>              | 352                  | 352                 | ELM                                                                                                                                            |
| Rookgasdebiet                                                                                               | Nm <sup>3</sup> /uur          | 740 <sup>1)</sup>    | 601 <sup>2)</sup>   | Berekening                                                                                                                                     |
| Emissieduur voor twee dieselmotoren gecombineerd.                                                           | uur/jaar                      | 10.512 <sup>3)</sup> |                     | Aanname Neptune Energy                                                                                                                         |
| NO <sub>x</sub> -jaarvracht ongereinigd                                                                     | kg/jaar                       | 3.044                | 4.195 <sup>4)</sup> | Berekening                                                                                                                                     |
| NO <sub>x</sub> -jaarvracht gereinigd/na gebruik GTL                                                        | kg/jaar                       | 609                  | 3.971               | Respectievelijk 80% en 5,4% efficiëntie. De efficiëntie van SCR is op basis van het BREF document: Report EUR 27140 EN.                        |
| Emissie ten gevolg van storingsen en onderhoud                                                              | kg/jaar                       | 61                   | 79                  | Uitgaande van een tijdsduur van storingsen/onderhoud van 2% per jaar. Dit is een standaard waarde voor de storingsfrequentie.                  |
| <b>KOSTENEFFECTIVITEIT</b>                                                                                  |                               |                      |                     |                                                                                                                                                |
| Kosteneffectiviteit                                                                                         | €/kg                          | 217,3                | 132,9               | Berekening                                                                                                                                     |

- 1) Afgasdebiet berekend op basis van stoichiometrisch rookgasvolume, bij 37% belasting, een calorische waarde van 43,0 MJ/kg van normale diesel, en teruggerekend naar 17,7 vol.% zuurstof (gemeten door ELM).
- 2) Afgasdebiet berekend op basis van stoichiometrisch rookgasvolume, bij 52% belasting, een calorische waarde van 44,0 MJ/kg<sup>3</sup> van GTL brandstof, en teruggerekend naar 15,5 vol.% zuurstof (gemeten door ELM).
- 3) Eén motor draait volcontinu. De tweede motor draait 20% van de tijd bij.
- 4) Berekend bij hetzelfde vermogen, maar bij gebruik van normale diesel. Berekend bij het emissieketal dat is bepaald voor normale diesel bij een deellast van 37% (722,1 mg/m<sup>3</sup>).

<sup>3</sup> Calorische onderwaarde voor GTL op basis van informatie-sheet van Shell, zie: [http://www.gtlfuel.nl/dbdocs/attachment\\_15.pdf](http://www.gtlfuel.nl/dbdocs/attachment_15.pdf).

## 4 Conclusie en interpretatie

In de onderstaande tabel zijn de kosten en effecten per optie samengevat. In de Bijlage I is de uitgebreide kosteneffectiviteit berekening voor de SCR opgenomen.

Tabel 4.1: Samenvatting kosteneffectiviteit

| Onderdeel                                | Scenario |        | Eenheid     |
|------------------------------------------|----------|--------|-------------|
|                                          | SCR      | GTL    |             |
| Kosten                                   |          |        |             |
| Kapitaalskosten                          | 468.686  | 0      | €/jaar      |
| Bouwkundige kapitaalskosten              | 0        | 0      | €/jaar      |
| Operationele vaste kosten                | 23.434   | 0      | €/jaar      |
| Variabele operationele kosten            | 37.000   | 29.848 | €/jaar      |
| <u>Totale kosten</u>                     | 529.121  | 29.848 | €/jaar      |
| Effecten                                 |          |        |             |
| Jaarlijkse ongereinigde vracht           | 3.044    | 4.195  | kg NOx/jaar |
| Jaarlijkse restemissie                   | 609      | 3.971  | kg NOx/jaar |
| Jaarlijkse emissies t.g.v. storingen     | 61       | 79     | kg NOx/jaar |
| <u>Totale jaarlijkse emissiereductie</u> | 2.435    | 225    | kg NOx/jaar |
| Kosteneffectiviteit                      |          |        |             |
| <u>Kosteneffectiviteit</u>               | 217,3    | 132,9  | €/kg        |

Uit tabel 4.1 kunnen we de conclusie trekken dat de kosteneffectiviteit voor beiden scenario's: SCR en GTL brandstof, ruim buiten de afwegingsgebieden vallen en hiermee niet kosteneffectief zijn. Ook als we uitgaan van een hoog rendement van 95% voor een SCNR blijft de KE aanzienlijk boven het afwegingsgebied (183,0 €/kg NO<sub>x</sub>). De hoofdzakelijke reden van de hoge kosteneffectiviteit voor de toepassing van de SCR is de annuïteit van de kapitaalkosten. Doordat Neptune het platform per 1 januari 2023 uit bedrijf neemt is er te weinig tijd om een investering in SCR terug te verdienen.

Voor GTL ligt de kosteneffectiviteit aanzienlijk hoger dan het afwegingsgebied doordat er slechts een zeer beperkte emissiereductie mee wordt bereikt, terwijl er wel aanzienlijk hogere operationele kosten tegenover staan.

## **Bijlage**

### **1. Kosteneffectiviteitsberekening**

|                                  |                                                                     |               |            |
|----------------------------------|---------------------------------------------------------------------|---------------|------------|
| Vaste parameters                 |                                                                     |               |            |
| Tijdsduur storingen en onderhoud | 2%                                                                  |               |            |
|                                  |                                                                     |               |            |
|                                  |                                                                     | <b>SCR</b>    | <b>GTL</b> |
| Algemeen                         | Stof                                                                | -             | NOx        |
|                                  | debiet afgang                                                       | Nm3/uur       | 740        |
|                                  | Maatregel                                                           | -             | SCR        |
|                                  | Range                                                               | [max/gem/min] | Base case  |
| Kosten                           | Totaal Investerings                                                 | EUR           | 1.485.673  |
|                                  | Annuiteit                                                           |               | 0,315      |
|                                  | Kapitaalkosten (meerkosten tov dieselmotoren)                       | EUR/jr        | 468.686    |
|                                  | Bouwkundige Investerings                                            | EUR           | 0          |
|                                  | Annuiteit                                                           |               | 0,315      |
|                                  | Bouwkundige kapitaalkosten                                          | EUR           | -          |
|                                  | Onderhoud                                                           | EUR/jr        | 23.434     |
|                                  | Bediening                                                           | EUR/jr        |            |
|                                  | Overige vaste operationele kosten                                   | EUR/jr        |            |
|                                  | Totale vaste operationele kosten                                    | EUR/jr        | 23.434     |
|                                  | Utilities                                                           | EUR/jr        | 37.000     |
|                                  | energie                                                             | EUR/jr        |            |
|                                  | reagens                                                             | EUR/jr        | 5.000      |
|                                  | Katalyst/filtermateriaal                                            | EUR/jr        | -          |
|                                  | Additionele kosten extra visits                                     | EUR/jr        | 32.000     |
|                                  | Reststoffenverwerking                                               | EUR/jr        |            |
|                                  | overige variable Operationele kosten                                | EUR/jr        | -          |
|                                  | Totale variable operationele kosten (additioneel tov dieselmotoren) | EUR/jr        | 37.000     |
|                                  | Totale Bruto jaarlijkse kosten                                      | EUR/jr        | 529.121    |
|                                  | Opbrengsten en besparingen                                          | EUR           |            |
|                                  | Totale Netto jaarlijkse kosten (additioneel tov dieselmotoren)      | EUR/jr        | 529.121    |
| Effecten                         | ingangconcentratie                                                  | mg/Nm3        | 391        |
|                                  | uitgangconcentratie                                                 | mg/Nm3        | 78         |
|                                  | bedrijfsuren                                                        | uur           | 10512      |
|                                  | rendement                                                           | %             | 80,0%      |
|                                  | Jaarlijkse ongereinigde vracht                                      | kg/jaar       | 3.044      |
|                                  | Ongereinigde vracht                                                 | kg/uur        | 0,29       |
|                                  | Jaarlijkse restemissies                                             | kg/jaar       | 609        |
|                                  | Jaarlijkse emissie tgv storingen                                    | kg/jaar       | 61         |
|                                  | jaarlijkse emissie tgv onderhoud                                    | kg/jaar       | 0          |
|                                  | totale jaarlijkse restemissie                                       | kg/jaar       | 670        |
|                                  | Totale jaarlijkse emissiereductie                                   | kg/jaar       | 2.435      |
| Kosteneffectiviteit              |                                                                     | €/kg          | 217,3      |

|                                                   | SCR       | Diesel baseline 51% | GTL       | Unit            |
|---------------------------------------------------|-----------|---------------------|-----------|-----------------|
| <b>Constanten</b>                                 |           |                     |           |                 |
| LHV Diesel                                        | 37        | 37                  | 34,2      | GJ/m3           |
| Dichtheid diesel                                  | 860       | 860                 | 778       | kg/m3           |
| LHV Diesel                                        | 43,0      | 43,0                | 44,0      | MJ/kg           |
| Emissiefactor NOx (dieselgenerator)               | 722       | 722                 | 685       | mg/Nm3          |
| Omrekenfactor kWh -> MJ                           | 3,6       | 3,6                 | 3,6       | MJ/kWh          |
| Investeringskosten SCR per dieselmotor            | 742.837   | 742.837             | 0         | EUR             |
| <b>Dieselgenerator</b>                            |           |                     |           |                 |
| vermogen van één dieselmotor                      | 352       | 352                 | 352       | kW              |
| Deellast                                          | 37%       | 51%                 | 51%       |                 |
| opgenomen vermogen continue motor                 | 130,24    | 179,52              | 179,52    | kWth            |
| draaiuren per jaar                                | 7008      | 7008                | 7008      | uren            |
| Brandstofverbruik                                 | 10,9      | 15,0                | 14,7      | kg/uur          |
| Zuurstofgehalte rookgas                           | 17,72     | 17,72               | 15,49     | %               |
| Brandstofverbruik                                 | 76.373    | 105.270             | 102.934   | kg/jaar         |
| Stoichiometrisch rookgasvolume                    | 10,44     | 10,44               | 10,65     | Nm3/kg fuel     |
| Rookgasvolume continuemotor                       | 5.183.702 | 7.145.102           | 4.213.169 | Nm3/jaar        |
| Vermogen indien 2 motoren draaien                 | 704       | 704                 | 704       | kW              |
| Deellast                                          | 37%       | 51%                 | 51%       |                 |
| Opgenomen vermogen bij 2 motoren                  | 260,48    | 359,04              | 359,04    | kW              |
| draaiuren per jaar                                | 1752      | 1752                | 1752      | uren            |
| Brandstofverbruik                                 | 21,8      | 30,0                | 29,4      | kg/uur          |
| Brandstofverbruik                                 | 38.186    | 52.635              | 51.467    | kg-jaar         |
| Rookgasvolume duobedrijf                          | 2.591.851 | 3.572.551           | 2.106.584 | Nm3-jaar        |
| Totaal energieverbruik                            | 1.369.083 | 1.887.114           | 1.887.114 | kWhth           |
| Totaal rookgasvolume                              | 7.775.553 | 10.717.654          | 6.319.753 | Nm3/jr          |
| brandstofconsumptie                               | 133.208   | 183.611             | 198.458   | liter/jaar      |
| brandstofconsumptie                               | 133       | 184                 | 198       | m3/jr           |
| Benodigde hoeveelheid brandstof                   | 114.559   | 157.906             | 154.400   | kg/jr           |
| NOx emissie (jaarvracht)                          | 3.044     | 4.195               | 3.971     | kg/jr           |
| debiet afgas (gemiddeld debiet over de 2 motoren) | 739,7     | 1019,6              | 601,2     | Nm3/hr          |
| Controleberekening jaarvracht obv SRGV            | 3.044     | 4.195               | 3.971     | kg              |
| <b>verbruikskosten SCR</b>                        |           |                     |           |                 |
| Extra kosten brandstof                            | 0         | 0                   | 29.848    |                 |
| Kosten Ureum                                      | € 200,00  | € 200,00            | € 200,00  | EUR/m3          |
| Verbruik Ureum                                    | 25        | 25                  | -         | m3/jaar         |
| Kosten Ureum per jaar                             | 5.000     | 5.000               | -         | EUR/jaar        |
| Kosten Adder per jaar                             |           |                     |           | EUR/jaar        |
| Totale kosten additieven                          | 5.000     | 5.000               | 29.848    |                 |
| <b>Additionele emissies tgv onderhoud</b>         |           |                     |           |                 |
| Emissiekental                                     | 1,53      | 1,53                | 1,53      | kg/uur          |
| vaarsnelheid                                      | 16,7      | 16,7                | 16,7      | km/uur          |
| afstand per visit (retour)                        | 180       | 180                 | 180       | km              |
| vaarduur                                          | 10,8      | 10,8                | 10,8      | uur             |
| Totaal add. NOx emissie                           | -         | -                   | -         | kg              |
| <b>supply</b>                                     |           |                     |           |                 |
| Leveren supplies                                  | 12000     | 12000               | 0         | EUR             |
| Uitwisselen catalyst                              | 20000     | 20000               | 0         |                 |
| Personeel                                         | 0         | 0                   | 0         |                 |
| Huur vervoermiddel                                |           |                     |           |                 |
| Totaal kosten per jaar additionele visits         | 32000     | 32000               | 0         | EUR/jaar        |
| NOx emissie bij 15% zuurstof                      | 722,1     | 722,1               | 684,8     | mg/Nm3 flue gas |
| NOx emissie bij werkelijke % zuurstof             | 391,4     | 391,4               | 628,3     |                 |
| NOx emissie bij 15% zuurstof                      | 0,0075    | 0,0075              | 0,0073    | kg/kg fuel      |
| NOx emissie bij werkelijke % zuurstof             | 0,0041    | 0,0041              | 0,0067    |                 |

## **Bijlage**

### **2. Standaard berekeningswijze van de kosteneffectiviteit (Bijlage 2 Abm, behorend bij artikel 2.7)**

De methodiek op basis waarvan de kosteneffectiviteit wordt berekend, wordt weergegeven in het schema in figuur 1. Hieronder wordt verder ingegaan op een viertal aspecten in dit schema.

### Rentevoet en afschrijving

Het resultaat van een kostenberekening is sterk afhankelijk van de gehanteerde rentevoet. In deze methodiek is gekozen voor een vaste rentevoet. De vaste rentevoet is gesteld op 10%. Deze 10% is een compromis tussen de nominale kapitaalmarktrente en de interne rentevoet die door bedrijven wordt gehanteerd («return on investment»).

### Afschrijvingsmethodiek

In de methodiek worden investeringen op annuïtaire wijze afgeschreven. In principe kan op twee manieren worden afgeschreven: op lineaire of op annuïtaire wijze. In werkelijkheid worden investeringen vaak op lineaire wijze afgeschreven. De annuïtaire afschrijvingsmethode heeft echter als voordeel dat constante jaarkosten worden verkregen zodat de methodiek eenvoudiger te hanteren is.

### Afschrijvingstermijn

In de methodiek worden de volgende afschrijvingstermijnen gehanteerd:

- 10 jaar voor het elektromechanische deel van de milieu-investering;
- 25 jaar voor het bouwkundig deel van de milieu-investering.

Onder het elektromechanische deel wordt alle apparatuur verstaan, compleet met instrumentatie en dergelijke. Onder het bouwkundige deel worden vaak de hallen, loodsen, funderingen, leidingbruggen en dergelijke verstaan. De reden dat deze bouwkundige investeringen over een langere termijn worden afgeschreven is dat de levensduur veelal langer is dan 10 jaar en dat deze voorzieningen ook bruikbaar blijven als de huidige apparatuur wordt vervangen. Echter, in praktijk zijn (delen van) de bouwkundige investeringen toch installatie specifiek en moeten worden verwijderd als de apparatuur is afgeschreven, wordt ontmanteld en niet meer wordt vervangen. Indien dit wordt voorzien, dan moeten deze installatie specifieke bouwkundige voorzieningen worden gerekend tot het elektromechanische gedeelte en dus worden afgeschreven over 10 jaar.

### Berekening annuïteit

De annuïteit is de factor die uitdrukt wat de jaarlijkse kosten zijn van een eenmalige investering. De annuïteit wordt berekend uit rente plus afschrijving volgens:

$$\text{Annuïteit} = \frac{i * (1 + i)^n}{(1+i)^n - 1}$$

Waarin  $i$  de rentevoet is (dimensieloos) en  $n$  de afschrijvingstermijn (in jaar). Voor een rentevoet van 10 procent ( $i = 0,1$ ) is de annuïteit bij een afschrijvingstermijn van 10 jaar gelijk aan 0,163 en bij een afschrijvingstermijn van 25 jaar gelijk aan 0,110.

De afschrijvingstermijn vangt aan op het moment dat de installatie in bedrijf wordt genomen. Kapitaalskosten die worden gemaakt voor dit tijdstip vallen onder het begrip «bouwrente» en maken onderdeel uit van de eenmalige investeringen.

**Figuur 1. Methodiek kosteneffectiviteit**

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                              |                                     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|
| a Kosten                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                              |                                     |
| Aanschaffingsprijs                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | €.....                                                                       |                                     |
| Bijkomende investeringen                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | €.....                                                                       |                                     |
| Eenmalige investeringen                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | €.....                                                                       |                                     |
| Kapitaalvernietiging door desinvesteringen                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | €.....                                                                       |                                     |
| ----- +                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | ----- +                                                                      |                                     |
| Totale investeringen                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | € invest                                                                     |                                     |
| Totale investeringen * annuïteit =>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | € invest*0.163=>                                                             | Kapitaalskosten                     |
| Bouwkundige investeringen                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | € bouw                                                                       |                                     |
| Bouwkundige investeringen* annuïteit <sub>bouw</sub> =>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | € bouw*0.110=>                                                               | Bouwkundige kapitaalkosten          |
| Onderhoud                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | €.....                                                                       | Vaste operationele kosten           |
| Bediening                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | €.....                                                                       |                                     |
| Overige vaste operationele kosten                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | €.....                                                                       |                                     |
| ----- +                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | ----- +                                                                      |                                     |
| Totale vaste operationele kosten =>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | €.....=>                                                                     |                                     |
| Voorzieningen (gas, elektriciteit, water, stoom etc.)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | €.....                                                                       | Variabele operationele kosten       |
| Reststoffenverwerking/lozingsheffingen                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | €.....                                                                       |                                     |
| Overige variabele operationele kosten +                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | €.....                                                                       |                                     |
| ----- +                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | ----- +                                                                      |                                     |
| Totale variabele operationele kosten =>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | €.....=>                                                                     |                                     |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                              | ----- +                             |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                              | = Totale bruto jaarlijkse kosten    |
| Opbrengsten en besparingen =>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | €..... =>                                                                    | Opbrengsten en besparingen          |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                              | ----- -                             |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                              | = Totale netto jaarlijkse kosten    |
| b Effecten                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                              |                                     |
| Jaarlijkse ongereinigde vracht =>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | ..... =>                                                                     | Jaarlijkse ongereinigde vracht      |
| Jaarlijkse restemissie                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | .....                                                                        | Totale jaarlijkse restemissie       |
| Jaarlijkse emissies tijdens storingen                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | .....                                                                        |                                     |
| Jaarlijkse emissies tijdens onderhoud                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | .....                                                                        |                                     |
| ----- +                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | ----- +                                                                      |                                     |
| Totale jaarlijkse restemissie =>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | ..... =>                                                                     |                                     |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                              | ----- -                             |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                              | = Totale jaarlijkse emissiereductie |
| c Kosteneffectiviteit                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                              |                                     |
| Kosteneffectiviteit =                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Totale netto jaarlijkse kosten<br>-----<br>Totale jaarlijkse emissiereductie |                                     |
| Standaard waarden*:<br>- Som bijkomende en eenmalige investeringen*: 30–250% van aanschaffingsprijs<br>- Eenmalige investeringen*: 25% van aanschaffingsprijs<br>- Vaste operationele kosten*: 3–5% van de aanschaffingsprijs en bijkomende investeringen<br>- Voorzieningen-prijzen: Uit DACE-prijzenboekje (24)<br>- Tijdsduur storingen en onderhoud: 2% van de bedrijfstijd |                                                                              |                                     |

\* Het verdient de voorkeur om bijkomende en eenmalige investeringskosten en vaste operationele kosten uit het verkennend ontwerp af te leiden. Alleen indien het verkennend ontwerp niet genoeg houvast biedt, kan met de standaardwaarden worden gewerkt.