

RAPPORT

Toelichting technologiekeuze DVI

Bijlage M11 bij aanvraag omgevingsvergunning

Klant: Vopak Terminal Europoort B.V.

Referentie: BF7126IBRP1907151403

Status: Finale versie/2.0

Datum: 24 juli 2019



George Hintzenweg 85

3068 AX ROTTERDAM

Industry & Buildings

Trade register number: 56515154

+31 88 348 90 00 **T**

+31 10 209 44 26 **F**

info@rhdhv.com **E**

royalhaskoningdhv.com **W**

Titel document: Toelichting technologiekeuze DVI

Ondertitel: Bijlage M11: Toelichting technologiekeuze DVI

Referentie: BF7126IBRP1907151403

Status: 2.0/Finale versie

Datum: 24 juli 2019

Projectnaam: Aanvraag omgevingsvergunning DVI VP1/2

Projectnummer: BF7126

Auteur(s): Jaap Erkelens

Opgesteld door: Royal HaskoningDHV

Gecontroleerd door: Bianca Verlaat

Datum/Initialen: BV, 24 juli 2019

Goedgekeurd door: Jaap Erkelens

Datum/Initialen: JER, 24 juli 2019

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

1	Inleiding	3
1.1	Aanleiding voor dit rapport	3
1.2	Doel van het rapport	4
1.3	Leeswijzer	4
2	Uitgangspunten dampverwerkingsinstallatie VTE	5
2.1	Inleiding	5
2.2	Veiligheid en betrouwbaarheid	5
2.3	Volume en samenstelling beladingsemissies	5
2.4	Verwijderingsrendement en emissie-eisen Activiteitenbesluit	7
2.5	BBT voor behandeling van beladingsemissies	7
2.6	Inpasbaarheid binnen inrichting	9
2.7	Toekomstbestendigheid	9
3	Technologieselectie en -evaluatie	10
3.1	Inleiding	10
3.2	Overzicht technologieën en selectiecriteria	10
3.3	Regeneratieve thermische oxidatie (RTO) als zelfstandige oplossing	10
3.4	Dampvermindering door condensatie en nabehandeling met RTO	13
3.5	Actiefkool met vacuümregeneratie en nabehandeling met RTO	15
3.6	Thermische oxidatie in een <i>incinerator</i>	17
3.7	Toepassing van verschillende dampverwerkingstechnieken	21
4	Definitieve technologiekeuze	24
4.1	Inleiding	24
4.2	Overzicht niet-geselecteerde dampverwerkingstechnieken	24
4.3	Eindevaluatie geselecteerde technieken	25
4.4	Toelichting <i>cross-media</i> toets	26
4.4.1	De methodiek	26
4.4.2	Toelichting op de resultaten	27
4.5	Conclusie en onderbouwing BBT	28

Bijlagen

Toetsing 'REF Economics and Cross-Media Effects'

1 Inleiding

1.1 Aanleiding voor dit rapport

Vopak Terminal Europoort B.V. (hierna: VTE) is een op- en overslag terminal voor vloeibare aardolieproducten, organische chemicaliën en (gevaarlijke) afvalstoffen. Aan- en afvoer van producten vindt plaats per zeeschip, lichter en pijpleiding. De totale opslagcapaciteit bedraagt op het moment van schrijven circa 3.960.000 m³.

Tijdens het beladen van (zee)schepen komen VOS- en zwavelhoudende dampen vrij uit de te verladen aardolieproducten. Daarnaast blijven bij het lossen van aardolieproducten uit (zee)schepen dampresten van de geloste producten in de laadruimen achter. Ook worden deze ruimtes uit veiligheidsoverweging geïneretiseerd met uitlaatgassen van de scheepsmotor. Bij het opnieuw laden van deze schepen vindt vervolgens verdrijving van de al aanwezige dampen en uitlaatgassen naar de lucht plaats.

De afgelopen jaren heeft VTE veel energie gestoken in het reduceren van geuremissies afkomstig van schepen afgemeerd aan de vingerpielen 1 en 2 (hierna: VP1, VP2). De zwavelhoudende emissies van deze schepen worden in de huidige situatie afgevangen en per vingerpier met een geurverwerkingsinstallatie (GVI) gereinigd. Deze bestaande GVI's bestaan uit de volgende installaties:

- Twee wassers bij respectievelijk de oploop van VP1 en VP2;
- Twee *alu-oxide* installaties op respectievelijk VP1-Oost en VP1-West.

Het aantal geurklachten uit de omgeving is sinds de installatie van deze GVI's significant afgenomen. Als vervolgstap wordt nu een centrale dampverwerkingsinstallatie (DVI) binnen de inrichting geplaatst om de emissies naar de lucht verder te verminderen. De nieuwe centrale DVI behandelt straks alle beladingsemissies afkomstig van VP1 en VP2 en vervangt de bestaande GVI's.

Begin 2016 is VTE gestart met het selectieproces voor de nieuwe DVI. Op basis van de uitkomsten van een grondig onderzoek naar de verschillende technologische mogelijkheden voor dampverwerking heeft VTE besloten dat een *incinerator* met nageschakelde *scrubber* de meest veilige, betrouwbare en flexibele oplossing biedt voor de behandeling van beladingsemissies afkomstig van VP1 en VP2. VTE heeft vervolgens in nauwe samenwerking met de leverancier van de installatie een definitief ontwerp van de nieuwe DVI uitgewerkt. Dit ontwerp gaat uit van een DVI die bestaat uit twee parallel opererende lijnen. Deze lijnen zijn ieder opgebouwd uit de volgende installaties:

- Eén thermische oxidatiereactor ("*incinerator*") met een thermisch vermogen van 25 MW waarin vrijwel alle VOS-emissies worden verbrand;
- Eén natte koeler ("*quencher*") voor het verlagen van de temperatuur van de verbrandingsgassen;
- Eén gaswasser ("*scrubber*") om zwavelverbindingen te verwijderen;
- Eén optionele DeNOx-installatie om NOx te verwijderen.

Bovenstaand ontwerp vormt het uitgangspunt voor de omgevingsvergunningaanvraag. De definitieve vergunningaanvraag voor het onderdeel milieu is op 28 september 2018 ingediend bij het bevoegd gezag. In deze aanvraag was ook rekening gehouden met warmteterugwinning voor hergebruik binnen de inrichting. Hiervoor was na de oxidatiereactor een warmtewisselaar voorzien.

Op 12 november 2018 heeft het bevoegd gezag een verzoek om aanvullende gegevens verstuurd naar VTE. Onderdeel van dit verzoek was het uitvoeren van een zogenaamde volledige kosten-batenanalyse

(KBA) conform de Tijdelijke Regeling EED. De uitkomsten van deze KBA (opgenomen in bijlage M10 van de vergunningaanvraag) toonden aan dat toepassing van warmteterugwinning bij de voorgenomen DVI op geen enkele manier kosteneffectief te realiseren is. In het meest gunstige scenario heeft toepassing van warmteterugwinning een terugverdientijd van ruim 23 jaar en een negatieve netto contante waarde van ruim zes miljoen euro. Op basis van deze uitkomsten en door het feit dat warmterugwinning een risico oplevert voor de bedrijfszekerheid van de installatie, heeft VTE besloten om warmteterugwinning niet mee te nemen in het definitieve ontwerp van de installatie.

Het bevoegd gezag moet nu beoordelen of deze DVI als Best Beschikbare Techniek (BBT) voor de behandeling van beladingsemissies kan worden aangemerkt en heeft daarom aan VTE gevraagd om een toelichting te geven op de wijze waarop de keuze voor de aangevraagde *incinerator* tot stand is gekomen. Ook moet inzichtelijk worden gemaakt welke andere technologieën zijn onderzocht en op basis van welke criteria deze technieken zijn afgekeurd voor toepassing binnen de inrichting van VTE. Het bevoegd gezag heeft daarbij aangegeven dat zij een sterke voorkeur heeft voor toepassing van een meer energie-efficiency dampverwerkingstechniek, bijvoorbeeld een RTO in combinatie met een actiefkool-filter.

1.2 Doel van het rapport

Met dit rapport wordt invulling gegeven aan bovenstaand verzoek van het bevoegd gezag en wordt onderbouwd dat de DVI als BBT kan worden aangemerkt. De doelstellingen van het rapport zijn als volgt:

- Inzicht geven in de door VTE gehanteerde uitgangspunten en evaluatiecriteria binnen het selectieproces voor de nieuwe DVI;
- Een overzicht geven van de in het selectieproces onderzochte technologieën;
- Duidelijk maken waarom deze technologieën wel of niet toepasbaar zijn binnen de specifieke situatie van VTE;
- Aantonen dat de aangevraagde *incinerator* de beste oplossing biedt voor de specifieke situatie van VTE en daarmee als BBT kan worden beschouwd.

1.3 Leeswijzer

Na deze inleiding wordt als eerste in hoofdstuk 2 een toelichting gegeven op de door VTE opgestelde algemene uitgangspunten waar de nieuwe DVI aan moet kunnen voldoen. Vervolgens wordt in hoofdstuk 3 uitgebreid ingegaan op het daadwerkelijke selectieproces en de evaluatie van de verschillende technologieën die in dit proces zijn beschouwd. Als laatste wordt in hoofdstuk 4 op de definitieve technologiekeuze ingegaan. Hierbij worden ook de uitkomsten van de door Royal HaskoningDHV uitgevoerd toets van de onderzochte technologieën aan de *REF Economics and Cross-Media Effects*¹ gepresenteerd. De volledige toets aan deze REF is opgenomen in bijlage 1.

¹ Reference Document on Economics and Cross-Media Effects (July 2006)

2 Uitgangspunten dampverwerkingsinstallatie VTE

2.1 Inleiding

Voor het behandelen van beladingsemissies zijn verschillende technieken beschikbaar. De keuze voor een bepaald type DVI is echter vrijwel altijd maatwerk en sterk afhankelijk van de aard, omvang en samenstelling van de te behandelen dampen. De eerste stap in een dampverwerkingsproject is daarom het formuleren van een set algemene uitgangspunten waaraan een nieuw te plaatsen DVI moet kunnen voldoen.

VTE heeft bij de technologiekeuze voor de nieuwe DVI de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- 1 De gekozen techniek moet veilig en betrouwbaar zijn;
- 2 De DVI moet voldoende capaciteit en flexibiliteit hebben om alle (reguliere) beladingsemissies afkomstig van VP1 en VP2 te kunnen behandelen, inclusief de emissies die geurhinder kunnen veroorzaken;
- 3 Het verwijderingsrendement van de gekozen techniek moet dusdanig hoog zijn dat de restemissies vanuit de DVI kunnen voldoen aan de relevante emissie-eisen uit het Activiteitenbesluit;
- 4 De wijze van behandeling van beladingsemissies moet voldoen aan BBT;
- 5 De gekozen techniek moet fysiek en operationeel inpasbaar zijn binnen de inrichting;
- 6 De DVI moet toekomstbestendig ontworpen kunnen worden.

Deze uitgangspunten worden in de rest van dit hoofdstuk in detail toegelicht. Op basis van deze uitgangspunten is vervolgens een selectie gemaakt van potentieel toepasbare dampverwerkingstechnieken. Deze technologieselectie, inclusief de evaluatie van de verschillende technieken, wordt verder uitgewerkt in hoofdstuk 3.

2.2 Veiligheid en betrouwbaarheid

VTE is een hoge-drempel Brzo-inrichting. Het continu verbeteren van de veiligheid op de terminal staat daarom altijd op de eerste plaats. De veilige bedrijfsvoering van een nieuwe DVI moet dan ook onder alle omstandigheden gegarandeerd kunnen worden.

De primaire functie van de voorgenomen DVI is het behandelen van beladingsemissies afkomstig van VP1 en VP2. Om dit proces zo efficiënt mogelijk te laten verlopen is het onvermijdelijk dat een bepaalde mate van ophoping van deze dampen optreedt in met name het leidingwerk waarmee de dampen worden getransporteerd naar de DVI. Het meest significante risico van deze ophoping is explosiegevaar gevolgd door brand. Het gehele dampverwerkingssysteem moet daarom ontworpen worden als een zogenaamde “ATEX Zone 0”-systeem. Met deze classificering is het mogelijk om dampen binnen het explosieve gebied te behandelen.

Daarnaast is het voor VTE van groot belang dat de gekozen techniek een zeer hoge mate van betrouwbaarheid heeft. Bij uitval van de installatie door storing of onderhoud kan geen verlading naar schepen aan VP1 en VP2 plaatsvinden. Een belangrijk deel van de bedrijfsvoering van VTE valt hierdoor stil met (significante) inkomstenderiving als gevolg. De bedrijfszekerheid en redundantie van de installatie zijn daarom belangrijke selectiecriteria.

2.3 Volume en samenstelling beladingsemissies

VP1 en VP2 worden gebruikt voor het laden en lossen van zeeschepen, waaronder olietankers. De maximale pompsnelheid bij belading – en daarmee het te behandelen dampdebiet – is hierdoor hoog. Dit stelt

hoge eisen aan de maximale capaciteit van de DVI, ook omdat de gekozen techniek gelijktijdige beladingen moet kunnen behandelen met behoud van voldoende redundantie. De uitgangspunten die door VTE gehanteerd zijn bij de bepaling van de ontwerpcapaciteit zijn opgenomen in Tabel 1.

Tabel 1: Specificaties te verladen productstromen op VP1 en VP2 (gebaseerd op doorzetgegevens over 2015 tot en met 2018)

Producttype	Aandeel doorzet (export)	Batchgrootte (10 ³ m ³)	Maximale pompsnelheid (m ³ /uur)	Voorlading (pre-load)	Maximale dampspanning (kPa)	Opslagtemperatuur (°C)
Stookolie	70 - 80%	10 tot 300	12.000 ⁽¹⁾	Crude (minimaal 80%) / stookolie	< 40 (Crude pre-load)	Tot 60°C
Ruwe olie (crude) & condensaat	1 - 5%	10 tot 100	7.500		40	Ambient
Nafta & benzine	1 - 5%	10 tot 150	2.000	Nafta en benzine	60	Tot 30°C
Jet fuel & kerosine	1 - 10%	10 tot 100	2.000		<1 ⁽²⁾	Ambient
Gasolie	10 - 20%	10 tot 100	5.000		<1 ⁽²⁾	Ambient

1) Bij gelijktijdige belading van twee schepen.

2) Beladingsemissies van stoffen met een dampspanning van minder dan 1 kPa bij 20°C hoeven conform de Branchevisie Vloeibare Bulk niet behandeld te worden. Zie ook paragraaf 2.5.

De doorzetgegevens uit Tabel 1 zijn als uitgangspunt gebruikt voor het bepalen van de benodigde ontwerpcapaciteit voor de nieuwe DVI. Vervolgens is een marge van +25% aangehouden om tot de volumetrische ontwerpcapaciteit te komen:

- **Maximale volumetrische capaciteit:** 15.000 m³ damp per uur

Voor het bepalen van de maximale thermische capaciteit is, naast bovengenoemde doorzetgegevens, ook rekening gehouden met piekbelastingen die op kunnen treden bij het gelijktijdig beladen van schepen met VOS-rijke producten zoals nafta². Hiervoor is gebruik gemaakt van de doorzet gegevens van alle vingerpijpen (VP1 tot en met VP4) en T-steigers (steigers 1 tot en met 3) binnen de inrichting, wat heeft geresulteerd in de volgende thermische ontwerpcapaciteit:

- **Maximale thermische capaciteit:** 4.000 kilogram VOS per uur

Daarnaast is het uitgangspunt gehanteerd dat in principe alle producttypen gelijktijdig verladen kunnen worden, op voorwaarde dat de totale dampstroom en VOS-vracht beiden onder de respectievelijke maximale ontwerpcapaciteiten blijven. Concreet worden op VP1 en VP2 de volgende producttypen verladen:

- Stookolie en stookoliecomponenten
- Ruwe olie (crude) en condensaat
- Nafta, benzine en benzinecomponenten
- Jet fuel en kerosine
- Gasolie

Dampen afkomstig van verladingen van jet fuel, kerosine en gasolie hoeven op basis van de lage dampspanning (< 1 kPa) niet behandeld te worden, op voorwaarde dat ook de pre-load een dampspanning van minder dan 1 kPa heeft. Verder zijn alle laadruimen van zeeschepen geïnertiseerd met uitlaatgassen afkomstig van de scheepsmotoren. Dit zorgt voor een aanvullende belasting van de DVI met NOx, SOx en waterdamp.

² Dampen afkomstig van nafta kunnen maximaal 1.500 gram VOS per m³ bevatten.

In Tabel 2 een overzicht opgenomen van de samenstellende componenten per producttype. De informatie uit deze tabel is gebruikt bij de evaluatie van de verschillende dampbehandelingstechnieken in hoofdstuk 3 van dit rapport. Het uitgangspunt bij deze evaluatie is dat met de gekozen techniek dampen met lichte (of VOS-rijke), zware (of relatief VOS-arme) en geurende componenten behandeld moeten kunnen worden, bij voorkeur door middel van een “alles-in-1” oplossing.

Tabel 2: Aanwezige componenten per producttype

Producttype	C1 - C4 componenten	C5 - C8 componenten	C8 en hogere componenten	H ₂ S & mercaptanen	Waterdamp & water
Emissiecomponent	VOS	VOS, incl. benzeen	VOS	Geur	-
Stookolie (incl. pre-load met ruwe olie)	Ja ⁽¹⁾	Ja	Ja	Ja	Ja
Ruwe olie & condensaat	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
Nafta & benzine	Minimaal	Ja	Minimaal	Soms	Nee
Jet fuel & kerosine	Minimaal	Ja	Ja	Minimaal	Nee
Gasolie	Minimaal	Ja	Ja	Minimaal	Minimaal

1) VTE heeft in maart 2017 gedurende een periode van twee weken emissiemetingen uitgevoerd tijdens stookolieverladings op VP1 en VP2. In deze periode zijn in totaal vijf schepen met een pre-load van ruwe olie beladen met stookolie. De gemeten gemiddelde VOS-concentratie in de beladingsemissies bedroeg bijna 300 gram per m³. De maximaal gemeten concentratie kwam op 554 gram per m³ bij de belading van een VLCC (Very Large Crude Carrier). Deze metingen tonen aan dampen afkomstig van stookolie met een pre-load van ruwe olie als (VOS-)rijke dampen moeten worden beschouwd. Dit heeft consequenties voor de wijze waarop deze dampen behandeld moeten worden.

2.4 Verwijderingsrendement en emissie-eisen Activiteitenbesluit

Het verwijderingsrendement van de gekozen techniek moet dusdanig hoog zijn dat de restemissies uit de DVI onder vrijwel alle condities kunnen voldoen aan de relevante emissie-eisen uit het Activiteitenbesluit. In Tabel 3 is een overzicht opgenomen van de relevante stofklassen en bijbehorende concentratie-eisen.

Een aanvullend uitgangspunt is dat de nieuwe DVI de bestaande GVI's bij VP1 en VP2 volledig moet kunnen vervangen. Dit betekent dat het verwijderingsrendement van de gekozen technologie ten aanzien van geurende componenten (mercaptanen en H₂S) minimaal gelijk moet zijn aan het rendement dat in de bestaande situatie wordt gerealiseerd.

Tabel 3: Relevante emissie-eisen uit Activiteitenbesluit (afdeling 2.3)

Component(groep)	Stofklasse	Grensmassaastroom [g/uur]	Vrijstellingsgrens [kg/jaar]	Emissiegrenswaarde [mg/Nm ³]
Benzeen	MVP2	2,5	1,25	1
(Ethyl)mercaptopaan (C ₂ H ₆ S)	gO.1	100	50	20
VOS	gO.2	500	250	50
H ₂ S	gA.2	15	7,5	3
SO _x (als SO ₂)	gA.4	2.000	1.000	50
NO _x (als NO ₂)	gA.5	2.000	1.000	200

2.5 BBT voor behandeling van beladingsemissies

De Best Beschikbare Techniek (BBT) voor de proces-technische behandeling van beladingsemissies is niet eenduidig gespecificeerd in de verschillende Europese BREF's en de bij wet aangewezen Nederlandse BBT-

informatiedocumenten. Om deze reden heeft de DCMR samen met de overige Brzo-Omgevingsdiensten het zogenaamde 'Branchedocument Vergunningverlening Wabo Vloeibare Bulk – VOS Maatregelen' (hierna: BVB) opgesteld.

De BVB³ geeft een overzicht van de verschillende VOS-maatregelen die door het bevoegd gezag als BBT worden beschouwd bij de op- en overslag van vloeibare bulk. Conform de BVB dienen beladingsemisies van zogenaamde "BVB VOS"⁴ en "BVB Aandachtstoffen"⁵ behandeld te worden met behulp van dampverwerking of dampretour. Vervolgens wordt gesteld dat BBT voor dampverwerking een technologie betreft waarmee product- of energierugwinning plaatsvindt. Dampretour in combinatie met behandeling van rest-emisies in een DVI wordt gelijkgesteld aan dampverwerking.

VTE heeft op basis van de volgende argumenten de toepassing van dampretour op voorhand uitgesloten als een technisch en economisch niet-haalbare oplossing:

- Een groot aantal opslagtanks binnen de inrichting zijn voorzien van drijvende daken. Dit type dak staat geen dampretour toe;
- Vrijwel alle opslagtanks binnen de inrichting zijn atmosferisch. Bij toepassing van dampretour moeten alle dampen daarom via nieuw te plaatsen *blowers* verplaatst worden;
- Op VP1 en VP2 wordt geen gebruik gemaakt van *dedicated* voorzieningen en leidingwerk. Dampen afkomstig van PGS-klasse 1 producten zoals nafta en ruwe olie (ook als *pre-load*), kunnen om (brand-) veiligheidstechnische redenen echter niet worden teruggevoerd naar tanks bestemd voor de opslag van PGS-klasse 3 producten (zoals stookolie). Toepassing van dampretour vraagt daarom een zeer uitgebreide en volledig gescheiden nieuwe infrastructuur en een grootschalige aanpassing van de brandbestrijdingsvoorzieningen op de terminal.

Aanvullend zijn in de BVB een aantal aandachtspunten en opmerkingen opgenomen bij de beschrijving van BBT voor de behandeling van beladingsemisies en voor dampverwerkingsinstallaties. Een aantal van deze punten zijn relevant in het kader van de voorgenomen DVI van VTE:

- "Van de in dit Branchedocument genoemde eisen mag afgeweken worden als aangetoond kan worden dat met alternatieve technieken of methoden hetzelfde beschermingsniveau gerealiseerd kan worden" (*pagina 7, BVB*).
- "Bij het vaststellen van de te behandelen stoffen dient gekeken te worden naar de te verladen stof en tevens naar de vorige lading van de te vullen modaliteit. Indien de vorige lading een BVB VOS en/of een BVB-aandachtstof betreft, dient gebruik gemaakt te worden van dampverwerking of dampretour, mits de toegepaste dampverwerkingsinstallatie hierdoor niet negatief beïnvloed wordt" (*pagina 9, BVB*).
- "In bepaalde gevallen (bijv. dampverwerking bij stookolie vanwege stank en daklandingsemisies) kan gekozen worden voor een techniek waarbij geen product of energie teruggewonnen wordt (bijv. incinerator)" (*pagina 9, BVB*).
- "Wanneer meerdere type BVB-aandachtstoffen in een dampverwerkingsinstallatie worden behandeld is productterugwinning niet vereist, omdat daarbij een mengsel kan ontstaan dat alleen nog als chemisch afval afgevoerd kan worden. Na afvoer zal dit mengsel alsnog verbrand worden. Productterugwinning is daarom weinig zinvol" (*pagina 10, BVB*).

³ Versie 1.1 (23 april 2018)

⁴ Vluchtige organische stoffen met een dampspanning van groter of gelijk aan 1 kPa bij opslagtemperatuur.

⁵ BVB VOS die conform het Activiteitenbesluit als zeer zorgwekkende stoffen (ZZS) gedefinieerd worden en mengsels die 5 massa% of meer ZZS bevatten in de vloeistoffase (waarbij de concentraties van verschillende ZZS gesommeerd worden).

Op basis van bovenstaande heeft VTE als uitgangspunt gehanteerd dat de gekozen dampverwerkingstechniek aan BBT dient te voldoen, op voorwaarde dat:

- Een techniek waarmee product- en/of energierugwinning mogelijk is niet negatief beïnvloed wordt door de te behandelen stoffen;
- Het toepassen van energierugwinning geen risico's oplevert ten aanzien van de bedrijfszekerheid van de primaire functie van de voorgenomen DVI, te weten het verwijderen van VOS-emissies en geurende componenten en (mogelijk in de toekomst, zie paragraaf 2.7) het behandelen van daklandingsemissies;
- Het toepassen van productterugwinning een nuttig inzetbaar product oplevert.

2.6 Inpasbaarheid binnen inrichting

De nieuwe DVI moet zowel fysiek als operationeel inpasbaar binnen de inrichting. VTE hanteert daarom de volgende uitgangspunten:

- De inpassing van een nieuwe DVI binnen de bestaande infrastructuur van de inrichting vraagt een centraal gelegen locatie van voldoende omvang op het westelijk deel van VTE, bij voorkeur in de buurt van de waterkant. Het beschikbare oppervlak binnen de inrichting wat aan de criteria voldoet is beperkt tot één braakliggend terrein achter tankput fase 8. Dit driehoekige terrein heeft een oppervlakte van circa 1.400 m². Het uitgangspunt is daarom dat het ruimtebeslag van de gekozen techniek en de bijbehorende ondersteunende voorzieningen beperkt moet blijven tot maximaal 1.400 m².
- Om invulling te geven aan de operationele inpasbaarheid van de DVI hanteert VTE als uitgangspunt dat de DVI een bewezen techniek moet zijn in een vergelijkbare toepassing binnen Vopak en/of de (petro-)chemische industrie.

2.7 Toekomstbestendigheid

De realisatie van de nieuwe DVI is onderdeel van een groter, langlopend emissiereductieproject op de terminal. Binnen dit *masterplan* zijn momenteel de volgende toekomstige ontwikkelingen voorzien:

- VTE is voornemens om ook de beladingsemissies afkomstig van Vingerpier 3, Vingerpier 4 en de T-steigers vanaf 2022 te gaan behandelen met de nieuwe DVI;
- VTE gaat onderzoeken of de emissies als gevolg van daklandingen van de PGS-klasse 1 tanks op het oostelijk deel van de inrichting ook kunnen worden behandeld met de nieuwe DVI.

Het laatste uitgangspunt is daarom dat de gekozen techniek over voldoende (over)capaciteit en/of uitbreidingsmogelijkheden moeten beschikken om aanvullende emissiebronnen te kunnen behandelen.

3 Technologieselectie en -evaluatie

3.1 Inleiding

Dit hoofdstuk geeft een beschrijving van het daadwerkelijk door VTE doorlopen selectieproces ten aanzien van de toe te passen dampverwerkingstechnologie. Hierbij wordt eerst een overzicht gegeven van de verschillende technologieën die in dit proces beschouwd zijn en de bij de evaluatie toegepaste selectiecriteria. Vervolgens is van iedere door VTE onderzochte technologie een meer gedetailleerde beschrijving en een samenvatting van de resultaten van de evaluatie opgenomen.

3.2 Overzicht technologieën en selectiecriteria

VTE heeft aan de hand van de in het vorige hoofdstuk beschreven uitgangspunten een selectie gemaakt van potentieel geschikte technologieën voor de behandeling van beladingsemisies. Concreet zijn dit de volgende dampverwerkingstechnieken:

- 1 Regeneratieve thermische oxidatie (RTO) als zelfstandige oplossing;
- 2 Dampvermindering door toepassing van condensatie en nabehandeling met een RTO;
- 3 Dampvermindering door toepassing van actiefkool met vacuümregeneratie en nabehandeling met een RTO;
- 4 Thermische oxidatie in een *incinerator*;
- 5 Een combinatie van verschillende dampverwerkingstechnieken.

Bovenstaande technologieën zijn door VTE in detail onderzocht en beoordeeld aan de hand van de een aantal selectiecriteria. De minimale eis in deze beoordeling is dat aan alle *knock-out* criteria moet worden voldaan:

- De techniek moet veilig en betrouwbaar toe te passen zijn binnen de inrichting;
- Met de techniek moet voldaan kunnen worden aan de van toepassing zijnde wettelijke emissie-eisen;
- De techniek moet voldoen aan BBT;
- De techniek moet fysiek inpasbaar zijn binnen de inrichting.

Daarnaast zijn de verschillende technologieën individueel en onderling geëvalueerd op basis van een aantal aanvullende criteria:

- Het effect van de componenten uit Tabel 2 op de installatieonderdelen;
- Investerings- en operationele kosten;
- De complexiteit en bedienbaarheid van de techniek;
- De bewezen toepassing van de techniek in een vergelijkbare omgeving;
- De toekomstbestendigheid van de installatie.

3.3 Regeneratieve thermische oxidatie (RTO) als zelfstandige oplossing

Algemene beschrijving techniek

Regeneratieve thermische oxidatie (RTO) is een techniek waarbij VOS-houdende dampen onder hoge temperatuur (850 – 1000 °C) worden geoxideerd in een reactiekamer. Op deze temperatuur kan een hoog verwijderingsrendement (>99.9%) worden gerealiseerd.

Een RTO is relatief energie-efficiënt (in vergelijking tot bijvoorbeeld een *incinerator*) omdat vrijwel alle vrijkomende warmte (~95%) in de installatie zelf wordt hergebruikt. Om dit mogelijk te maken zijn voor en na de reactiekamer een aantal lagen of bedden met keramische pakkingen geïnstalleerd die de vrijkomende warmte opslaan en vervolgens gebruiken om de ingaande dampstroom op te warmen. Voor het opslaan en hergebruiken van de warmte in deze pakkingen is het noodzakelijk om de dampstroom regelmatig te veranderen van een verwarmd bed naar een koud bed.

Wijze van toepassing binnen VTE

De thermische capaciteit van een voor toepassing binnen de inrichting van VTE geschikte RTO is onder andere vanuit het aspect explosieveiligheid en omwille van de borging van het verwijderingsrendement begrensd op een maximale ingaande VOS-concentratie van vijf gram per m³ ⁽⁶⁾⁽⁷⁾. De binnen de reguliere bedrijfsvoering verwachte maximale VOS-concentraties in de te behandelingen dampen afkomstig van VP1 en VP2 zijn echter een veelvoud van deze waarde:

- **Ruwe olie en condensaat:** 400 gram VOS per m³
- **Nafta:** 1.500 gram VOS per m³

Om deze dampen toch met behulp van een RTO te behandelen is het (zonder aanvullende technieken, zie paragraaf 3.4 en 3.5) noodzakelijk om de ingaande dampen met circa een factor vijftig (voor ruwe olie) en driehonderd (voor nafta) te verdunnen. Deze vanuit veiligheidsoogpunt vereiste verdunning zorgt ervoor dat een zelfstandig opererende RTO een volumetrische capaciteit van mogelijk 600.000 m³ per uur moet hebben om aan de door VTE gestelde uitgangspunten met betrekking tot het maximaal te verwerken dampdebiet en de maximale VOS-concentraties te kunnen voldoen (zie paragraaf 2.3).

Een RTO van een dergelijke omvang kan gerealiseerd worden door gebruik te maken van circa twintig geschakelde RTO-eenheden of een *dedicated* RTO, inclusief leidingwerk met een diameter van ongeveer 3000 mm. Eén enkele RTO-eenheid beslaat ongeveer een oppervlak van een 40-voets zeecontainer. Het ruimtebeslag van tien van deze eenheden zou daarmee op minimaal 6.000 m² komen, ruim vier keer meer dan het binnen de inrichting beschikbare oppervlak. Het oppervlak van een *dedicated* RTO is van vergelijkbare omvang. Op basis van dit ruimtebeslag kan op voorhand geconcludeerd worden dat het toepassen van een RTO als zelfstandige oplossing technisch niet haalbaar is binnen de inrichting van VTE.

Toetsing knock-out criteria

De toetsing van deze technologie aan de *knock-out* criteria is opgenomen in Tabel 4.

Tabel 4: Toetsing knock-out criteria (RTO als zelfstandige oplossing)

Knock-out criteria	Toetsing criteria – RTO als zelfstandige oplossing	Voldoet?
Veiligheid en betrouwbaarheid	Zeer hoge verdunningsfactor nodig om onder LEL-waarde te blijven. De verwachting is dat het technisch onmogelijk is om dit proces veilig te kunnen borgen bij toepassing van circa twintig RTO-installaties of één zeer grote installatie.	Nee

⁶ Kennis Inventarisatie Document 'Vloeibare Bulk Op- en Overslag in Tanks', Interprovinciaal Overleg, IPO-publicatienummer 278 (maart 2009)

⁷ In theorie zijn ingaande VOS-concentraties tot maximaal tien gram per m³ mogelijk. Een dergelijk hoge energiehoudd van de te verbranden dampen brengt echter een risico op oververhitting van de installatie met zich mee, aangezien een typische RTO autotherm is in het gebied vanaf twee tot drie gram VOS per m³. Dit risico kan technisch geborgd worden door toepassing van een zogenaamde 'hot bypass'. De dampen worden hierbij direct vanuit de verbrandingskamer naar de schoorsteen gestuurd. Het verwijderingsrendement van de RTO gaat hierdoor echter omlaag, met als gevolg dat in dergelijke gevallen (mogelijk) niet wordt voldaan aan de wettelijke emissie-eisen. In het selectieproces van VTE is daarom een bovengrens van vijf gram per m³ gehanteerd.

Knock-out criteria	Toetsing criteria – RTO als zelfstandige oplossing	Voldoet?
Voldoen aan emissie-eisen	VOS-, ZZS- en NO _x -eisen zijn haalbaar. Naschakelen van een optionele De-NO _x is niet mogelijk bij een RTO vanwege de relatief lage uitgangstemperatuur van het rookgas (~60°C). Om aan de emissie-eisen van zwavelhoudende componenten te kunnen voldoen is hoogstwaarschijnlijk een nageschakelde scrubber nodig met een capaciteit van 600.000 m ³ per uur. De capaciteit van de bestaande GVI's is hiervoor ontoereikend.	Ja
Voldoen aan BBT	Een RTO voldoet aan de BBT-eis met betrekking tot energierugwinning.	Ja
Fysieke inpasbaarheid	De installatie beslaat een oppervlak dat een factor vier groter is dan het binnen de inrichting beschikbare oppervlak.	Nee

Evaluatie overige criteria

De resultaten van evaluatie van deze oplossing aan de hand van de overige selectiecriteria is opgenomen in Tabel 5.

Tabel 5: Evaluatie overige selectiecriteria (RTO als zelfstandige oplossing)

Selectiecriteria	Evaluatie – RTO als zelfstandige oplossing	Voor- of nadeel
Effect componenten dampstroom	Zeer hoge verdunning van dampstroom nodig om aan maximale ingaande VOS-concentratie van een RTO te kunnen voldoen.	Nadeel
Investeringskosten (CAPEX)	Hoge investeringskosten vanwege de omvang van de RTO en de benodigde infrastructuur (circa +/- 40%) €40 miljoen).	Nadeel
Operationele kosten (OPEX)	Operationele kosten relatief laag vanwege hoge energie-efficiëntie van de installatie (circa €500.000 per jaar).	Voordeel
Bewezen toepassing van techniek	Vopak maakt op meerdere terminals al gebruik van RTO's, alleen niet in een vergelijkbare toepassing (behandeling van VOS-rijke en VOS-arme producten).	Neutraal
Complexiteit van de oplossing	Hoge complexiteit vanwege borging LEL-waarde in relatie tot de omvang van de installatie.	Nadeel
Toekomstbestendigheid installatie	Deze oplossing biedt waarschijnlijk onvoldoende capaciteit voor de behandeling van daklandingen. Voor deze emissies moet daarom naar een andere oplossing gezocht worden.	Nadeel

Conclusie

Het toepassen van een RTO als zelfstandige oplossing is met name vanwege het oppervlaktebeslag en de borging van de proces-technische veiligheid van de installatie een technisch niet haalbare optie binnen de inrichting van VTE.

Het grote oppervlaktebeslag is het gevolg van het verdunnen van de ingaande dampstroom met behulp van lucht. De VOS-concentratie in de te behandelen dampen kan echter ook worden verlaagd door toepassing van de volgende technieken:

- Condensatie
- Adsorptie op actief kool

Deze oplossingen worden in respectievelijk paragraaf 3.4 en 3.5 behandeld.

3.4 Dampvermindering door condensatie en nabehandeling met RTO

Algemene beschrijving techniek

Dampvermindering door middel van condensatie werkt op basis van het verlagen van de temperatuur van de ingaande dampstroom met behulp van warmtewisselaars. De temperatuur wordt hierbij verlaagd tot een waarde waarop de meeste VOS-componenten en de waterdamp in de dampstroom condenseren. De VOS-concentratie in de resterende damp kan hierdoor in theorie tot onder de voor behandeling met een RTO vereiste grenswaarde van vijf gram per m³ worden verlaagd. De teruggewonnen componenten kunnen (na opwarming) worden afgevoerd als product of als afvalstof.

Wijze van toepassing binnen VTE

Om de op VP1 en VP2 vrijkomende verladingsdampen geschikt te maken voor behandeling in een RTO moet de VOS-concentratie (gemiddeld) met een factor honderd verlaagd worden. Dit komt in theorie overeen met een temperatuurverlaging van circa 50°C tot 70°C. Uitgaande van de benodigde volumetrische capaciteit van een nieuwe DVI (zie paragraaf 2.3) vraagt dit om een koelinstallatie met 1,5 tot 2 MW aan thermisch vermogen.

Het verlagen van de temperatuur alleen is, gezien de zeer hoge VOS-concentraties in de dampstroom, naar alle waarschijnlijk niet voldoende om de benodigde concentratieverlaging te realiseren. Aanvullende verdunning met een factor van circa tien door middel van lucht is voorafgaand aan de nabehandeling in een RTO daarom alsnog nodig. De benodigde volumetrische capaciteit van deze RTO is ingeschat op 150.000 m³, wat overeenkomt met een oppervlak van circa 2.000 tot 2.500 m². Binnen de inrichting is echter slechts 1.400 m² beschikbaar.

Daarnaast is in de zogenaamde 'zwarte' producten zoals stookolie en ruwe olie water aanwezig. IJsvorming als gevolg van de sterke afkoeling van deze producten veroorzaakt daardoor naar alle waarschijnlijk problemen in de installatie. Ook kunnen producten hierdoor vastvriezen. Zwarte producten zijn goed voor ruim 80% van de doorzet op VP1 en VP2. Gezien de grote dampvolumes die daarom gekoeld moeten worden, kan met zekerheid gesteld worden dat ijsvorming en bevroering van producten met grote regelmaat zal leiden tot verstoppingen van de installatie en het leidingwerk. De bedrijfszekerheid van deze oplossing is hierdoor onacceptabel laag.

Ook zorgen deze problemen ervoor dat 'schone' producten zoals nafta niet gelijktijdig met zwarte producten verladen kunnen worden. Dit zou betekenen dat meerdere koelinstallaties of een tweede techniek voor dampvermindering (bijvoorbeeld actief kool) geplaatst moet worden om toch gelijktijdig te kunnen verladen. De complexiteit, aanvullende kosten en het ruimtebeslag hiervan maken dit een technisch niet haalbare optie.

Toetsing knock-out criteria

De toetsing van deze oplossing aan de *knock-out* criteria is opgenomen in Tabel 6.

Tabel 6: Toetsing knock-out criteria (Condensatie en nabehandeling met RTO)

Knock-out criteria	Toetsing criteria – Condensatie en nabehandeling met RTO	Voldoet?
Veiligheid en betrouwbaarheid	IJsvorming en bevroering van componenten uit zwarte producten (stookolie en ruwe olie) leidt tot verstoppingen van de installatie en het leidingwerk. De betrouwbaarheid van deze oplossing is hierdoor ontoereikend.	Nee
Voldoen aan emissie-eisen	Nabehandeling van een RTO is noodzakelijk om aan emissie-eisen te kunnen voldoen. VOS-, ZZS- en NO _x eisen zijn hiermee haalbaar. Naschakelen van een optionele DeNO _x is niet mogelijk bij een RTO vanwege de relatief lage uitgangstemperatuur van het rookgas (~60°C). Om aan de emissie-eisen van zwa- velhoudende componenten te kunnen voldoen is hoogstwaarschijnlijk een na- of voorgeschakelde scrubber nodig.	Ja
Voldoen aan BBT	Een RTO voldoet aan de BBT-eis met betrekking tot energierugwinning. Productterugwinning biedt vanwege de samenstelling van het teruggewonnen product geen meerwaarde (zie ook paragraaf 3.5). In de BVB is opgenomen dat productterugwinning in dergelijke gevallen niet zinvol is.	Ja
Fysieke inpasbaarheid	Het oppervlaktebeslag van de benodigde RTO is bijna een factor 2 groter dan het binnen de inrichting beschikbare oppervlak. Daarnaast vraagt de plaatsing van meerdere koelinstallaties (minimaal 200 m ² per installatie) op- of bij VP1 en VP2 mogelijk meer ruimte dan beschikbaar.	Nee

Evaluatie overige criteria

De resultaten van evaluatie van deze oplossing aan de hand van de overige selectiecriteria is opgenomen in Tabel 7.

Tabel 7: Evaluatie overige selectiecriteria (Condensatie en nabehandeling met RTO)

Selectiecriteria	Evaluatie – Condensatie en nabehandeling met RTO	Voor- of nadeel
Effect componenten dampstroom	Problemen met bevroering van water en andere componenten. Aanvullend hoge verdunning van dampstroom nodig om aan maximale ingaande VOS-concentratie van een RTO te kunnen voldoen.	Nadeel
Investeringskosten (CAPEX)	Hoge investeringskosten vanwege aantal en omvang van benodigde installaties en infrastructuur (circa +/- 40%) €44 miljoen).	Nadeel
Operationele kosten (OPEX)	Operationele kosten naar verwachting relatief hoog vanwege onderhoud en storingen (circa €1 miljoen per jaar).	Nadeel
Bewezen toepassing van techniek	Vopak past deze techniek op één andere terminal toe. Het gebruik van condensatie is echter geen bewezen toepassing voor het behandelen van dampen afkomstig van zwarte producten.	Nadeel
Complexiteit van de oplossing	Complex vanwege regelen van benodigde verdunning in relatie tot wisselende rendement van meerdere koelinstallaties.	Nadeel
Toekomstbestendigheid installatie	Gezien nadelige effecten van bepaalde componenten op de werking van deze installatie is de toekomstbestendigheid van deze oplossing op dit moment lastig in te schatten.	Neutraal

Conclusie

Het toepassen van dampvermindering door condensatie in combinatie met nabehandeling met een RTO is met name vanwege de lage bedrijfszekerheid een bedrijfseconomisch niet haalbare optie binnen de inrichting van VTE. Daarnaast is het oppervlaktebeslag van de RTO groter dan het binnen de inrichting beschikbare oppervlak voor een nieuwe installatie. Ook het plaatsen van koelinstallaties bij de steigers vraagt waarschijnlijk meer oppervlak dan beschikbaar is. Deze oplossing is hierdoor ook technisch niet realiseerbaar binnen de inrichting.

3.5 Actiefkool met vacuümregeneratie en nabehandeling met RTO

Algemene beschrijving techniek

Met deze techniek (ook wel *Pressure Swing Adsorption* of drukval-adsorptie genoemd) worden VOS-componenten uit de dampstroom verwijderd door adsorptie op actieve koolstof. Het verwijderingsrendement is onder afhankelijk van de grootte van het koolstofbed, de kwaliteit van de toegepaste absorptievloeistof en de capaciteit van de vacuümstraat. De geadsorbeerde VOS wordt vervolgens uit het filter verwijderd door verdamping onder vacuüm en (na condensatie) als teruggewonnen product of afvalstof naar een opslagtank geleid. Om aan alle emissie-eisen te kunnen voldoen is over het algemeen nabehandeling van de resterende dampen in een RTO vereist.

Wijze van toepassing binnen VTE

Actiefkool met vacuümregeneratie wordt al op meerdere Vopak-terminals toegepast. Vooral op locaties waar uitsluitend chemicaliën en/of geraffineerde producten (zoals nafta en benzine) worden overgeslagen kan met deze techniek en een nageschakelde RTO worden voldaan aan de emissie-eisen voor VOS en benzeen en aan het BBT-criterium voor productterugwinning.

Zoals eerder al aangeven, vindt op VP1 en VP2 echter voornamelijk belading van schepen met zwarte producten plaats. Het met actiefkool behandelen van dampen afkomstig van stookolie en ruwe olie is om de volgende redenen onwenselijk:

- Actiefkool is met name geschikt voor behandeling van dampen afkomstig van producten die voornamelijk uit C5– C8 koolstofketens zijn opgebouwd, zoals nafta en benzine (zie Tabel 2). In de damp aanwezige lichte fracties (C1-C4, aanwezig in ruwe olie en in het merendeel van dampen afkomstig van stookolie met *pre-load* van ruwe olie) worden niet of slecht geadsorbeerd. Dit maakt nabehandeling van verreweg het grootste deel van het dampvolume (80 tot 90%) in een RTO een vereiste om aan de van toepassing zijnde emissie-eisen te kunnen voldoen. Deze RTO moet vanwege de vereiste verdunningsfactor een geschatte volumetrische capaciteit hebben van minimaal 150.000 m³ per uur en (afhankelijk van het daadwerkelijke rendement van het koolfilter) mogelijk zelfs 300.000 m³ per uur. Het oppervlaktebeslag van een dergelijke installatie bedraagt, afhankelijk van de capaciteit van de RTO, minimaal 1.500 m² en maximaal 3.000 m². Verder neemt het koolbed aanvullend circa 500 m² in beslag en de benodigde nieuwe tank voor opslag van de adsorptievloeistof circa 1.000 m². Het totale ruimtebeslag van deze oplossing komt hiermee op 3.000 tot 4.500 m². Binnen de inrichting is echter slechts 1.400 m² beschikbaar.
- Daarnaast worden producten met een kookpunt hoger dan 130°C (koolstofketens met lengte C8 en hoger, aanwezig in verwarmde stookolie en ruwe olie) niet geregenereerd, waardoor geleidelijke accumulatie in het koolfilter van deze stoffen optreedt. Dit gaat ten koste van de bedrijfszekerheid van de installatie.
- In stookolie en ruwe olie (en soms ook in nafta, zie Tabel 2) zijn zwavelcomponenten aanwezig. Een bekend probleem van actieve koolstof is dat zwavel het koolfilter 'vergiftigt'. Het vooraf verwijderen van zwavelcomponenten uit de dampstroom is echter inefficiënt. De reden hiervoor is dat deze componenten uit zowel waterstofsulfide (H₂S) als een hele reeks mercaptanen bestaan. De samenstelling van de stoffen kan ook nog eens sterk variëren tussen producten en binnen productgroepen.
- De in stookolie en ruwe olie aanwezige zwavelcomponenten en in benzine aanwezige oxygenaten (alcoholen, MTBE, ETBE) maken het teruggewonnen product ongeschikt voor reguliere destillatieprocessen. De adsorptievloeistof kan hierdoor ook niet gecombineerd worden opgeslagen met andere producten op de terminal, wat een separate, nieuw aan te leggen infrastructuur vereist. Het uiteindelijke gevolg is dat het teruggewonnen product weinig tot geen waarde heeft voor VTE of derden, waardoor de kans groot is dat het product uiteindelijk alsnog als afvalstof verbrand wordt.

Toetsing knock-out criteria

De toetsing van deze oplossing aan de *knock-out* criteria is opgenomen in Tabel 8.

Tabel 8: Toetsing knock-out criteria (Actiefkool met vacuümregeneratie en nabehandeling met RTO)

Knock-out criteria	Toetsing criteria – Actiefkool en nabehandeling met RTO	Voldoet?
Veiligheid en betrouwbaarheid	Hoge verdunningsfactor nodig om LEL-waarde in RTO te borgen. Onzeker of deze borging praktisch haalbaar is. Daarnaast zorgt de accumulatie van lange koolstofketens in het koolfilter voor een te hoog risico met betrekking tot de borging van de bedrijfszekerheid van deze oplossing.	Nee
Voldoen aan emissie-eisen	Nabehandeling van een RTO is noodzakelijk om aan emissie-eisen te kunnen voldoen. VOS-, ZZS- en NOx-eisen zijn hiermee haalbaar. Naschakelen van een optionele DeNOx is niet mogelijk bij een RTO vanwege de relatief lage uitgangstemperatuur van het rookgas (~60°C). Om aan de emissie-eisen van zwavelhoudende componenten te kunnen voldoen en ter voorkoming van vergiftiging van het koolbed is voorbehandeling met een 'zelfopofferend' koolbed noodzakelijk. Het capaciteit en het zuiveringsrendement van de bestaande GVI's zijn onvoldoende groot om de benodigde zwavelreductie te realiseren.	Ja
Voldoen aan BBT	Een RTO voldoet aan de BBT-eis met betrekking tot energierugwinning. Productterugwinning biedt vanwege de samenstelling van het teruggewonnen product geen meerwaarde. In de BVB is opgenomen dat productterugwinning in dergelijke gevallen niet zinvol is.	Ja
Fysieke inpasbaarheid	Het oppervlaktebeslag van deze oplossing is meer dan een factor drie groter dan het binnen de inrichting beschikbare oppervlak.	Nee

Evaluatie overige criteria

De resultaten van evaluatie van deze oplossing aan de hand van de overige selectiecriteria is opgenomen in Tabel 9.

Tabel 9: Evaluatie overige selectiecriteria (Actiefkool met vacuümregeneratie en nabehandeling met RTO)

Selectiecriteria	Evaluatie – Actiefkool en nabehandeling met RTO	Voor- of nadeel
Effect componenten dampstroom	Problemen met vergiftiging koolfilter door zwavelhoudende componenten en geleidelijke accumulatie van lange koolstofketens op het filter. Aanvullend hoge verdunning van dampstroom nodig om aan maximale ingaande VOS-concentratie van een RTO te kunnen voldoen. Teruggewonnen product heeft geen nuttige toepassing vanwege samenstelling.	Nadeel
Investeringskosten (CAPEX)	Hoge investeringskosten vanwege omvang van de benodigde koolfilters, de RTO en de benodigde nieuwe infrastructuur (o.a. producttank) voor opslag van de adsorptievlloeistof (circa (+/- 40%) €54 miljoen).	Nadeel
Operationele kosten (OPEX)	Operationele kosten relatief laag vanwege hoge energie-efficiëntie van de installatie (circa €700.000 per jaar).	Voordeel
Bewezen toepassing van techniek	Vopak maakt op meerdere terminals gebruik van deze oplossing, alleen niet voor de behandeling van dampen afkomstig van zwarte producten.	Nadeel
Complexiteit van de oplossing	Hoge complexiteit vanwege borging optimale werking koolfilter en bewaking van LEL-waarde in relatie tot de omvang van de installatie.	Nadeel

Selectiecriteria	Evaluatie – Actiefkool en nabehandeling met RTO	Voor- of nadeel
Toekomstbestendigheid installatie	Deze oplossing biedt, los van de problemen met veiligheid en ruimtebeslag, waarschijnlijk voldoende overcapaciteit om aanvullende emissiebronnen binnen de inrichting te kunnen behandelen.	Voordeel

Conclusie

Het toepassen van actiefkool met vacuümregeneratie in combinatie met nabehandeling met een RTO is in de praktijk een (technisch en bedrijfseconomisch) ongeschikte techniek voor het behandelen van dampen afkomstig van zwarte producten als stookolie en ruwe olie. Daarnaast is deze oplossing vanwege het grote oppervlaktebeslag een technisch niet realiseerbare techniek binnen de inrichting van VTE.

3.6 Thermische oxidatie in een *incinerator*

Algemene beschrijving techniek

Een verbrandingsinstallatie of *incinerator* is een robuuste en betrouwbare techniek voor het behandelen van een gevarieerd aanbod aan dampen. Deze dampen worden in een *incinerator* onder hoge temperatuur (800°C – 1000 °C) geoxideerd in een verbrandingskamer. Op deze temperatuur kan een hoog verwijderingsrendement (> 99.9%) worden gerealiseerd. In vergelijking met een RTO biedt een *incinerator* slechts beperkte mogelijkheden voor hergebruik van energie binnen de installatie. Energieterugwinning voor externe toepassing is in bepaalde situaties wel mogelijk.

Een variant op een *incinerator* is een zogenaamde 'recuperatieve thermische oxidatie'-installatie (niet te verwarren met een RTO zoals eerder beschreven in dit rapport). In dit type installatie vindt ook behandeling van dampen plaats in een verbrandingskamer. De installatie verschilt echter van een typische *incinerator* doordat intern hergebruik van warmte mogelijk is door middel van een warmtewisselaar in het rookgaskanaal. Deze teruggewonnen warmte wordt vervolgens gebruikt voor het voorverwarmen van de ingaande dampstroom. Dit type installatie is echter niet geschikt voor toepassing op *liquid bulk* terminals als VTE, en wel om de volgende redenen:

- Het voordeel van dit type DVI wordt uitsluitend behaald indien de dampstroom slechts beperkt varieert in volume en damp samenstelling. Verlading op een terminal als VTE is echter een typisch *batch* proces, met zeer grote fluctuaties in dampdebieten en VOS-concentraties.
- Om te borgen dat dampen in de warmtewisselaar niet boven de zelfontbrandingstemperatuur komen is waarschijnlijk (sterke) verdunning noodzakelijk, vergelijkbaar met in dit rapport beschreven toepassing van een RTO. De omvang van de installatie neemt hierdoor significant toe, waardoor de inpasbaarheid binnen de inrichting problematisch of onmogelijk wordt.
- Om corrosie van de warmtewisselaar te voorkomen moet de temperatuur van de dampen in dit installatieonderdeel boven de 250 tot 300°C gehouden worden. Deze temperatuur kan echter niet geborgd worden bij dit type installatie, aangezien de ingaande dampen 'koud' zijn (omgevingstemperatuur) en de uitgaande dampen tot onder deze grenswaarde gekoeld moeten worden om nabehandeling in een gaswasser mogelijk te maken.
- De zeer grote variatie in de energievracht van de te behandelen dampen maakt het ontwerpen van een geschikte warmtewisselaar waarschijnlijk technisch onmogelijk.

Wijze van toepassing binnen VTE

Een *incinerator* kent geen beperkingen met betrekking tot een maximaal ingaande VOS-concentratie en hoeft niet onder de LEL-waarde bedreven te worden. Hierdoor kan zonder verdunning van de dampstroom worden voldaan aan het uitgangspunt van VTE ten aanzien van de benodigde thermische ontwerpcapaciteit

(zie paragraaf 2.3). Het oppervlaktebeslag van de installatie (circa 500 m² per lijn, exclusief installaties voor warmteterugwinning) en de diameter van het bijhorende leidingwerk kan hierdoor relatief beperkt blijven.

Om aan alle uitgangspunten van VTE te kunnen voldoen is een DVI nodig die bestaat uit twee parallel opererende lijnen. Deze lijnen zijn ieder opgebouwd uit de volgende installaties:

- Eén thermische oxidatiereactor (“*incinerator*”) met een thermisch vermogen van 25 MW waarin vrijwel alle VOS-emissies worden verbrand;
- Eén natte koeler (“*quencher*”) voor het verlagen van de temperatuur van de verbrandingsgassen;
- Eén gaswasser (“*scrubber*”) om zwavelverbindingen (zoals SO_x en geurende componenten) te verwijderen;
- Eén optionele DeNO_x-installatie om NO_x te verwijderen.

Het grote voordeel van deze oplossing is dat op een relatief simpele wijze in vrijwel alle situaties kan worden voldaan aan de van toepassing zijnde emissie-eisen uit het Activiteitenbesluit. Aanvullend biedt deze installatie een effectievere oplossing dan de bestaande GVI's voor de geurproblematiek van de inrichting. Het grootste nadeel van dit type DVI zijn de hoge operationele kosten vanwege het hoge gas- en waterverbruik.

Toepassing van recuperatieve thermische oxidatie is niet mogelijk vanwege de zeer grote schommelingen in debiet en VOS-concentraties van de te verwerken beladingsdampen.

Zoals in paragraaf 1.1 al kort toegelicht, heeft de op verzoek van het bevoegd gezag uitgevoerde KBA aangetoond dat toepassing van warmteterugwinning in combinatie met een *incinerator* op geen enkele wijze kosteneffectief uitvoerbaar is binnen de specifieke situatie van VTE. De conclusies van de KBA zijn voor de volledigheid opgenomen in het tekstkader op pagina 20.

VTE wil hier nogmaals benadrukken dat zij niet onwelwillend staat tegenover het toepassen van warmteterugwinning. De benodigde investering moet echter wel bedrijfseconomisch verantwoord kunnen worden. De resultaten van de KBA laten tonen echter onomstotelijk aan dat de kosten van warmteterugwinning op geen enkele wijze in verhouding staan tot de baten van warmteterugwinning. Een verplichting vanuit het bevoegd gezag om toch warmteterugwinning toe te passen zou een onuitvoerbare bedrijfseconomische last voor VTE met zich mee brengen. In hoofdstuk 4 wordt deze argumentatie verder onderbouwd.

Toetsing knock-out criteria

De toetsing van deze oplossing (zowel met als zonder toepassing van warmteterugwinning) aan de *knock-out* criteria is opgenomen in Tabel 10.

Tabel 10: Toetsing knock-out criteria (Incinerator met nageschakelde scrubber)

Knock-out criteria	Toetsing criteria – Incinerator met nageschakelde scrubber	Voldoet?
Veiligheid en betrouwbaarheid	Zonder warmteterugwinning: zowel de veiligheid ⁽¹⁾ als betrouwbaarheid van deze oplossing zijn zeer hoog. Met warmteterugwinning: het veilig afkoppelen en transporteren van de restwarmte vraagt een zeer groot aantal aanvullende beveiligingen. Dit heeft met name een negatief effect op de bedrijfszekerheid van deze oplossing.	Zonder WTW: Ja Met WTW: Onzeker
Voldoen aan emissie-eisen	Met deze oplossing kan aan alle van toepassing zijnde emissie-eisen worden voldaan. Het naschakelen van een DeNO _x -installatie is ook mogelijk. Het wel of niet toepassen van warmteterugwinning heeft geen effect op dit criterium.	Ja

Knock-out criteria	Toetsing criteria – Incinerator met nageschakelde scrubber	Voldoet?
Voldoen aan BBT	Een <i>incinerator</i> uitgerust met een warmtewisselaar voor het afkoppelen van restwarmte voldoet aan de BBT-eis met betrekking tot energierugwinning. Toepassing van deze techniek binnen de specifieke situatie van VTE is echter niet kosteneffectief. Daarnaast is in de BVB opgenomen dat het toepassen van een <i>incinerator</i> zonder energierugwinning in bepaalde gevallen (o.a. behandelen van geuremissies afkomstig van stookolie) als BBT kan worden beschouwd. Het toepassen van een <i>incinerator</i> voor de specifieke situatie van VTE kan daarom als BBT worden beschouwd. Dit wordt verder beargumenteerd in hoofdstuk 4.	Ja
Fysieke inpasbaarheid	Deze oplossing is fysiek inpasbaar in het binnen inrichting beschikbare oppervlak. Bij toepassing van warmteterugwinning wordt het beschikbare oppervlak volledig gebruikt. Zonder warmteterugwinning blijft ongeveer 400 m ² vrij.	Ja

1) Een *incinerator* beschikt over een open vlam en kan daardoor niet geclassificeerd worden als een ATEX-zone 0 systeem. Om toch aan deze veiligheidseisen te kunnen voldoen worden de dampleidingen naar de *incinerator* van de vereiste beveiligingen voorzien, zoals detonatiebeveiligingen en elektronische beveiligingen (SIL) voor de borging van een minimale dampsnelheid waarmee vlamte-rugslag in de dampleiding wordt voorkomen.

Evaluatie overige criteria

De resultaten van evaluatie van deze oplossing aan de hand van de overige selectiecriteria (zowel met als zonder toepassing van warmteterugwinning) is opgenomen in Tabel 11.

Tabel 11: Evaluatie overige selectiecriteria (Incinerator met nageschakelde scrubber)

Selectiecriteria	Evaluatie - Incinerator met nageschakelde scrubber	Voor- of nadeel
Effect componenten dampstroom	De verschillende componenten in de dampstroom hebben geen negatief effect op de installatieonderdelen van een <i>incinerator</i> , zowel in een situatie met als zonder warmteterugwinning.	Voordeel
Investeringskosten (CAPEX)	Hoge investeringskosten, zowel met als zonder warmteterugwinning: - Zonder warmteterugwinning: circa €41 miljoen (+/- 10%) - Met warmteterugwinning: circa €48 miljoen (+/- 10%)	Nadeel
Operationele kosten (OPEX)	Hoge operationele kosten door hoog energieverbruik (en relatief lage opbrengsten van teruggewonnen warmte), hoge onderhoudskosten bij warmteterugwinning en hoog waterverbruik (circa €1,4 miljoen per jaar voor beide opties).	Nadeel
Bewezen toepassing van techniek	Zonder warmteterugwinning: Vopak maakt op meerdere terminals al gebruik van <i>incinerators</i> . Daarnaast is dit een bewezen dampverwerkingstechniek binnen de (petro-)chemische industrie. Met warmteterugwinning: Vopak heeft geen ervaring met <i>incinerators</i> en toepassing van warmteterugwinning.	Zonder WTW: Voordeel Met WTW: Nadeel
Complexiteit van de oplossing	Zonder warmteterugwinning: "Alles-in-1" oplossing. Installatie is relatief simpel te bedienen. Met warmteterugwinning: de veilige afkoppeling en het transport van warmte maken de installatie vragen een zeer groot aantal aanvullende beveiligingen. Dit maakt deze oplossing zeer complex.	Zonder WTW: Voordeel Met WTW: Nadeel

Selectiecriteria	Evaluatie - <i>Incinerator</i> met nageschakelde scrubber	Voor- of nadeel
Toekomstbestendigheid installatie	Bij toepassing van warmteterugwinning wordt het beschikbare oppervlak volledig gebruikt, wat de uitbreidingsmogelijkheden van de installatie beperkt. Zonder warmteterugwinning blijft ongeveer 400 m ² vrij. Deze ruimte kan ingezet worden voor eventuele toekomstige uitbreidingen van de DVI. In beide gevallen beschikt de installatie over voldoende capaciteit om aanvullende emissiebronnen te behandelen.	Voordeel

Conclusie

Deze oplossing (zonder warmteterugwinning) voldoet aan alle door VTE opgestelde uitgangspunten en *knock-out* criteria. Ondanks de hoge investeringskosten en het hoge gas- en waterverbruik, biedt een *incinerator* met nageschakelde *scrubber* een totaaloplossing voor het behandelen van de beladingsemissies afkomstig van VP1 en VP2. Ook heeft deze installatie voldoende overcapaciteit om invulling te kunnen geven aan het bredere *masterplan* van VTE om de luchtmissies vanuit de terminal in de toekomst verder te reduceren.

Conclusies volledige kosten-batenanalyse (KBA)

(Hieronder) zijn de belangrijkste uitgangspunten en conclusies van de KBA voor het gebruik van restwarmte afkomstig van de nieuwe DVI samengevat. Deze zijn als volgt:

- De sterke fluctuaties in hoeveelheid en samenstelling van de te behandelen dampen beperken de toepassingsmogelijkheden en bijbehorende opbrengsten van warmteterugwinning. Door het hoge ontwerpvermogen van de DVI zijn de investeringskosten hoog.
- De organisatorische en juridische haalbaarheid van warmteterugwinning zijn het grootst wanneer de warmte binnen de inrichting wordt hergebruikt. Daarom heeft het gebruik van de restwarmte in het bestaande warmwatersysteem van VTE de voorkeur. Door proces-technische beperkingen kan echter slechts een deel van de restwarmte aan dit systeem worden geleverd. Daarbij komt dat deze optie met een terugverdientijd van 24 jaar en een NCW van -€3.420.000 economisch niet haalbaar is. Het aanvullend toepassen van LUVO heeft vrijwel geen effect op de economische haalbaarheid.
- Ook het aanvullend op intern hergebruik leveren van restwarmte aan een toekomstig extern warmtenet is met terugverdientijden van 23 tot 27 jaar economisch niet haalbaar. Aan externe warmtelevering zitten daarnaast ook nog grote organisatorisch, juridische en financiële onzekerheden.

In onderstaande tabel zijn de resultaten van de volledige KBA nogmaals samengevat. Op basis van de uitkomsten van deze KBA wordt geconcludeerd dat intern en/of extern hergebruik van warmte afkomstig van de DVI economisch niet haalbaar is.

Optie	Omschrijving	Investering	Besparing [€/jr]	TVT [jr]	NCW	Besparing [GJ/jr]	Besparing [ton CO ₂ /jr]
1	Intern hergebruik	€ 7.000.000	€ 290.000	24,2	€ -3.420.000	42.500	2.107
2	Optie 1 plus LuVo	€ 7.884.000	€ 292.000	27,0	€ -4.115.000	43.600	2.158
3	Optie 1 plus extern warmtenet	€ 8.611.000	€ 322.000	26,7	€ -4.473.000	54.300	2.029
4	Intern hergebruik met maximaal HO-systeem en extern warmtenet-systeem; interne + externe warmtelevering	€ 11.205.000	€ 459.000	24,4	€ -5.510.000	96.300	1.725
5	Optie 4 plus extra warmtewisselaar rookgassen	€ 13.652.000	€ 586.000	23,3	€ -6.507.000	128.000	1.697

3.7 Toepassing van verschillende dampverwerkingstechnieken

Beschrijving techniek en wijze van toepassing binnen VTE

De laatste door VTE onderzochte oplossing heeft als uitgangspunt dat VOS-rijke en VOS-arme dampen met behulp van twee gescheiden systemen worden verwerkt. Hierbij is gekeken naar de volgende twee opties:

■ **Optie 1 – PSA/RTO in combinatie met een zelfstandige RTO:**

Rijke dampen⁸ worden behandeld met een combinatie van actiefkool en nabehandeling met een RTO. Dit systeem moet een volumetrische capaciteit hebben van in totaal 8.000 m³ per uur. Met het oog op het creëren van voldoende redundantie wordt deze capaciteit verdeeld over twee verwerkingslijnen van ieder 4.000 m³ per uur. Arme dampen⁹ worden behandeld met een zelfstandig opererende RTO. De benodigde volumetrische capaciteit van deze RTO ligt tussen de 100.000 en 150.000 m³ per uur.

■ **Optie 2 – Incinerator in combinatie met een zelfstandige RTO:**

Rijke dampen worden behandeld met een *incinerator*. Deze installatie is opgebouwd uit twee lijnen met ieder een thermisch vermogen van 25MW en een volumetrische capaciteit van 3.000 tot 4.000 m³ per uur. Arme dampen worden behandeld met een zelfstandige RTO. De benodigde volumetrische capaciteit van deze RTO ligt tussen de 100.000 en 150.000 m³ per uur.

Het gescheiden verwerken van dampen is de meeste effectieve dampverwerkingsoplossing, aangezien dit de mogelijkheid biedt om de gekozen technologieën volledig af te stemmen op samenstelling van de te behandelen dampen. Dit zorgt voor een hoog niveau van veiligheid en bedrijfszekerheid en biedt de garantie dat onder alle omstandigheden aan de emissie-eisen kan worden voldaan.

Het daadwerkelijk in de praktijk toepassen van een gescheiden systeem binnen de inrichting van VTE heeft echter ook een aantal significante nadelen en beperkingen:

- Om de benodigde scheiding van dampen mogelijk te maken is het bij beide opties noodzakelijk dat al het leidingwerk vanaf VP1 en VP2 tot aan de dampverwerkingsinstallaties dubbel wordt aangelegd. Met name op VP1 is zeer weinig ruimte beschikbaar voor aanvullend leidingwerk.
- Het ruimtebeslag van beide opties is naar verwachting dusdanig groot dat deze oplossing technisch niet fysiek inpasbaar is binnen de inrichting. Zo neemt de in beide opties benodigde zelfstandig opererende RTO naar verwachting al 2.000 tot 2.500 m² in beslag. Aanvullend is of een koolbed van circa 500 m² en een producttank van 1.000 m² nodig (optie 1) of een *incinerator* van 1.000 m² (optie 2, exclusief installaties voor warmteterugwinning). Binnen de inrichting is echter slechts 1.400 m² beschikbaar.
- Beide opties hebben als algemeen uitgangspunt dat emissies afkomstig van stookolieverladingen (verreweg het grootste deel van de doorzet op VP1 en VP2) voornamelijk uit arme dampen bestaan. In de praktijk zal echter verreweg het grootste deel van de dampen afkomstig zijn van verladingen van stookolie met een *pre-load* van ruwe olie. Emissiemetingen tijdens stookolieverladingen op VP1 en VP2 hebben aangetoond dat de VOS-concentraties in deze dampen dusdanig hoog zijn dat deze emissies als een rijke damp behandeld moeten worden (zie ook paragraaf 2.3). Deze constatering heeft grote implicaties voor de praktische haalbaarheid van de twee onderzochte opties:
 - In optie 1 worden rijke dampen behandeld via de PSA/RTO-verwerkingsroute. Rijke dampen afkomstig van stookolie met een *pre-load* van ruwe olie kunnen vanwege de hoge concentraties van zwaavelcomponenten en lichte fracties echter niet goed behandeld worden met actiefkool. In de praktijk

⁸ Rijke dampen hebben een relatief hoge VOS-concentratie (meer dan 100 gram VOS per m³) en zijn afkomstig van ruwe olie en condensaat, nafta en benzine (inclusief *pre-load* nafta en benzine) en van het merendeel van de dampen afkomstig van stookolie met *pre-load* van ruwe olie (zie ook paragraaf 2.3).

⁹ Arme dampen hebben een relatief lage VOS-concentratie (tot 100 gram VOS per m³) en zijn afkomstig van jet fuel, kerosine, gasolie en stookolie en voor een zeer beperkt deel van stookolie met *pre-load* van ruwe olie.

zal dit betekenen dat deze dampstroom verwerkt moet worden met de zelfstandig opererende RTO. Behandeling van rijke stookoliedampen met een (onverdund) dampdebiet van meer dan 10.000 m³ per uur in een RTO vereist echter een dusdanig hoge verdunning (minimaal een factor 10, mogelijk zelfs een factor 20 bij *pre-load* met ruwe olie) dat het ruimtebeslag van de RTO in deze situatie nog groter wordt dan beschreven in het vorige punt.

- Voor optie 2 geldt dat de meerwaarde van deze combinatie van technieken ten opzichte van andere oplossingen alleen gerealiseerd kan worden indien het merendeel van de dampen afkomstig van stookolieverladingen met de RTO behandeld wordt. Doordat deze dampstroom in de praktijk echter voor het grootste deel uit rijke dampen bestaat, zal het merendeel van de tijd gebruik moeten worden gemaakt van de *incinerator*. De potentiële energiebesparing van deze optie ten opzichte van een zelfstandig opererende *incinerator* wordt hiermee tenietgedaan.

Toetsing knock-out criteria

De toetsing van deze oplossing aan de *knock-out* criteria is opgenomen in Tabel 12.

Tabel 12: Toetsing knock-out criteria (Combinatie van dampverwerkingstechnieken)

Knock-out criteria	Toetsing criteria – Combinatie van dampverwerkingstechnieken	Voldoet?
Veiligheid en betrouwbaarheid	Optie 1: hoge verdunningsfactor nodig om LEL-waarde in RTO te borgen. Onzeker of deze borging praktisch haalbaar is. Daarnaast zorgt de accumulatie van lange koolstofketens in het koelfilter voor een te hoog risico met betrekking tot de borging van de bedrijfszekerheid van deze oplossing. Optie 2: zowel de veiligheid als de betrouwbaarheid van deze opties zijn voldoende hoog.	Optie 1: Nee Optie 2: Ja
Voldoen aan emissie-eisen	Met beide opties kan aan alle van toepassing zijnde emissie-eisen worden voldaan. Het naschakelen van een optionele DeNOx-installatie bij de <i>incinerators</i> is ook mogelijk. Naschakelen van een optionele DeNOx is niet mogelijk bij een RTO vanwege de relatief lage uitgangstemperatuur van het rookgas (~60°C).	Ja
Voldoen aan BBT	Deze oplossing voldoet aan de BBT-criteria voor zowel energie- als productterugwinning.	Ja
Fysieke inpasbaarheid	Beide opties beslaan een oppervlak dat meer dan een factor twee groter is dan het binnen de inrichting beschikbare oppervlak.	Nee

Evaluatie overige criteria

De resultaten van evaluatie van deze oplossing aan de hand van de overige selectiecriteria is opgenomen in Tabel 13.

Tabel 13: Evaluatie overige selectiecriteria (Combinatie van dampverwerkingstechnieken)

Selectiecriteria	Evaluatie – Combinatie van dampverwerkingstechnieken	Voor- of nadeel
Effect componenten dampstroom	Zeer hoge verdunning van dampstroom nodig bij beide opties om aan maximale ingaande VOS-concentratie van een RTO te kunnen voldoen.	Nadeel
Investeringskosten (CAPEX)	De investeringskosten van beide opties zijn zeer hoog met name vanwege het aantal installaties en het gescheiden leidingwerk: - Optie 1: circa €64 miljoen (+/- 40%) - Optie 2: circa €51 miljoen (+/- 40%)	Nadeel

Selectiecriteria	Evaluatie – Combinatie van dampverwerkingstechnieken	Voor- of nadeel
Operationele kosten (OPEX)	De operationele kosten zijn in (theorie) relatief lager, met name door gemiddeld een lager energieverbruik: - Optie 1: €800.000 per jaar - Optie 2: €1 miljoen per jaar	Optie 1: Voordeel Optie 2: Neutraal
Bewezen toepassing van techniek	Vopak past op een aantal terminals deze combinatie van maatregelen toe, alleen niet in een vergelijkbare toepassing (behandeling van zwarte en schone producten).	Nadeel
Complexiteit van de oplossing	Zeer hoge complexiteit vanwege de scheiding van dampen, het bewaken van de redundantie en de borging van de LEL-waarde in relatie tot de omvang van de installatie.	Nadeel
Toekomstbestendigheid installatie	Beide opties bieden voldoende capaciteit en flexibiliteit om aanvullende emissiebronnen te kunnen behandelen.	Voordeel

Conclusie

Het met behulp van gescheiden systemen behandelen van beladingsdampen is vanwege het oppervlaktebeslag een technisch niet inpasbare optie binnen de inrichting van VTE. Daarnaast kunnen bij optie 1 de veiligheid en bedrijfszekerheid van de DVI onvoldoende geborgd worden. Verder zijn de investeringskosten van beide onderzochte opties significant hoger dan alle andere onderzochte oplossingen, terwijl de behaalde emissiereductie vrijwel gelijk is. Dit maakt de keuze voor een oplossing op basis van gecombineerde dampverwerkingstechnieken niet kosteneffectief.

4 Definitieve technologiekeuze

4.1 Inleiding

Dit hoofdstuk beschrijft de laatste stap in het door VTE doorlopen selectieproces voor de nieuwe centrale DVI: de definitieve keuze voor de toe te passen dampverwerkingstechniek.

Als eerste wordt in dit hoofdstuk een samenvattend overzicht gegeven van de niet-geselecteerde technieken en de criteria op basis waarvan deze beslissing is genomen. Vervolgens worden de prestaties van de voorkeurstecnologie van VTE (een *incinerator* zonder warmteterugwinning) vergeleken met de bestaande situatie (de twee GVI's) en één alternatieve oplossing (een *incinerator* met warmteterugwinning). Bij deze vergelijking wordt ook gebruikt gemaakt van de resultaten van de door Royal HaskoningDHV uitgevoerde toets aan de *REF Economics and Cross-Media Effects*. De volledige toets is opgenomen in bijlage 1 van dit rapport. Dit hoofdstuk wordt afgesloten met een nadere onderbouwing van de stelling dat de voorkeursoplossing van VTE als BBT kan worden beschouwd voor de behandeling van beladingsemissies afkomstig van VP1 en VP2.

4.2 Overzicht niet-geselecteerde dampverwerkingstechnieken

In het vorige hoofdstuk is een uitgebreide toelichting gegeven op de door VTE uitgevoerde evaluatie van de potentieel binnen de inrichting toepasbare dampverwerkingstechnieken. Het belangrijkste onderdeel van deze evaluatie was de toetsing van de verschillende technieken aan een aantal *knock-out* criteria. Technieken die niet kunnen voldoen aan een of meerdere van deze criteria zijn om (proces-)technische redenen niet toepasbaar binnen de inrichting van VTE.

De uitkomsten van deze toetsing laten zien dat alleen een *incinerator* aan alle *knock-out* criteria kan voldoen. Voordat op de vergelijking van deze techniek met de bestaande situatie wordt ingegaan, wordt eerst in Tabel 14 een samenvatting gegeven van de verschillende redenen waarom de andere onderzochte technieken niet toepasbaar zijn binnen de inrichting. In algemene zin kan gesteld worden dat met name de combinatie van ruimtegebrek en de aard en omvang van de beladingsactiviteiten aan VP1 en VP2 (hoge debieten van dampen met hoge VOS- en zwavelconcentraties) de meest beperkende factoren zijn geweest bij de technologieselectie.

Tabel 14: Overzicht niet-geselecteerde dampverwerkingstechnieken

Techniek	Reden voor <i>knock-out</i>
<i>Zelfstandige RTO</i>	- Procesveiligheid RTO kan niet geborgd worden - Ruimtebeslag RTO factor vier groter dan beschikbare oppervlak
<i>Condensatie met RTO</i>	- Bedrijfszekerheid ontoereikend door verstoppingen in het systeem - Teruggewonnen product moet afgevoerd worden als chemisch afval - Ruimtebeslag RTO factor twee groter dan beschikbare oppervlak - Ruimtebeslag koelinstallaties groter dan beschikbare oppervlak bij VP1/VP2
<i>Actiefkool (PSA) met RTO</i>	- PSA is niet geschikt voor dampen met lange koolstofketens - Teruggewonnen product moet afgevoerd worden als chemisch afval - Ruimtebeslag installaties factor tot drie groter dan beschikbare oppervlak
<i>Combinatie van PSA/RTO met zelfstandige RTO</i>	- PSA is niet geschikt voor dampen met lange koolstofketens - Procesveiligheid zelfstandige RTO kan niet geborgd worden - Ruimtebeslag installaties factor drie groter dan beschikbare oppervlak
<i>Combinatie van incinerator met zelfstandige RTO</i>	- Ruimtebeslag installaties factor drie groter dan beschikbare oppervlak

4.3 Eindevaluatie geselecteerde technieken

Het door VTE doorlopen selectieproces levert één dampverwerkingstechniek op die aan alle uitgangspunten en *knock-out* criteria kan voldoen: een *incinerator* met nageschakelde *scrubber*. Deze *incinerator* kan vervolgens met of zonder warmteterugwinning (WTW) ontworpen worden. Zoals in paragraaf 3.6 al beschreven, is het op bedrijfseconomische gronden echter niet haalbaar om warmteterugwinning toe te passen. Daarnaast maakt de omvang van de benodigde warmtewisselaar en de complexiteit van de vereiste beveiligingen in het warmtetransportsysteem de borging van de veiligheid en bedrijfszekerheid van de DVI onzeker.

Desondanks is de alternatieve optie voor een *incinerator* met WTW wel meegenomen in de vergelijking van de geselecteerde technieken met de bestaande situatie. Deze vergelijking is opgenomen in Tabel 15. In deze tabel zijn ook de resultaten van de toetsing aan de *REF Economics and Cross-Media Effects* samengevat. Onder de tabel en in paragraaf 4.4 wordt een toelichting gegeven op respectievelijk de vergelijking met de bestaande situatie en de uitgevoerde *cross-media* toets.

Tabel 15: Vergelijking geselecteerde dampverwerkingstechnieken met bestaande situatie, inclusief resultaten cross-media toets

	Bestaande situatie (twee GVI's)	Incinerator zonder WTW	Incinerator met WTW
Knock-out criteria			
Veiligheid en betrouwbaarheid	Ja	Ja	Onzeker
Voldoen aan emissie-eisen	Nee ⁽¹⁾	Ja	Ja
Voldoen aan BBT	Nee	Ja ⁽²⁾	Ja
Fysieke inpasbaarheid	Ja	Ja	Ja
Overige selectiecriteria (een minteken geeft een nadeel weer, een plusteken een voordeel)			
Effect componenten	-- ⁽¹⁾	++	++
Investeringskosten	n.v.t.	-	--
Operationele kosten	+	--	--
Bewezen toepassing	-- ⁽¹⁾	++	+/-
Complexiteit oplossing	n.v.t.	++	-
Toekomstbestendigheid	-- ⁽¹⁾	++	+
Cross-media criteria (een negatief % geeft een verbetering weer ten opzichte van de bestaande situatie, een positief % een verslechtering)			
Humane toxiciteit	0%	-47%	-46%
Opwarming van de aarde	0%	-2%	-20%
Aquatische toxiciteit	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
Verzuring	0%	-8%	-6%
Eutrofiëring	0%	+135%	+139%
Ozonepletie	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
Fotochemische ozonvorming	0%	-92%	-92%
Totaalscore cross-media toets			
Cumulatief milieueffect	0% (referentie)	-14%	-25%
Totale schaduwkosten emissies	€0 (referentie)	€ -3.539.902	€ -3.900.391
Benefit/investment-ratio ⁽³⁾	n.v.t.	0,95	0,90

1) De GVI's zijn alleen effectief voor verwijdering van geurende componenten.

2) Dit wordt verder toegelicht in paragraaf 4.5.

3) De milieuwinst per geïnvesteerde euro.

De vergelijking tussen de bestaande en de voorgenomen situatie op basis van de *knock-outs* en overige selectiecriteria toont onomstotelijk aan dat vervanging van de GVI's door een *incinerator* vrijwel uitsluitend voordelen heeft. Dit is ook niet vreemd, aangezien met de GVI's enkel geurende componenten uit de damp worden verwijderd. De bestaande situatie voldoet dan ook niet aan BBT voor de behandeling van belastingsemissies.

Met de voorgenomen *incinerator* kan onder vrijwel alle omstandigheden aan de van toepassing zijnde emissie-eisen worden voldaan. Ook is dit type DVI dermate robuust dat het zuiveringsrendement, de procesveiligheid en de bedrijfszekerheid relatief eenvoudig te borgen zijn, op voorwaarde dat geen gebruik wordt gemaakt van warmteterugwinning. Recent door VTE uitgevoerde veiligheidsstudies (HAZOP en LOPA) hebben aangetoond dat een aanzienlijk deel van de veiligheidsscenario's van de installatie gerelateerd zijn aan het uitkoppelen en transporteren van de restwarmte. VTE heeft daarom ook vanuit het oogpunt van procesveiligheid een voorkeur voor het niet toepassen van warmteterugwinning, aangezien het weglaten van deze voorziening de veiligheid van de DVI sterk ten goede komt.

Het grootste nadeel van een *incinerator* zijn de hoge investerings- en operationele kosten. Deze laatstgenoemde kostenpost is met name het gevolg van het hoge aardgasverbruik van de installatie. Toepassing van warmteterugwinning zorgt naar verwachting voor slechts een beperkte verlaging van de totale operationele kosten, aangezien de benodigde warmtewisselaar en het aanvullende interne warmtenet veel aanvullend onderhoud vragen. Ook is toepassing van warmteterugwinning bedrijfseconomisch niet haalbaar vanwege de zeer hoge terugverdientijd van de benodigde investering (> 20 jaar). Voor een uitgebreide berekening van de kosten en de baten van warmteterugwinning bij toepassing van een *incinerator* wordt verwezen naar bijlage M10 van de vergunningaanvraag.

Toepassing van warmteterugwinning levert daarnaast ook slechts een beperkte milieuwinst op in vergelijking met een *incinerator* zonder warmteterugwinning. Om dit inzichtelijk te maken zijn de bredere milieueffecten van zowel de bestaande situatie als van deze twee alternatieven berekend aan de hand van een zogenaamde *cross-media* toets.

4.4 Toelichting *cross-media* toets

4.4.1 De methodiek

De *REF Economics and Cross-Media Effects* (hierna: ECME) is het Europese referentiedocument voor de (algemene) bepaling van Best Beschikbare Technieken. Het doel van de in het document beschreven *cross-media* methodologie is het geven van "*guidance*", een richtinggevende methodiek, die leidt tot een keuze voor de minst schadelijke optie voor het milieu. Hierbij richt de methodiek zich op het maken van een weloverwogen, consistente en heldere afweging bij het stellen van prioriteiten bij het treffen van emissiebeperkende maatregelen indien bij een bepaalde activiteit twee of meer emissies optreden die een effect hebben op hetzelfde milieucompartiment.

De *cross-media* methodologie houdt geen rekening met lokale omstandigheden, maar levert een globale "*screening tool*" die helpt bij het identificeren van de emissiecomponent die naar alle waarschijnlijkheid het grootste effect heeft op de lokale milieuomstandigheden. Om de milieueffecten voor elke emissie te kwantificeren zijn in de ECME zeven criteria of milieuaspecten gedefinieerd:

- 1 Humane toxiciteit
- 2 Opwarming van de aarde
- 3 Aquatische toxiciteit
- 4 Verzuring

- 5 Eutrofiëring
- 6 Ozondepletie
- 7 Fotochemische ozonvorming

Deze criteria zijn gebaseerd op de meest significante milieueffecten die emissies in algemene zin kunnen veroorzaken. Aan de hand van deze criteria kunnen vervolgens de effecten van verschillende typen emissies objectief met elkaar vergeleken worden. De ECME geeft hierbij voor ieder afzonderlijk criterium een rekenmethode waarmee het effect van een bepaald type emissie op het bijbehorende milieuaspect kwantitatief bepaald kan worden. Op basis van de uitkomsten van deze berekeningen kan uiteindelijk een beslissing worden genomen over welke emissie of emissiebeperkende maatregel de hoogste prioriteit zou moeten krijgen. De ECME biedt hierbij de mogelijkheid om zelf een weging toe te kennen aan de uitkomsten van de berekeningen, bijvoorbeeld op basis van wettelijke verplichtingen of specifieke lokale omstandigheden.

In bijlage 1 van deze rapportage is een uitgebreide beschrijving van de zeven criteria en de toetsingsresultaten opgenomen. Ook wordt in deze bijlage in detail ingegaan op de verschillende informatiebronnen, uitgangspunten en aannames die zijn gehanteerd bij de berekening van het effect van de geselecteerde dampverwerkingstechnieken op de zeven criteria uit de ECME.

4.4.2 Toelichting op de resultaten

De resultaten van de *cross-media* toets zijn samengevat in Tabel 15 en uitgedrukt in een percentage. Dit percentage geeft een verslechtering (positieve waarde) of verbetering (negatieve waarde) ten opzichte van de bestaande situatie weer (deze is op 0% gesteld). Deze verbetering of verslechtering is bepaald voor de zeven verschillende ECME-criteria. Vervolgens zijn de cumulatieve prestaties van de drie getoetste technieken op een aantal manieren inzichtelijk gemaakt.

Toelichting resultaten per criterium

De berekende effecten per criterium laten deels een verbetering en deels een verslechtering zien ten opzichte van de bestaande situatie:

- **Humane toxiciteit:** de voorgenomen *incinerator* verwijdert meer componenten uit de dampstroom dan de bestaande GVI's. De potentieel negatieve effecten van de activiteiten van VTE op de leefomgeving nemen hierdoor significant af. Het positieve effect van een *incinerator* is iets minder vanwege het relatief hogere elektriciteitsverbruik en de hieraan gerelateerde indirecte emissies van toxische stoffen.
- **Opwarming van de aarde:** de bestaande GVI's werken op elektriciteit en veroorzaken daardoor uitsluitend een relatief beperkte indirecte CO₂-emissie. Het energieverbruik van een *incinerator* is vele malen hoger dan dat van de GVI's. Toch zorgt toepassing van een *incinerator* voor een verbetering op dit aspect. Dit komt doordat VOS-emissies een CO₂-equivalent effect hebben in de atmosfeer. In de bestaande situatie worden deze VOS-emissies onbehandeld geëmitteerd. Het verwijderingsrendement voor VOS van een *incinerator* is dusdanig hoog dat de toename in CO₂-emissies als gevolg van het energieverbruik van deze installatie hierdoor meer dan volledig wordt gecompenseerd. Dit effect is het grootst bij een *incinerator* met warmteterugwinning omdat het netto-energieverbruik van deze installatie relatief lager is. Echter, het positieve effect van de verwijdering van VOS-emissies is zo sterk dat ook toepassing van een *incinerator* zonder warmteterugwinning een verbetering oplevert ten opzichte van de bestaande situatie.
- **Aquatische toxiciteit:** zowel in de bestaande als in de voorgenomen situatie treden geen emissies op die een effect hebben op dit criterium. Het sulfaat in het waswater van de na de *incinerator* geschakelde *scrubber* heeft geen aqua-toxisch effect.

- **Verzuring** is een gevolg van de emissie van met name H_2S en SO_2 . Deze emissies treden op als gevolg van respectievelijk het verladen van zwavelhoudende producten en het verbrandingsproces in de *incinerator*. Daarnaast veroorzaakt de opwekking van elektriciteit in energiecentrales indirecte emissies van verzurende stoffen. Ondanks dat de bestaande GVI's geen SO_2 produceren, is het zuiveringsrendement voor H_2S van een *incinerator* vele malen hoger dan dat van een GVI. Hierdoor treedt op dit aspect netto een verbetering op als gevolg van toepassing van een *incinerator*. Verder veroorzaakt een *incinerator* met warmteterugwinning een iets hogere indirecte SO_2 -emissie vanwege het hogere elektriciteitsverbruik ten opzichte van een installatie zonder warmteterugwinning.
- **Eutrofiëring** is een gevolg van de emissie van NO_2 . Ook deze emissie treedt op als gevolg van verbrandingsprocessen in de *incinerator* en bij elektriciteitsopwekking. Hier treedt om dezelfde reden als bij verzuring een verslechtering op ten opzichte van de bestaande situatie. Ook wordt het verschil tussen een *incinerator* met en zonder warmteterugwinning hier veroorzaakt door het verschil in elektriciteitsverbruik.
- **Ozonepletie** wordt voornamelijk veroorzaakt door emissies van Cfk's (chloorfluorkoolwaterstoffen). Deze stoffen worden niet geëmitteerd in zowel de bestaande als de voorgenoemde situatie.
- **Fotochemische ozonvorming**: ozon kan onder invloed van zonlicht gevormd worden uit een serie complexe chemische reacties in de atmosfeer waarbij onder andere NO_x en VOS reageren. Deze stoffen worden niet uit de dampstroom verwijderd in de bestaande situatie. Toepassing van een *incinerator* heeft daarom een sterk positief effect op dit aspect. Het wel of niet toepassen van warmteterugwinning heeft geen invloed op dit aspect, aangezien het verwijderingsrendement van beide opties gelijk is en de impact van indirecte NO_x emissies op dit aspect beperkt is.

Toelichting bij cumulatieve scores

De berekende effecten per *cross-media* criterium vertonen grote variatie, wat het formuleren van een algemene conclusie over het totale milieueffect van de getoetste technieken lastig maakt. Om toch tot een dergelijke conclusie te kunnen komen is een (ongewogen) gemiddelde effectscore berekend voor de *incinerator* met en zonder warmteterugwinning. Vervolgens zijn, conform de ECNE-methodiek, de zogenaamde 'schaduwkosten' van de optredende emissies berekend. Deze indicator geeft een inschatting van de maatschappelijke kosten die gemaakt moeten worden voor het bestrijden van de gevolgen van de optredende emissies. De totale schaduwkosten zijn vervolgens gebruikt om de zogenaamde *benefit/investment*-ratio, ofwel de milieuwinst per geïnvesteerde euro, te berekenen.

De wijze waarop de schaduwkosten en de *benefit/investment*-ratio zijn berekend is toegelicht in bijlage 1 van deze rapportage. De resultaten van de berekeningen zijn opgenomen in Tabel 15 en laten zien dat zowel een *incinerator* met als zonder warmteterugwinning een netto positief effect hebben op het milieu ten opzichte van de bestaande situatie. Het netto positieve effect van de optie met warmteterugwinning is hierbij iets groter dan wanneer geen warmteterugwinning wordt toegepast. De *benefit/investment*-ratio is echter gunstiger voor de *incinerator* zonder warmteterugwinning vanwege de onevenredig hoge aanvullende investeringskosten voor het toepassen van warmteterugwinning.

4.5 Conclusie en onderbouwing BBT

Op basis van de uitkomsten van het selectieproces heeft VTE besloten dat een *incinerator* met een nageschakelde *scrubber* de meest optimale oplossing is voor het behandelen van beladingsemissies afkomstig van VP1 en VP2. Deze *incinerator* wordt bij voorkeur uitgevoerd zonder installaties voor het uitkoppelen en transporteren van restwarmte en wel om de volgende redenen:

- 1 In het meest gunstige scenario heeft toepassing van warmteterugwinning een terugverdientijd van ruim 23 jaar en een negatieve netto contante waarde van ruim zes miljoen euro. De benodigde aanvullende investering voor warmterugwinning is daarom vanuit bedrijfseconomisch oogpunt niet te verantwoorden.

- 2 Het uitkoppelen en transporteren van de restwarmte maakt de borging van de procesveiligheid en bedrijfszekerheid van de DVI onzeker, daarmee is onzeker of sprake is van een techniek die toepasbaar is in de praktijk.

Een *incinerator* zonder de mogelijkheid voor warmteterugwinning voldoet echter mogelijk niet aan BBT voor dampverwerking zoals beschreven in het 'Branchedocument Vergunningverlening Wabo Vloeibare Bulk – VOS Maatregelen'¹⁰ (BVB). Hieronder wordt beargumenteerd dat de voorgenomen *incinerator* van VTE ondanks het ontbreken van deze mogelijkheid wel degelijk als BBT kan worden beschouwd voor de specifieke situatie binnen de inrichting.

De wijze van behandeling van beladingsemissies wordt beschreven in BBT 2.4 en BBT 2.5 van de BVB:

- **BBT 2.4:** emissies afkomstig van de belading van zeeschepen en lichters met BVB VOS¹¹ en BVB Aandachtstoffen¹² moeten behandeld worden door middel van dampverwerking of dampretour.
- **BBT 2.5:** De beste beschikbare techniek voor dampverwerking is een technologie waarmee product- of energieteerugwinning plaatsvindt.

BBT voor behandeling van beladingsemissies

Met de realisatie van de voorgenomen DVI wordt invulling gegeven aan BBT 2.4. Dampretour is voor de specifieke situatie van VTE een technische niet haalbare optie (zie ook paragraaf 2.5).

In de beschrijving van- en toelichting bij BBT 2.4 wordt het volgende vermeld (pagina 9, BVB):

“Bij het vaststellen van de te behandelen stoffen dient gekeken te worden naar de te verladen stof en tevens naar de vorige lading van de te vullen modaliteit. Indien de vorige lading een BVB VOS en/of een BVB aandachtstof betreft, dient gebruik gemaakt te worden van dampverwerking of dampretour, mits de toegepaste dampverwerkingsinstallatie hierdoor niet negatief beïnvloed wordt.

Toelichting: Het kan voorkomen, dat een bestaande dampverwerkingsinstallatie negatief beïnvloed word(t). Stel dat een boot als vorige lading nafta heeft vervoerd en deze keer wordt hij beladen met diesel. Aan het einde van de belading zal de verdrongen damp voor een belangrijk deel uit dieseldamp bestaan en niet meer alleen uit naftadamp. Een actief kool unit zou hierdoor negatief beïnvloed worden, terwijl het voor een verbrandingsunit niet uitmaakt.”

Zoals in hoofdstuk 3 van dit rapport beschreven, wordt het merendeel van de door VTE onderzochte dampverwerkingstechnieken negatief beïnvloed door specifieke componenten in de dampstream. Dit probleem kan op twee manieren opgelost worden:

- 1 Door toepassing van een zelfstandig opererende *incinerator* (de voorkeursoptie van VTE);
- 2 Door het gescheiden behandelen van rijke- en arme dampen.

In paragraaf 3.7 is onderbouwd dat het gescheiden behandelen van rijke- en arme dampen om (proces-) technische redenen een niet-haalbare oplossing is binnen de inrichting van VTE. De keuze voor een *incinerator* als oplossing voor het voorkomen van een negatieve beïnvloeding van de DVI is daarom in lijn met de BVB.

¹⁰ Versie 1.1 (23 april 2018)

¹¹ Vluchtige organische stoffen met een dampspanning van groter of gelijk aan 1 kPa bij opslagtemperatuur.

¹² BVB VOS die conform het Activiteitenbesluit als zeer zorgwekkende stoffen (ZZS) gedefinieerd worden en mengsels die 5 massa% of meer ZZS bevatten in de vloeistoffase (waarbij de concentraties van verschillende ZZS gesommeerd worden).

BBT voor dampverwerking

Het rendement van een DVI moet dusdanig hoog zijn dat de restemissies vanuit de installatie voldoen aan de algemene emissie-eisen in artikel 2.5 van het Activiteitenbesluit milieubeheer. Alle door VTE onderzochte technieken voldoen aan deze eis. Verder stelt de BVB dat BBT voor dampverwerking een technologie is waarmee product- of energierugwinning plaatsvindt.

Productterugwinning

Met betrekking tot het aspect productterugwinning is het volgende opgenomen in de toelichting bij BBT 2.5 (pagina 10, BVB):

“Toelichting: Wanneer meerdere type BVB aandachtstoffen in een dampverwerkingsinstallatie worden behandeld is productterugwinning niet vereist, omdat daarbij een mengsel kan ontstaan dat alleen nog als chemisch afval afgevoerd kan worden. Na afvoer zal dit mengsel alsnog verbrand worden. Productterugwinning is daarom weinig zinvol”

In hoofdstuk 3 van deze rapportage is beschreven dat daadwerkelijke (nuttige) productterugwinning binnen de inrichting van VTE alleen mogelijk is indien rijke- en arme dampen in gescheiden systemen worden behandeld. Zoals eerder aangegeven is dit echter om (proces-)technische redenen een niet-haalbare oplossing. Het toepassen van een combinatie van dampverwerking met productterugwinning is daardoor niet mogelijk.

Energieterugwinning

Met betrekking tot het aspect productterugwinning is het volgende opgenomen in de toelichting bij BBT 2.5 (pagina 9, BVB):

“In bepaalde gevallen (bijv. dampverwerking bij stookolie vanwege stank en daklandingsemissies) kan gekozen worden voor een techniek waarbij geen product of energie teruggewonnen wordt (bijv. incinerator)”

Verreweg het grootste deel van het dampvolume wat met behulp van de nieuwe DVI behandeld moet worden is afkomstig van stookoliebeladingen. Het voorkomen van geurhinder in de directe omgeving van de terminal is daarnaast een van de aandachtspunten voor VTE. Ook wil VTE in de nabije toekomst daklandingssemissies gaan behandelen met behulp van de voorgenomen *incinerator* (zie paragraaf 2.7). De in de BVB genoemde uitzonderingscategorie is hiermee van toepassing op de specifieke situatie van VTE.

Deze uitzonderingscategorie wordt echter niet verder toegelicht of onderbouwd in de BVB. Hierdoor is het niet duidelijk onder welke specifieke voorwaarden het bevoegd gezag deze uitzondering toepast. De toelichting bij het door VTE doorlopen technologieselectieproces laat echter duidelijk zien dat een *incinerator* niet alleen de enige (proces-)technisch haalbare optie is, maar ook daadwerkelijk de beste technologische oplossing biedt voor het verwerken van de (zeer VOS-rijke) dampstroom die vrijkomt bij scheepsbeladingen op VP1 en VP2. De kosten van het toepassen van warmterugwinning bij deze specifieke technologie zijn echter vele malen hoger dan de bijhorende baten¹³. Warmterugwinning is daarom op bedrijfseconomische gronden niet realiseerbaar.

Gelijkwaardigheid

Het toepassen van warmterugwinning levert slechts een beperkt voordeel op voor het milieu ten opzichte van een *incinerator* zonder deze voorziening (zie paragraaf 4.4.2), mede omdat het zuiveringsrendement in beide gevallen gelijk is. Op basis van de eerdergenoemde kosteneffectiviteit van de benodigde aanvullende

¹³ Kosten-batenanalyse hergebruik restwarmte DVI. Royal HaskoningDHV (kenmerk BF7126IB20181214, versie 20 december 2018).

investering voor warmteterugwinning en het beperkte milieuvoordeel dat deze investering oplevert, kan gesteld worden dat het toepassen van een *incinerator* zonder warmteterugwinning als een aan BBT gelijkwaardige¹⁴ dampverwerkingstechniek voor de specifieke situatie van VTE kan worden beschouwd. Dit geldt temeer nu bekend is dat het uitkoppelen en transporteren van restwarmte de borging van de procesveiligheid en bedrijfszekerheid van de *incinerator* onzeker maakt. Het risico dat warmteterugwinning in de praktijk uiteindelijk (proces-)technisch niet haalbaar zal zijn is hierdoor (te) groot.

¹⁴ In de BVB is het volgende opgenomen met betrekking tot gelijkwaardigheid (pagina 7, BVB): "Van de in dit Branchedocument genoemde eisen mag afgeweken worden als aangetoond kan worden dat met alternatieve technieken of methoden hetzelfde beschermingsniveau gerealiseerd kan worden"

Bijlage 1

Toetsing '*REF Economics and Cross-Media Effects*'

Toelichting methodiek en uitgangspunten

Notitie

HaskoningDHV Nederland B.V.
Industry & Buildings

Aan: Vopak Terminal Europoort B.V.
Van: Leendert Corbijn & Jaap Erkelens
Datum: 15 juli 2019
Kopie: -
Ons kenmerk: BF7126IBNT1907151507
Classificatie: Projectgerelateerd

Onderwerp: Technologieselectie centrale DVI - Totetsing REF Economics and Cross-Media Effects

1 Inleiding

De *REF Economics and Cross-Media Effects* (hierna: ECME) is het Europese referentiedocument voor de (algemene) bepaling van Best Beschikbare Technieken. Het doel van de in het document beschreven *cross-media* methodologie is het geven van “*guidance*”, een richtinggevende methodiek afgeleid van *Life Cycle Analysis* (LCA) systematiek conform ISO 14040, die leidt tot een keuze voor de minst schadelijke optie voor het milieu. Hierbij richt de methodiek zich op het maken van een weloverwogen, consistente en heldere afweging bij het stellen van prioriteiten bij het treffen van emissiebeperkende maatregelen indien bij een bepaalde activiteit twee of meer emissies optreden die een effect hebben op hetzelfde milieucompartiment.

De *cross-media* methodologie houdt geen rekening met lokale omstandigheden, maar levert een globale “*screening tool*” die helpt bij het identificeren van de emissiecomponent die naar alle waarschijnlijkheid het grootste effect heeft op de lokale milieuomstandigheden. Om de milieueffecten voor elke emissie te kwantificeren zijn in de ECME zeven criteria of milieuaspecten gedefinieerd:

- 1 Humane toxiciteit
- 2 Opwarming van de aarde
- 3 Aquatische toxiciteit
- 4 Verzuring
- 5 Eutrofiëring
- 6 Ozondepletie
- 7 Fotochemische ozonvorming

Deze criteria zijn gebaseerd op de meest significante milieueffecten die emissies in algemene zin kunnen veroorzaken.

Aan de hand van deze criteria kunnen vervolgens de effecten van verschillende typen emissies objectief met elkaar vergeleken worden. De ECME geeft hierbij voor ieder afzonderlijk criterium een rekenmethode waarmee het effect van een bepaald type emissie op het bijbehorende milieuaspect kwantitatief bepaald kan worden. Op basis van de uitkomsten van deze berekeningen kan uiteindelijk een beslissing worden genomen over welke emissie of emissiebeperkende maatregel de hoogste prioriteit zou moeten krijgen.

De ECME biedt hierbij de mogelijkheid om zelf een weging toe te kennen aan de uitkomsten van de berekeningen, bijvoorbeeld op basis van wettelijke verplichtingen of specifieke lokale omstandigheden.

In deze notitie worden de gehanteerde rekenmethodiek en uitgangspunten toegelicht die zijn gebruikt bij de uitvoering van de toetsing van de door Vopak Terminal Europoort B.V. (hierna: VTE) geselecteerde dampverwerkingstechnieken aan de ECME.

De zogenaamde eerste '*scoping*' stap binnen de ECME-toetsing overlapt met het selectieproces zoals beschreven in hoofdstuk 3 van de toelichting op de technologieselectie en wordt daarom niet in deze notitie behandeld. Deze notitie richt zich op de stappen na de *scoping* fase. Dit betreft het berekenen en onderling vergelijken van de emissies en milieueffecten die optreden bij toepassing van de volgende dampverwerkingsopties:

- **Optie 0:** Huidige situatie (twee GVI's)
- **Optie 4a:** *Incinerator* zonder warmteterugwinning
- **Optie 4b:** *Incinerator* met warmteterugwinning

Leeswijzer

Na deze inleiding wordt in hoofdstuk 2 eerst een overzicht gegevens van de emissies en verbruiksgegevens die gebruikt zijn voor de *cross media* berekeningen. De methodiek die bij de uitvoering van deze berekeningen is gehanteerd wordt toegelicht in hoofdstuk 3. Vervolgens worden in hoofdstuk 4 de berekende resultaten per criterium en de berekening van de cumulatie resultaten toegelicht. In appendix 1 van deze notitie is een uitgebreid overzicht opgenomen van de resultaten van de *cross-media* toets.

2 Inventarisatie van emissies en verbruiken

2.1 Uitstoot van vervuilende stoffen

2.1.1 CO₂-emissie

De totale CO₂-emissie is bepaald door de som te nemen van de directe en indirecte CO₂-emissies. De directe en indirecte CO₂ emissies zijn als onderstaand weergegeven bepaald:

- Directe CO₂ emissie [ton/jaar] = Totaal aardgasverbruik [Nm³/jaar] * CO₂-emissiefactor aardgas [ton CO₂/Nm³] + (totaal VOS-dampen [ton/jaar] – restemissie VOS [ton/jaar]) * CO₂-emissiefactor nafta [ton CO₂/ton nafta]
- Indirecte CO₂-emissie [ton/jaar] = Elektriciteitsverbruik [kWh/jaar] * CO₂-emissiefactor elektriciteit [ton CO₂/kWh]

Tabel 1: Gehanteerde CO₂-emissiefactoren.

Energiedrager	Emissiefactor	Referentie
Aardgas (hoogcalorisch)	1,8 * 10 ⁻³ ton CO ₂ /Nm ³	Kosten-Baten Analyse DVI ¹
Nafta	3,32 ton CO ₂ /ton nafta	https://www.co2emissiefactoren.nl/lijst-emissiefactoren/
Elektriciteit	0,472 * 10 ⁻³ ton CO ₂ /kWh	Kosten-Baten Analyse DVI

2.1.2 NO₂-emissie

De totale NO₂ emissie is eveneens de som van directe en indirecte emissie van NO₂. Hierin zijn twee methoden onderscheiden, omdat de opties waarbij thermische oxidatie plaatsvindt te maken hebben met thermische NO_x vorming. Daartegenover staat optie 0 waarbij de NO_x emissie vanuit scheepsruimen direct wordt uitgestoten, maar er geen NO_x vorming zal plaatsvinden in verbrandingsprocessen. Daardoor verschilt de methode voor NO₂ emissieberekening bij een optie met en zonder thermische oxidatie, beide rekenmethoden zijn onderstaand weergegeven en de algemene methode voor het bepalen van indirecte NO₂ emissie:

- Directe NO₂-emissie (geen thermische oxidatie) [ton NO₂/jaar] = Concentratie NO₂ in damp scheepsruimen [g NO₂/Nm³] * Gemiddeld debiet uit scheepsruimen [Nm³/uur] * Bedrijfsduur dampverwerking [uur/jaar] * 10⁻⁶ [ton/g]
- Directe NO₂-emissie (bij thermische oxidatie) [ton NO₂/jaar] = Emissiegrenswaarde NO₂ DVI [g NO₂/Nm³] * Gemiddeld debiet uit DVI [Nm³/uur] * Bedrijfsduur DVI [uur/jaar] * 10⁻⁶ [ton/g]
- Indirecte NO₂-emissie [ton NO₂/jaar] = Elektriciteitsverbruik [GJ/jaar] * NO₂-emissiefactor elektriciteit [kg NO₂/GJ] * 10⁻³ [ton/kg]

Tabel 2: Toegepaste factoren bij berekening directe en indirecte NO₂-emissies

Parameter	Rekenfactor	Referentie
Concentratie NO ₂ in damp scheepsruimen	0,203 g NO ₂ /Nm ³	Luchtstudie DVI RHDHV ²
Emissiegrenswaarde NO ₂ DVI	0,200 g NO ₂ /Nm ³	Luchtstudie DVI RHDHV
Bedrijfsduur dampverwerking	6.132 uur/jaar	Luchtstudie DVI RHDHV
Bedrijfsduur DVI (incl. standby)	8.760 uur/jaar	Luchtstudie DVI RHDHV
Gemiddeld debiet uit scheepsruimen	7.500 Nm ³ /uur	Luchtstudie DVI RHDHV
Gemiddeld debiet uit DVI	12.397 Nm ³ (@3% O ₂)/uur	Luchtstudie DVI RHDHV
NO ₂ emissiefactor elektriciteit	0,16 kg NO ₂ /GJ	ECME - Annex 8

¹ Kosten-batenanalyse hergebruik restwarmte DVI. Royal HaskoningDHV (kenmerk BF7126IB20181214, versie 20 december 2018).

² Royal HaskoningDHV, Luchtonderzoek DVI VP1/VP2, 14 juni 2018, Referentie: I&BBF7126R001D0.3

2.1.3 SO₂-emissie

De SO₂ emissie is bepaald met eveneens een onderscheid tussen de rekenmethode voor de directe emissie bij opties met thermische oxidatie en zonder thermische oxidatie. In de huidige situatie een alkalische scrubber aanwezig voor het verwijderen van zwavelhoudende componenten, daarom is voor SO₂ concentratie vanuit de scheepsruimen een verwijderingsrendement gehanteerd in de berekening. Bij opties met thermische oxidatie is dat niet van toepassing omdat daar van de emissiegrenswaarde is uitgegaan, in lijn met in het kader van de vergunningaanvraag uitgevoerde luchtonderzoek.

- Directe SO₂-emissie (geen thermische oxidatie) [ton SO₂/jaar] = Concentratie SO₂ in damp scheepsruimen [g SO₂/Nm³] * (100% - SO₂-verwijderingsrendement scrubber [%]) * Gemiddeld debiet uit scheepsruimen [Nm³/uur] * Bedrijfsduur dampverwerking [uur/jaar] * 10⁻⁶ [ton/g]
- Directe SO₂-emissie (bij thermische oxidatie) [ton SO₂/jaar] = Emissiegrenswaarde SO₂ DVI [g SO₂/Nm³] * Gemiddeld debiet bij dampverwerking uit DVI [Nm³/uur] * Bedrijfsduur dampverwerking [uur/jaar] * 10⁻⁶ [ton/g]
- Indirecte SO₂-emissie [ton SO₂/jaar] = Elektriciteitsverbruik [GJ/jaar] * SO₂-emissiefactor elektriciteit [kg SO₂/GJ] * 10⁻³ [ton/kg]

Tabel 3: Toegepaste factoren bij berekening directe en indirecte SO₂-emissies (ontbrekende factoren zijn genoemd in voorgaande paragrafen)

Parameter	Rekenfactor	Referentie
Concentratie SO ₂ in damp scheepsruimen	0,141 g SO ₂ /Nm ³	Emissiestudie RHDHV
Emissiegrenswaarde SO ₂ DVI	0,05 g SO ₂ /Nm ³	Emissiestudie RHDHV
SO ₂ verwijderingsrendement scrubber	99%	Emissiestudie RHDHV
Gemiddeld debiet bij dampverwerking uit DVI	15.138 Nm ³ (@3% O ₂)/uur	Emissiestudie RHDHV
SO ₂ emissiefactor elektriciteit	0,1 kg SO ₂ /GJ	ECME - Annex 8

2.1.4 VOS-emissie

Aan de VOS emissie is beperkt gerekend. Voor de emissie in de huidige situatie is het maatwerkverzoek voor VTE gebruikt³. In het geval van een optie met thermische oxidatie is uitgegaan van de emissiegrenswaarde voor de DVI. Onderstaande is de rekenmethode voor VOS weergegeven bij thermische oxidatie, voor optie 0 is geen berekening uitgevoerd.

- VOS-emissie (thermische oxidatie) [ton VOS /jaar] = Emissiegrenswaarde VOS [g VOS/Nm³] * Gemiddeld debiet bij dampverwerking uit DVI [Nm³/uur] * Bedrijfsduur dampverwerking [uur/jaar] * 10⁻⁶ [ton/g]

Tabel 4: Toegepaste factoren bij berekening VOS-emissies (ontbrekende factoren zijn genoemd in voorgaande paragrafen)

Parameter	Rekenfactor	Referentie
Emissiegrenswaarde VOS	0,05 g VOS/Nm ³	Emissiestudie RHDHV

2.1.5 Benzeenemissie

Voor benzeen is dezelfde methode gehanteerd als VOS. Voor de huidige situatie is weer de gerapporteerde waarde gebruikt in het onderzoek behorend bij het maatwerkverzoek van VTE (zie voetnoot 3). Bij de berekening van benzeenemissie na thermische oxidatie is de onderstaande aanpak gehanteerd:

³ Royal HaskoningDHV, Verspreidingsberekeningen benzeen - Verzoek Maatwerk VOS- en benzeenemissie, 30 september 2018, referentie: BG1103.103.R004.D06

- Benzeenemissie (thermische oxidatie) [ton benzeen/jaar] = Emissiegrenswaarde benzeen [g benzeen/Nm³] * Gemiddeld debiet bij dampverwerking uit DVI [Nm³/uur] * Bedrijfsduur dampverwerking [uur/jaar] * 10⁻⁶ [ton/g]

Tabel 5: Toegepaste factoren bij berekening benzeenemissies (ontbrekende factoren zijn genoemd in voorgaande paragrafen)

Parameter	Rekenfactor	Referentie
Emissiegrenswaarde benzeen	0,001 g benzeen/Nm ³	Emissiestudie RHDHV

2.1.6 Mercaptaanemissie

Voor de emissie van mercaptanen is voor de huidige situatie gerekend met een verwijderingsrendement door de scrubber. Bij thermische oxidatie is met een verwijderingsrendement voor thermische oxidatie gerekend. De gebruikte methode en rekenfactoren worden onderstaand behandeld:

- Mercaptaanemissie (geen thermische oxidatie) [ton mercaptaan/jaar] = Concentratie mercaptaan in damp [g mercaptaan/Nm³] * (100% - verwijderingsrendement scrubber [%]) * Gemiddeld debiet uit scheepsruimen [Nm³/uur] * Bedrijfsduur dampverwerking [uur/jaar] * 10⁻⁶ [ton/g]
- Mercaptaanemissie (bij thermische oxidatie) [ton mercaptaan/jaar] = Concentratie mercaptaan in damp [g mercaptaan/Nm³] * (100% - verwijderingsrendement thermische oxidatie [%]) * Gemiddeld debiet bij dampverwerking uit DVI [Nm³/uur] * Bedrijfsduur dampverwerking [uur/jaar] * 10⁻⁶ [ton/g]

Tabel 6: Toegepaste factoren bij berekening mercaptaanemissies (ontbrekende factoren zijn genoemd in voorgaande paragrafen)

Parameter	Rekenfactor	Referentie
Concentratie mercaptaan in damp	2,74 g mercaptaan/Nm ³	Emissiestudie RHDHV
Verwijderingsrendement scrubber	90 %	Emissiestudie RHDHV
Verwijderingsrendement thermische oxidatie	99,9 %	Emissiestudie RHDHV

2.1.7 H₂S-emissie

Voor de emissie van H₂S is de gebruikte rekenmethode nagenoeg identiek aan die voor mercaptanen. De gebruikte methode en rekenfactoren worden onderstaand behandeld:

- H₂S-emissie (geen thermische oxidatie) [ton H₂S/jaar] = Concentratie mercaptaan in damp [g H₂S/Nm³] * (100% - verwijderingsrendement scrubber [%]) * Gemiddeld debiet uit scheepsruimen [Nm³/uur] * Bedrijfsduur dampverwerking [uur/jaar] * 10⁻⁶ [ton/g]
- H₂S-emissie (bij thermische oxidatie) [ton mercaptaan/jaar] = Concentratie H₂S in damp [g H₂S/Nm³] * (100% - verwijderingsrendement thermische oxidatie [%]) * Gemiddeld debiet bij dampverwerking uit DVI [Nm³/uur] * Bedrijfsduur dampverwerking [uur/jaar] * 10⁻⁶ [ton/g]

Tabel 7: Toegepaste factoren bij berekening H₂S-emissies (ontbrekende factoren zijn genoemd in voorgaande paragrafen)

Parameter	Rekenfactor	Referentie
Concentratie H ₂ S in damp	1,5 g H ₂ S/Nm ³	Emissiestudie RHDHV
Verwijderingsrendement scrubber	90 %	Emissiestudie RHDHV
Verwijderingsrendement thermische oxidatie	99,9 %	Emissiestudie RHDHV

2.1.8 Sulfaatemissie naar water

Uit het aanvraagdocument voor de incinerator op VTE blijkt dat er mogelijk emissie van waswater met daarin sulfaat (SO₄²⁻) plaatsvindt. Voor deze emissie is reeds beoordeeld dat er geen toxische effecten zijn voor het oppervlaktewater. Toch is de emissie bepaald aan de hand van de onderstaande methode:

- Emissie SO_4^{2-} [ton/jaar] = Gemiddelde concentratie sulfaat in waswater [kg/m^3] * Verbruik waswater [m^3/uur] * 8760 [uur/jaar] * 10^{-3} [ton/kg]

Tabel 8: Toegepaste factoren bij berekening sulfaatemissies naar het water

Parameter	Rekenfactor	Referentie
Gemiddelde concentratie sulfaat in waswater	45 kg/m^3	Vergunningaanvraag DVI RHDHV ⁴
Verbruik waswater	1 m^3/uur	Vergunningaanvraag DVI RHDHV

2.2 Verbruik ruwe materialen

Onder het verbruik van ruwe materialen vallen het aardgasverbruik en het waterverbruik van de DVI.

Aardgasverbruik

In overleg met VTE is voor de verschillende opties een inschatting gemaakt van het totale aardgasverbruik bij de verschillende opties. Daarnaast is er een eerdere kosten-baten analyse gedaan voor de incinerator met warmteterugwinning, deze bronnen zijn gebruikt voor de bepaling van het aardgasverbruik en mogelijke besparing op de inrichting. Het totale aardgasverbruik is bepaald aan de hand van de onderstaande methode:

- Totaal aardgasverbruik [Nm^3/jaar] = (Aardgasconsumptie installatie [miljoen Nm^3/jaar] – Aardgasbesparing binnen inrichting door warmteterugwinning [miljoen Nm^3/jaar])

Tabel 9: Toegepaste factoren bij berekening aardgasverbruik

Parameter	Rekenfactor	Referentie
Besparing optie 4b (incinerator met warmteterugwinning)	1,4 miljoen Nm^3 aardgas	Kosten-Baten Analyse DVI

De andere opties hebben geen reden om te rekenen met besparing van aardgas door een vorm van energie- of productterugwinning.

Waterverbruik

Volgens de aanvraag voor de incinerator op VTE neemt het waterverbruik met 43.800 m^3 per jaar toe. Deze waarde is gehanteerd voor beide opties met incinerator, voor de huidige situatie is een waterverbruik van 0 m^3 gehanteerd.

2.3 Energieverbruik

Het totale primaire energieverbruik is bepaald aan de hand van het elektriciteitsverbruik, het aardgasverbruik en de benodigde hoeveelheid primaire energie per netto geleverde energie. Het aardgasverbruik is al behandeld in paragraaf 2.2, daaruit is volgens de LHV van hoogcalorisch gas de hoeveelheid energie berekend (36 MJ/Nm^3).

Het elektriciteitsverbruik is als volgt bepaald:

- Elektriciteitsverbruik [GJ/jaar] = $\sum$ Vermogens onderdelen installatie [kW] * Bedrijfsduur [8760 uur/jaar] * $3,6 \cdot 10^{-3}$ [GJ/kWh]

⁴ Royal HaskoningDHV, Bijlage M0 "toelichting aanvraag DVI VP 1-2", 27 september 2018, Referentie: I&BBF7126R001F02

De verdeling van de elektrische vermogens van de installatieonderdelen binnen de drie 3 opties is weergegeven in Tabel 10.

Tabel 10: Overzicht elektrische vermogens installatieonderdelen

		Optie 0	Optie 4a	Optie 4b
Beschrijving berekening	Eenheid	Huidige situatie	Incinerator zonder warmteterugwinning	Incinerator met warmteterugwinning
Totale elektriciteitsconsumptie	[kWh]	306.600	1.134.420	1.747.620
Totaal opgesteld elektrisch vermogen	[kW]	50	185	285
Vermogen transportventilators	[kW]	n.v.t.	35	35
Vermogen Incinerator	[kW]	n.v.t.	100	100
Vermogen verdere onderdelen	[kW]	50	50	150

Het primaire energieverbruik is vervolgens berekend door:

- Totaal primair energieverbruik [GJ/jaar] = Elektriciteitsverbruik [GJ/jaar] * Primaire energie voor elektriciteitsproductie [GJ primair/GJ elektrisch] + Aardgasverbruik [GJ/jaar] * Primaire energie voor aardgasproductie [GJ primair/GJ aardgas]

Tabel 11: Toegepaste factoren bij berekening primair energieverbruik

Parameter	Rekenfactor	Referentie
Primaire energie voor elektriciteitsproductie	2,57 GJ primair/GJ elektrisch	ECME - Annex 8
Primaire energie voor aardgasproductie:	1,1 GJ primair/GJ aardgas	Aanname RHDHV

2.4 Afvalproductie

Onder afval worden verschillende categorieën verstaan volgens de ECME methodiek voor de behandelde opties zijn alleen afvalwater vanuit de scrubbers en condensaat in knock-out vaten van toepassing de waarden voor deze afvalstromen zijn in overleg met Vopak vastgesteld. In de analyse is meegenomen dat het condensaat uit knock-out vaten onder de categorie gevaarlijk afval behoort. Deze afvalstromen worden niet naar de omgeving worden geëmitteerd, omdat ze gecontroleerd worden verwerkt, ze zijn dan ook niet in paragraaf 2.1 meegenomen.

- Totaal afval [ton/jaar] = Afvalwater scubbervloeistof [m^3/jaar] * Dichtheid scubbervloeistof [ton/m^3] + Condensaat in knock-out vaten [m^3/jaar] * Dichtheid nafta [ton/m^3]

Tabel 12: Toegepaste factoren bij berekening afvalproductie

Parameter	Rekenfactor	Referentie
Dichtheid scubbervloeistof	1,00 ton/m^3	Bron: http://www.mercuria.com/sites/default/files/NL_SDS_Naphtha%20%28petroleum%29%2C%20full-range%20straight-run_SDS%20SGS%20GHS%20%28Reach%20ANNEXII%29_201524_MERCURIA-21_NR%20%28CM%29_0.pdf
Dichtheid nafta	0,69 ton/m^3	Uitgegaan van de dichtheid van water. Natronloog gebruikt in een basische scrubber is een oplossing van Natriumhydroxide in water.

3 Wijze van berekening *cross-media* effecten

Voor de berekening van de cross-media effecten is per criterium bepaald welke emissies een milieueffect kunnen hebben en welke omrekenfactor moet worden gebruikt om het milieueffect vergelijkbaar te maken. Dit wordt hieronder in detail toegelicht.

3.1 Humane toxiciteit

De vergelijkende methodiek uit de ECME gaat voor het beoordelen van de humane toxiciteit uit van een vereenvoudigde beoordeling, *“The method relies on certain simplifications such as: (opsomming). The factors can only provide a broad indication of relative toxicity”*.

De potentiële toxische effecten van een emissie zijn afhankelijk van de geëmitteerde massa en de humane toxiciteit van de geëmitteerde stof. De methode uit de ECME gebruikt de geëmitteerde massa en een toxiciteitsfactor om de hypothetische totale toxiciteit te berekenen. Deze vereenvoudigde procedure gaat voorbij aan het feit dat er geen wetenschappelijk onderbouwde methode bestaat voor het sommeren van verschillende toxische effecten. De methode uit de ECME beoogt om een gestructureerde vergelijking tussen meerdere emissies mogelijk te maken. De methode is gebaseerd op directe inademing van de geëmitteerde stoffen door mensen.

De humane toxiciteit wordt berekend door de geëmitteerde hoeveelheid stof (in kg) te delen door de toxiciteitsfactor die genoemd wordt in Annex 1 *“Human toxicity potentials”* van de ECME. Hoe hoger het getal dat volgt uit de berekening, hoe hoger de humane toxiciteit van de stof.

De volgende formule wordt conform de methodiek van de ECME gehanteerd voor het berekenen van de humane toxiciteit per optie:

$$\blacksquare \text{ Humane toxiciteit [kg lood equivalenten]} = \sum \text{ Massa emissie stof x naar lucht [kg]} / \text{Humane toxiciteitsfactor stof}$$

In onderstaande tabel zijn de verschillende toxiciteitsfactoren voor de geëmitteerde stoffen weergegeven.

Tabel 13: Overzicht gehanteerde toxiciteitsfactoren

Geëmitteerde stof	Humane toxiciteitsfactor	Bron/methode
Koolstofdioxide (CO ₂)	225.000	Berekend volgens onderstaande methode via TTG-8u of LBW 1 uur
Stikstofdioxide (NO ₂)	95	Annex 1, BREF ECME
Zwavedioxide (SO ₂)	13	Annex 1, BREF ECME
VOS-emissie (C _x H _y)	1.800	Hier is n-hexaan als referentie genomen voor de toxiciteit van de VOS-emissie
Benzeen (C ₆ H ₆)	33	Annex 1, BREF ECME
Mercaptanen (C ₂ H ₆ S)	53	Berekend volgens onderstaande methode via TTG-8u of LBW 1 uur
Waterstofsulfide (H ₂ S)	140	Annex 1, BREF ECME

De humane toxiciteitsfactor wordt niet voor iedere component genoemd in de ECME. In dat geval is een berekening uitgevoerd voor het bepalen van de humane toxiciteitsfactor met behulp van de volgende formule:

$$\blacksquare \text{ Humane toxiciteitsfactor onbekende stof} = (\text{TTG-8u of LBW 1 uur onbekende stof} / \text{TTG-8u of LBW 1 uur n-hexaan}) * \text{Humane toxiciteitsfactor n-hexaan}$$

Bij deze berekeningen is gebruikt gemaakt van n-hexaan als referentiestof om de humane toxiciteitsfactor te bepalen voor een stof waarvan deze niet bekend is maar wel andere toxiciteitsfactoren zoals TTG-8u of LBW 1 uur (zie Tabel 14).

Tabel 14: Overzicht overige gehanteerde toxiciteitsfactoren

Stof	TGG-8u [mg/m ³]	LGW 1 uur [mg/m ³]	Humane toxiciteitsfactor
n-hexaan (C ₆ H ₁₄) [reference]	72	31.000	1.800
Ethylmercaptaan (C ₂ H ₆ S)	-	920	53
Koolstofdioxide (CO ₂)	9.000	-	225.000

3.2 Opwarming van de aarde

De toenemende hoeveelheid aan broeikasgassen in de atmosfeer heeft tot gevolg dat meer energie uit het zonlicht wordt geabsorbeerd. Dit effect kan leiden tot opwarming van de aarde, het “*global warming*” effect. De broeikasgassen zijn onderwerp van vele studies die door de IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*) worden gecoördineerd. Het IPCC heeft voor een groot aantal broeikasgassen een GWP (*Global Warming Potential*) vastgesteld.

De GWP is een index aan de hand waarvan de bijdrage aan het *Global Warming effect* van een gas kan worden geschat. De GWP vertegenwoordigt de equivalente hoeveelheid CO₂ die overeenkomt met een emissie van 1 kg van het betreffende gas in de atmosfeer. Het GWP wordt uitgedrukt als kg CO₂-equivalent. In Annex 2 “*Global Warming Potentials*” van de ECME zijn GWP’s vermeld voor een groot aantal gassen voor een 100 jarige horizon.

De totale GWP van de verschillende onderzochte opties zijn berekend met de volgende formule:

$$\blacksquare \text{ Totale GWP [kg CO}_2\text{-equivalenten]} = \sum \text{ Massa emissie stof x naar lucht [kg/jaar]} * \text{GWP stof x [kg CO}_2\text{ eq./kg stof]}$$

In Tabel 15 zijn de gebruikte GWP-waarden per stof weergegeven. Voor een aantal van de geëmitteerde stoffen is geen GWP te achterhalen.

Tabel 15: Overzicht toegepaste GWP-waarden

Geëmitteerde stof	GWP [kg CO ₂ eq./kg]	Bron
Koolstofdioxide (CO ₂)	1	Annex 2, BREF ECME
Stikstofdioxide (NO ₂)	40	Gebaseerd op de GWP factor voor NO _x . NO _x heeft een indirect effect door in de atmosfeer betrokken te zijn bij de vorming van troposferische ozon (O ₃). Bron: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/ipcc_far_wg_i_full_report.pdf f - table 2.8
Zwavedioxide (SO ₂)	0	-

Geëmitteerde stof	GWP [kg CO ₂ eq./kg]	Bron
VOS-emissie (C _x H _y)	11	Gebaseerd op de GWP factor voor NMHC (Non Methane Hydro Carbons). Deze hebben een indirect GHG effect door CO ₂ en troposferische ozon (O ₃) vorming te beïnvloeden. Beide effecten opgeteld en hier gebruikt. Bron: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/ipcc_far_wg_I_full_report.pdf f - table 2.8
Benzeen (C ₆ H ₆)	0	-
Mercaptanen (C ₂ H ₆ S)	0	-
Waterstofsulfide (H ₂ S)	0	-

3.3 Aquatische toxiciteit

Emissies naar het aquatisch milieu kunnen toxische effecten hebben op de waterflora en –fauna. De aquatische toxiciteit wordt berekend door de geëmitteerde hoeveelheid stof (in kg) te delen door de ‘*Predicted no effect concentration*’ (PNEC) van de stof, die genoemd wordt in Annex 3 “*Aquatic toxicity potentials*” van de ECME. Op deze wijze wordt het watervolume berekend dat nodig is om de concentratie van de stof in het water op een dusdanig niveau te brengen dat er geen aqua-toxische effecten meer zijn. Hoe hoger het getal dat volgt uit de berekening, hoe hoger de aquatische toxiciteit van de stof.

Zowel in de bestaande als in de voorgenomen situatie treden geen emissies op die een effect hebben op dit criterium. Het sulfaat in het waswater van de na de incinerator geschakelde scrubber heeft geen aqua-toxisch effect.

3.4 Verzuring

De depositie van verzurende stoffen uit de lucht kan schade aan ecosystemen veroorzaken. Het IPCC heeft voor een aantal stoffen een “*Acidification Potential*” (AP) vastgesteld. De AP is een index aan de hand waarvan het verzurende effect van een emissie kan worden ingeschat. Het AP vertegenwoordigt de equivalente hoeveelheid SO₂ die overeenkomt met een emissie van 1 kg van het betreffende gas in de atmosfeer. Het AP wordt uitgedrukt als kg SO₂ equivalent. In Annex 4 “*Acidification Potentials*” van de ECME zijn AP’s vermeld voor een aantal gassen.

De verzurende werking van de verschillende emissies is berekend aan de hand van de onderstaande vergelijking:

- Totale verzuring [kg SO₂-equivalenten] = $\sum$ Massa emissie stof x naar lucht [kg/jaar] * Verzurend potentieel stof x [kg SO₂ eq./kg stof]

In Tabel 16 zijn de gebruikte waarden voor het verzurend potentieel per geëmitteerde stof weergegeven. Een aantal van de geëmitteerde stoffen hebben geen verzurende werking.

Tabel 16: Overzicht toegepaste AP-waarden

Geëmitteerde stof	Verzurend potentieel [kg SO ₂ eq./kg]	Bron
Koolstofdioxide (CO ₂)	0	-
Stikstofdioxide (NO ₂)	0,5	Annex 4, BREF ECME
Zwavedioxide (SO ₂)	1	Annex 4, BREF ECME
VOS-emissie (C _x H _y)	0	-
Benzeen (C ₆ H ₆)	0	-
Mercaptanen (C ₂ H ₆ S)	0	Heeft mogelijk ook verzurende effecten, maar geen bron gevonden om deze om te rekenen naar kg SO ₂ equivalenten.
Waterstofsulfide (H ₂ S)	1,88	Volgens table 1 in "A study to examine the costs and benefits of the ELV directive" via URL: http://ec.europa.eu/environment/waste/pdf/study/annex5.pdf

3.5 Eutrofiëring

Vermesting (eutrofiëring) is het proces waarbij een emissie voedingsstoffen voor de flora toevoegt aan de bodem. Alleen componenten die stikstof en/of fosfor bevatten veroorzaken een vermistingseffect. De IPCC heeft het vermestende vermogen (*eutrophication potential* of EP), op basis van de LCA-methodiek vastgesteld voor een aantal componenten. In Annex 5 "*Eutrophication potentials*" van de BREF ECME zijn EP's vermeld voor een aantal gassen. Het EP is een index aan de hand waarvan het vermestende effect van een emissie kan worden ingeschat. Het EP vertegenwoordigt de equivalente hoeveelheid fosfaat-ion (PO₄³⁻) die overeenkomt met een emissie van 1 kg van het betreffende gas in de atmosfeer. Het EP wordt uitgedrukt als kg PO₄³⁻-equivalent.

In het kader van de voorgenomen DVI wordt vermisting als gevolg van de geëmitteerde stoffen uitsluitend veroorzaakt door NO₂/NO_x-emissies. De gehanteerde berekening is als volgt:

- Totale eutrofiëring [kg PO₄³⁻ equivalenten] = ∑ Massa emissie stof x naar lucht [kg/jaar] * Eutrofiërend potentieel stof x [kg PO₄³⁻ eq./kg stof]

In onderstaande tabel is een overzicht opgenomen van het eutrofiërend potentieel van de naar de lucht geëmitteerde stoffen. Alleen voor NO₂ is een waarde voor eutrofiëring gevonden.

Tabel 17: Overzicht toegepaste EP-waarden

Geëmitteerde stof	Eutrofiërend potentieel [kg PO ₄ ³⁻ eq/kg]	Bron
Koolstofdioxide (CO ₂)	0	-
Stikstofdioxide (NO ₂)	0,13	Annex 5, BREF ECME
Zwavedioxide (SO ₂)	0	-
VOS-emissie (C _x H _y)	0	-
Benzeen (C ₆ H ₆)	0	-
Mercaptanen (C ₂ H ₆ S)	0	-
Waterstofsulfide (H ₂ S)	0	-

3.6 Ozondepletie

De ozonlaag in de stratosfeer beschermt de aarde tegen de invloed van UV-straling. Ozon in de stratosfeer kan worden afgebroken door chemische reacties. Deze afbraak (*ozon depletion*) wordt bijvoorbeeld veroorzaakt door chloorfluorkoolwaterstoffen (Cfk's). De WMO (*World Meteorological Office*) heeft het ozon afbrekend vermogen (*ozon depletion potential* of ODP) vastgesteld voor een aantal componenten. Het ODP is een index aan de hand waarvan het ozon afbrekend effect van een emissie kan worden ingeschat. Het ODP wordt uitgedrukt in CFC-11 equivalenten. In Annex 6 "*Ozone depletion potentials*" van de ECME zijn ODP's vermeld voor een aantal gassen.

Zowel in de bestaande als in de voorgenomen situatie worden geen Cfk's geëmitteerd.

3.7 Fotochemische ozonvorming

Ozon in de lagere atmosfeer, troposferisch ozon, is een vervuilende stof. Het wordt gevormd via een complexe serie van chemische reacties, geïnitieerd door zonlicht. Hierbij reageren stikstofoxides en vluchtige organische stoffen waarbij ozon vrijkomt. Troposferisch ozon is schadelijk voor flora en fauna en kan corrosie van materialen veroorzaken.

Het ozon genererend vermogen van stoffen is afhankelijk van hun structuur en reactiviteit. In de ECME zijn *Photochemicals Ozone Creation Potentials* (POCP's) opgenomen, die voorgesteld zijn door de UNECE. Het POCP is een index aan de hand waarvan het ozon genererend vermogen van een emissie kan worden geschat. Het POCP vertegenwoordigt de equivalente hoeveelheid ethyleen die overeenkomt met een emissie van 1 kg van het betreffende gas in de atmosfeer. Het POCP wordt uitgedrukt als kg ethyleen equivalent.

Belangrijk stoffen voor fotochemische ozonvorming zijn NO_x en VOC, beide stoffen worden in de onderzochte opties geëmitteerd. Het totaal aan fotochemische ozonvorming is als volgt bepaald:

- Totale fotochemische ozonvorming [kg ethyleen-equivalenten] = $\sum$ Massa emissie stof x naar lucht [kg/jaar] * Fotochemisch ozonvormend potentieel stof x [kg ethyleen eq./kg stof]

In onderstaande tabel is het fotochemisch ozonvormend potentieel van de geëmitteerde stoffen weergegeven. Niet iedere geëmitteerde stof heeft een fotochemisch ozonvormende werking.

Tabel 18: Overzicht toegepaste POCP-waarden

Geëmitteerde stof	Fotochemisch ozonvormend potentieel [kg ethyleen eq./kg]	Bron
Koolstofdioxide (CO ₂)	0	-
Stikstofdioxide (NO ₂)	1,87	Annex 7, BREF ECME (gemiddelde genomen van de genoemde range voor de POCP van NO ₂ . De stof kan namelijk een beperk remmende werking als een sterk stimulerende werking hebben)
Zwavedioxide (SO ₂)	0,048	-
VOS-emissie (C _x H _y)	0,482	Annex 7, BREF ECME
Benzeen (C ₆ H ₆)	0,218	Annex 7, BREF ECME
Mercaptanen (C ₂ H ₆ S)	0	-
Waterstofsulfide (H ₂ S)	0	-

4 Resultaten *cross-media* toets

4.1 Resultaten per criterium

De resultaten van de *cross-media* toets zijn opgenomen in appendix 1 van deze notitie. De berekende waarden zijn hierbij uitgedrukt in een percentage. Dit percentage geeft een verslechtering (positieve waarde) of verbetering (negatieve waarde) ten opzichte van de bestaande situatie weer (deze is op 0% gesteld). Deze verbetering of verslechtering is bepaald voor de zeven verschillende ECME-criteria en wordt hieronder toegelicht.

Toelichting resultaten per criterium

De berekende effecten per criterium laten deels een verbetering en deels een verslechtering zien ten opzichte van de bestaande situatie:

- **Humane toxiciteit:** de voorgenomen *incinerator* verwijdert meer componenten uit de dampstroom dan de bestaande GVI's. De potentieel negatieve effecten van de activiteiten van VTE op de leefomgeving nemen hierdoor significant af. Het positieve effect van een *incinerator* is iets minder vanwege het relatief hogere elektriciteitsverbruik en de hieraan gerelateerde indirecte emissies van toxische stoffen.
- **Opwarming van de aarde:** de bestaande GVI's werken op elektriciteit en veroorzaken daardoor uitsluitend een relatief beperkte indirecte CO₂-emissie. Het energieverbruik van een *incinerator* is vele malen hoger dan dat van de GVI's. Toch zorgt toepassing van een *incinerator* voor een verbetering op dit aspect. Dit komt doordat VOS-emissies een CO₂-equivalent effect hebben in de atmosfeer. In de bestaande situatie worden deze VOS-emissies onbehandeld geëmitteerd. Het verwijderingsrendement voor VOS van een *incinerator* is dusdanig hoog dat de toename in CO₂-emissies als gevolg van het energieverbruik van deze installatie hierdoor meer dan volledig wordt gecompenseerd. Dit effect is het grootst bij een *incinerator* met warmteterugwinning omdat het netto-energieverbruik van deze installatie relatief lager is. Echter, het positieve effect van de verwijdering van VOS-emissies is zo sterk dat ook toepassing van een *incinerator* zonder warmteterugwinning een verbetering oplevert ten opzichte van de bestaande situatie.
- **Aquatische toxiciteit:** zowel in de bestaande als in de voorgenomen situatie treden geen emissies op die een effect hebben op dit criterium. Het sulfaat in het waswater van de na de *incinerator* geschakelde *scrubber* heeft geen aqua-toxisch effect.
- **Verzuring** is een gevolg van de emissie van met name H₂S en SO₂. Deze emissies treden op als gevolg van respectievelijk het verladen van zwavelhoudende producten en het verbrandingsproces in de *incinerator*. Daarnaast veroorzaakt de opwekking van elektriciteit in energiecentrales indirecte emissies van verzurende stoffen. Ondanks dat de bestaande GVI's geen SO₂ produceren, is het zuiveringsrendement voor H₂S van een *incinerator* vele malen hoger dan dat van een GVI. Hierdoor treedt op dit aspect netto een verbetering op als gevolg van toepassing van een *incinerator*. Verder veroorzaakt een *incinerator* met warmteterugwinning een iets hogere indirecte SO₂-emissie vanwege het hogere elektriciteitsverbruik ten opzichte van een installatie zonder warmteterugwinning.
- **Eutrofiëring** is een gevolg van de emissie van NO₂. Ook deze emissie treedt op als gevolg van verbrandingsprocessen in de *incinerator* en bij elektriciteitsopwekking. Hier treedt om dezelfde reden als bij verzuring een verslechtering op ten opzichte van de bestaande situatie. Ook wordt het verschil tussen een *incinerator* met en zonder warmteterugwinning hier veroorzaakt door het verschil in elektriciteitsverbruik.
- **Ozondepletie** wordt voornamelijk veroorzaakt door emissies van Cfk's (chloorfluorkoolwaterstoffen). Deze stoffen worden niet geëmitteerd in zowel de bestaande als de voorgenomen situatie.

- **Fotochemische ozonvorming:** ozon kan onder invloed van zonlicht gevormd worden uit een serie complexe chemische reacties in de atmosfeer waarbij onder andere NO_x en VOS reageren. Deze stoffen worden niet uit de dampstroom verwijderd in de bestaande situatie. Toepassing van een *incinerator* heeft daarom een sterk positief effect op dit aspect. Het wel of niet toepassen van warmteterugwinning heeft geen invloed op dit aspect, aangezien het verwijderingsrendement van beide opties gelijk is en de impact van indirecte NO_x emissies op dit aspect beperkt is.

4.2 Cumulatieve resultaten

De berekende effecten per *cross-media* criterium vertonen grote variatie, wat het formuleren van een algemene conclusie over het totale milieueffect van de getoetste technieken lastig maakt. Om toch tot een dergelijke conclusie te kunnen komen is een (ongewogen) gemiddelde effectscore berekend voor de *incinerator* met en zonder warmteterugwinning. Vervolgens zijn, conform de ECNE-methodiek, de zogenaamde 'schaduwkosten' van de optredende emissies berekend. Deze indicator geeft een inschatting van de maatschappelijke kosten die gemaakt moeten worden voor het bestrijden van de gevolgen van de optredende emissies. De totale schaduwkosten zijn vervolgens gebruikt om de zogenaamde *benefit/investment*-ratio, ofwel de milieuwinst per geïnvesteerde euro, te berekenen. De wijze van berekening van deze indicatoren wordt hieronder toegelicht.

Berekening schaduwkosten emissies

In Tabel 19 is een overzicht opgenomen van de relevante schaduwkosten uit de ECME voor de beschouwde emissies en verbruiken. Vervolgens zijn de totale schaduwkosten voor de onderzochte opties berekend aan de hand van de volgende formule:

- Totale schaduwkosten emissies [€/jaar] = $\sum \Delta \text{Emissie X [ton/jaar]} * \text{Schaduwkosten emissie X [€/ton]}$

Met:

- $\Delta \text{Emissie X [ton/jaar]} = \text{Emissie X optie Y} - \text{Emissie X in huidige situatie}$

Tabel 19: Overzicht gehanteerde schaduwkosten per emissie

Emissie / verbruik	Eenheid	Kosten per emissie-eenheid in euro's
Koolstofdioxide (CO ₂)	[EUR/ton]	150
Stikstofdioxide (NO ₂)	[EUR/ton]	4.000
Zwavedioxide (SO ₂)	[EUR/ton]	1.500
VOS-emissie (C _x H _y)	[EUR/ton]	5.000
Water	[EUR/ton]	1
Energie	[EUR/MWh]	2
Afval	[EUR/ton]	100

Resultaten berekening schaduwkosten

Zowel de optie met als zonder warmteterugwinning laten een verbetering zien ten opzichte van de bestaande situatie. De *incinerator* met warmteterugwinning laat hierbij een iets grotere verbetering zien ten opzichte van de optie zonder warmteterugwinning.

Berekening benefit/investment ratio

Om de ratio tussen de behaalde milieuwinst en de benodigde investering te berekenen moet de investering worden uitgedrukt als jaarlijkse kosten. Dit is gedaan met de volgende formule:

$$I_a = I \cdot \alpha$$

I_a = Jaarlijkse investering [€/jaar]

I = Initiële investering [€]

α = Annuity factor [-], berekend met onderstaande formule:

$$\alpha = \frac{r \cdot (1 + r)^L}{(1 + r)^L - 1}$$

r = Discount rate [%]

L = Economische levensduur [Jaar]

Vervolgens is de ratio milieuwinst/investering berekend. Uit deze ratio kan worden bepaald hoeveel milieuwinst er wordt behaald per geïnvesteerde euro:

$$Ratio = \frac{\Delta \text{Schaduwkosten}}{I_a}$$

De gebruikte rekenwaarden zijn in onderstaande tabel weergegeven voor de beoordeelde opties. De huidige situatie is niet meegenomen, omdat dit wordt gebruikt als referentie. Daarnaast is er geen investering nodig voor de realisatie van de huidige situatie.

Tabel 20: Toegepaste waarden bij berekening benefit/investment ratio

		Incinerator zonder warmteterugwinning	Incinerator met warmteterugwinning
Investeringskosten	[EUR]	41 miljoen	48 miljoen
Discount rate (r)	[%]	7%	7%
Lifetime (L)	[jaar]	20	20
Capital recovery factor (α)	[%]	9,08%	9,08%
Annualised investment	[EUR/jaar]	3,72 miljoen	4,36 miljoen

Resultaten berekening benefit/investment-ratio

De berekening van de *benefit/investment*-ratio valt gunstiger uit voor de *incinerator* zonder warmteterugwinning dan voor de optie met warmteterugwinning. De reden hiervoor zijn de onevenredig aanvullende investeringskosten voor het toepassen van warmteterugwinning.

Appendix 1: Overzicht resultaten *cross-media* toets

		Optie 0	Optie 4a	Optie 4b
Omschrijving	Eenheid	Huidige situatie (baseline)	Incinerator zonder warmteterugwinning	Incinerator met warmteterugwinning
2. Inventarisatie van verbruiken en emissies				
2.1. Emissie van vervuilende stoffen				
a. naar lucht				
- Koolstofdioxide (CO ₂), incl. indirecte emissie	[ton/jaar]	144,7	11.213,2	8.982,6
- Stikstofdioxide (NO ₂), incl. indirecte emissie	[ton/jaar]	9,5	22,4	22,7
- Zwaveldioxide (SO ₂), incl. indirecte emissie	[ton/jaar]	0,2	5,0	5,3
- VOS-emissie (C _x H _y)	[ton/jaar]	1.083,0	4,6	4,6
- Benzeen (C ₆ H ₆)	[ton/jaar]	9,5	0,1	0,1
- Mercaptanen (C ₂ H ₆ S)	[ton/jaar]	12,6	0,3	0,3
- Waterstofsulfide (H ₂ S)	[ton/jaar]	6,9	0,1	0,1
b. naar water				
- Sulfaat (SO ₄ ²⁻)	[ton/jaar]	0	394,2	394,2
2.2. Ruw materiaalgebruik				
- Totaal aardgasverbruik (direct)	[TJ/jaar]	0	144	94
- Waterverbruik	[m ³ /jaar]	0	43.800	43.800
2.3. Energieconsumptie				
- Elektriciteitverbruik (direct)	[GJ/jaar]	1.104	4.084	6.291
- Totaal energieverbruik (incl. aardgas)	[GJ/jaar]	1.104	148.084	99.891
Totaal primair energieverbruik	[GJ _{primair} /jaar]	2.837	168.896	119.129
2.4 Afval				
- Afvalwater scrubbervloeistof	[m ³ /jaar]	50	0	0
- Gevaarlijk afval (condensaat in knock-out vaten)	[m ³ /jaar]	26	52	52
Totaal afval	[ton/jaar]	68	36	36
Deelconclusie inventarisatie van verbruiken en emissie				
De verschillen in emissie en verbruiken tussen optie 0 en de opties 4a en 4b zijn erg divers waardoor het van belang wordt geacht de milieueffecten te beoordelen. Als vervolgstap zijn daarom de cross media effecten berekend.		Hoge emissie van toxische stoffen als VOS en benzeen, maar aanzienlijk lager energieverbruik en daaraan gerelateerde CO ₂ en NO ₂ emissie.	Er vindt een verschuiving plaats van de emissie van VOS en benzeen naar hogere emissie van verbrandings(bij)producten CO ₂ en NO ₂ . Daarnaast stijgt het energieverbruik vanwege het toevoegen van installaties.	Ten opzichte van optie 4a neemt het elektriciteitsverbruik toe door een complexere installatie. Vanwege de terugwinning van warmte neemt het aardgasverbruik op de inrichting af en daarmee de CO2 emissie ten gevolge van aardgasverbranding ook.
3. Berekening crossmedia effecten				
3.1. Humane toxiciteit;	[kg lood equivalenten]	1.294	685	696
3.2. Opwarming van de aarde (100 jaar tijdshorizon);	[ton CO ₂ equivalenten]	12.438	12.159	9.943
3.3. Aquatische toxiciteit;	[m ³]	-	-	-
3.4. Verzuring;	[kg SO ₂ equivalenten]	17.901	16.498	16.895
3.5. Eutrofiëring;	[kg PO ₄ ³⁻ equivalenten]	1.237	2.908	2.954
3.6. Ozon depletie;	[kg CFC-11 equivalente	-	-	-
3.7. Fotochemische ozon vorming.	[kg ethyleen equivalente	541.876	44.336	45.007
Deelconclusie berekening crossmedia effecten				
		Milieueffecten waarop een groot effect is berekend zijn de humane toxiciteit en fotochemische ozonvorming. Daarnaast is vanwege VOS emissie het gevolg voor de opwarming van de aarde ook substantieel.	Ten opzichte van optie 0 wordt het effect op humane toxiciteit en fotochemische ozonvorming substantieel verlaagd. Dit gaat gepaard met een toename in eutrofiërende effecten.	Door warmteterugwinning toe te passen neemt het effect op de opwarming van de aarde af. Dit gaat gepaard met een kleine toename in het effect op humane toxiciteit, eutrofiëring en fotochemische ozonvorming.
4. Beoordeling crossmedia resultaten				
Humane toxiciteit;		0%	-47%	-46%
Opwarming van de aarde (100 jaar tijdshorizon);		0%	-2%	-20%
Aquatische toxiciteit;		0%	0%	0%
Verzuring;		0%	-8%	-6%
Eutrofiëring;		0%	135%	139%
Ozon depletie;		0%	0%	0%
Fotochemische ozon vorming.		0%	-92%	-92%
Totaalscore (ongewogen) milieueffecten	[%]	0%	-14%	-25%
- Ranking opties	[#]	3	2	1
Deelconclusie beoordeling crossmedia resultaten				
		Het voordeel van deze optie is voornamelijk te vinden in het beperkte effect op verzuring en eutrofiëring.	Optie 4a bewerkstelligt de grootste reductie in het effect op de humane toxiciteit van de drie opties. Bij volledige prioriteit voor het tegengaan van humaan toxische gevolgen is deze optie het gunstigst.	Optie 4b behaald bijna gelijke vermindering in het effect op de humane toxiciteit, bij een lagere impact op de opwarming van de aarde. Dit heeft ook als gevolg een prestatieverlies op de andere milieueffecten als verzuring, eutrofiëring en fotochemische ozonvorming ten opzicht van optie 4a.
5. Schaduwkosten emissies				
Totale schaduwkosten emissies	[EUR/jaar]	0	-3.539.902	-3.900.391
- Waterverbruik	[EUR/jaar]	0	43.800	43.800
- Primair energieverbruik	[EUR/jaar]	0	92.255	64.607
- Afvalproductie	[EUR/jaar]	0	-3.179	-3.179
- Koolstofdioxide (CO ₂), incl. indirecte emissie	[EUR/jaar]	0	1.660.266	1.325.680
- Stikstofdioxide (NO ₂), incl. indirecte emissie	[EUR/jaar]	0	51.438	52.851
- Zwaveldioxide (SO ₂), incl. indirecte emissie	[EUR/jaar]	0	7.312	7.643
- VOS-emissie (C _x H _y)	[EUR/jaar]	0	-5.391.793	-5.391.793
Benefit / Investment ratio		n.v.t.	0,95	0,90
Deelconclusie beoordeling schaduwkosten emissies				
Op basis van de schaduwkosten alleen is het voordeel van optie 4b wat hoger dan optie 4a. Wanneer de milieuvoordelen echter worden afgezet ten opzicht van de investering, dan is optie 4a in het voordeel.			Uit de negatieve schaduwkosten blijkt dat er economisch voordeel wordt behaald voor het milieu door het toepassen van deze optie.	De negatieve schaduwkosten zijn hoger dan bij de optie zonder warmteterugwinning, waardoor kan worden gesteld dat deze optie meer opbrengt voor het milieu. Echter is de kosten / baten ratio minder gunstig.