

RAPPORT

Kosten-batenanalyse HyCO5

Bijlage bij aanvraag omgevingsvergunning

Klant: Air Products Nederland B.V.

Referentie: BH5961I&BRP002F01

Status: Definitief/01

Datum: 11 november 2020

HASKONINGDHV NEDERLAND B.V.

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

2E T
2E F
info@rhdhv.com E
royalhaskoningdhv.com W

Titel document: Kosten-batenanalyse HyCO5

Ondertitel: Air Products KBA HyCO5
Referentie: BH5961I&BRP002F01
Status: 01/Definitief
Datum: 11 november 2020
Projectnaam: Air Products HyCO5
Projectnummer: BH5961
Auteur(s): 2E

Opgesteld door: Royal HaskoningDHV

Gecontroleerd door: 2E

Datum: 11 november 2020

Goedgekeurd door: 2E

Datum: 11 november 2020

Classificatie

Projectgerelateerd

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

Let op: dit document bevat persoonsgegevens van medewerkers van HaskoningDHV Nederland B.V. en dient voor publicatie of anderszins openbaar maken te worden geanonimiseerd.

Inhoud

1	Inleiding	1
1.1	Projectbeschrijving	1
1.2	Wettelijk kader	2
2	Voorlopige analyse	3
2.1	Algemeen	3
2.2	Voldoende bedrijfsuren	3
2.3	HR-WKK	3
2.4	Warmte leveren	4
2.4.1	Algemeen	4
2.4.2	Beschikbare restwarmte en kwaliteit rookgas	5
2.4.3	Aanwezigheid en aansluitmogelijkheid warmtenet	5
2.4.4	Capaciteit warmtenet	6
2.4.5	Indicatieve warmteberekening	6
2.5	Warmte gebruiken	8
3	Discussie en conclusie	9

1 Inleiding

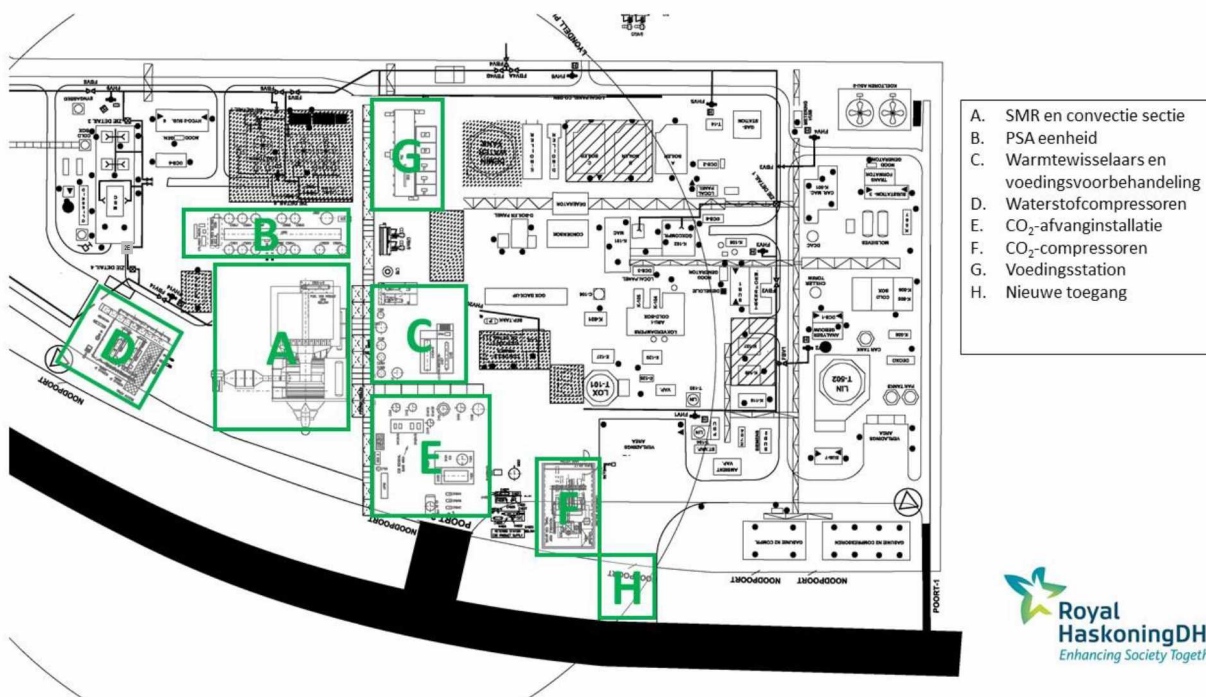
1.1 Projectbeschrijving

Air Products richt zich op de productie en levering van industriële gassen zoals waterstof, koolmonoxide, zuurstof, stikstof en synthese gas (waterstof/koolmonoxide mengsel). Daarnaast levert Air Products op de locatie Boyneweg 10 te Botlek-Rotterdam (Air Products Botlek) utilities zoals stoom, elektriciteit, en koelwater aan buurbedrijf Lyondell.

Air Products is voornemens op deze locatie een waterstoffabriek (HyCO5) te realiseren inclusief een CO₂-afvanginstallatie. De bestaande HyCO2 waterstoffabriek, twee gasturbines en vier boilers worden uit bedrijf genomen. Het totale thermische inputvermogen van HyCO5 is 181 MW.

Air Products zal voor HyCO5 gebruik maken van stoommethaanreforming (SMR). Hierbij wordt aardgas samengevoegd met stoom. In aanwezigheid van een katalysator wordt vervolgens een waterstofrijk gasmengsel (reformaat) gevormd. De productie is maximaal 124.000 Nm³/uur waterstof en 80 t/u stoom. De stoom wordt gebruikt voor andere processen binnen Air Products Botlek en geleverd aan het naastgelegen Lyondell.

In Figuur 1-1 zijn de locatie en de nieuwe onderdelen van de inrichting schematisch weergegeven. Voor een procesbeschrijving verwijzen we naar de toelichting bij de aanvraag omgevingsvergunning veranderen inrichting (milieu). Voorliggend rapport geeft invulling aan de eis om een kosten-batenanalyse (KBA) van de nieuwe warmtevoorziening en vormt een bijlage bij de aanvraag in het kader van de Wet algemene bepalingen omgevingsrecht (Wabo).



Figuur 1-1. Schematische weergave van de locatie van de nieuwe onderdelen van de inrichting (bron Air Products)
PSA = Pressure Swing Adsorption

1.2 Wettelijk kader

In 2012 is de Europese Energie-Efficiency Richtlijn (Energy Efficiency Directive (EED))¹ vastgesteld met als doel een kostenefficiënte reductie van energiegebruik en CO₂-emissies om zo klimaatverandering tegen te gaan. De richtlijn bevat verplichtingen voor zowel lidstaten als bedrijven. Sinds juli 2015 zijn de verplichtingen uit artikel 8 en 14 van de EED van toepassing. Artikel 8 gaat over de uitvoering van energie-audits door grote ondernemingen. Artikel 14 betreft een KBA van de warmtevoorziening bij nieuwbouw en renovatie. In Nederland zijn deze artikelen ingevoerd in de Tijdelijke regeling implementatie artikelen 8 en 14 richtlijn energie-efficiëntie (TREED)².

Onderhavig rapport gaat specifiek in op artikel 14 van de EED, een KBA ten gevolge van de realisatie van HyCO5 met CO₂-afvang. In paragraaf 3 (artikel 4 en 5) van de TREED zijn de regels met betrekking tot de KBA nader uitgewerkt. Artikel 4, eerste lid, onderdeel c, van de TREED is van toepassing op Air Products/ HyCO5:

Degene die een inrichting drijft, voert een kosten-batenanalyse uit indien hij voornemens is: een nieuwe industriële stookinstallatie met een totaal thermisch inputvermogen van meer dan 20 MW die afvalwarmte op een bruikbare temperatuur genereert, op te richten, dan wel ten aanzien van een dergelijke installatie een ingrijpende renovatie toe te passen, teneinde de kosten en baten te berekenen van het gebruik van afvalwarmte om te voldoen aan een economisch aantoonbare vraag als bedoeld in artikel 2, onder 31, van de richtlijn naar warmte en van de aansluiting van die installatie op een warmtenet of koudenet³.

Vervolgens beschrijft artikel 4, derde lid, wanneer wordt afgeweken van uitvoering van een KBA:

In afwijking van het eerste lid wordt een kosten-batenanalyse niet uitgevoerd indien uit een voorlopige analyse volgt dat uitvoering van de kosten-batenanalyse vermoedelijk niet tot resultaat heeft dat de som van de verwachte voordelen groter is dan de som van de verwachte kosten. Een voorlopige analyse omvat, waar van toepassing, een onderzoek naar:

- a. de aanwezigheid van in de nabijheid gelegen warmte- of koudenetten waarop zou kunnen worden aangesloten en de technische mogelijkheid daartoe;*
- b. de beschikbare ruimte in een in de nabijheid gelegen warmte- of koudenet;*
- c. de organisatorische, juridische en economische haalbaarheid van hoogrenderende warmtekrachtkoppeling, het gebruik van afvalwarmte of een aansluiting op een in de nabijheid gelegen warmte- of koudenet*

Artikel 5 beschrijft situaties waarin een KBA niet van toepassing is. Dit is onder andere het geval wanneer de hoeveelheid beschikbare nuttige warmte of de warmtevraag, bij een afstand tussen de industriële installatie en het warmtenet of koudenet van meer dan één kilometer maar niet meer dan drie kilometer, minder dan 2.500 GJ per jaar bedraagt en bij meer dan drie kilometer minder dan 25.000 GJ/j.

Conform de TREED zal in dit rapport in eerste instantie een voorlopige analyse worden uitgevoerd alvorens, indien van toepassing, een KBA aan de orde komt. Voor het uitvoeren van de voorlopige analyse wordt een hulpmiddel gebruikt dat is gepubliceerd door de Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (RVO)⁴.

¹ Richtlijn 2012/27/EU van 25 oktober 2012

² Nr. IENM/BSK-2015/103340, <https://wetten.overheid.nl/BWBR0036841/2019-07-01>

³ "economisch aantoonbare vraag" volgens artikel 2 onder 31 van de EED: een vraag die de behoefte aan verwarming of koeling niet overstijgt en waaraan anders onder marktvoorwaarden zou worden voldaan door andere processen van energieopwekking dan warmtekrachtkoppeling;

⁴ Voorlopige analyse bij kostenbatenanalyse – EED artikel 14 Versie 1, 21 december 2015

2 Voorlopige analyse

2.1 Algemeen

De voorlopige analyse bestaat uit vier onderdelen:

1. Beoordeling of er voldoende bedrijfsuren zijn
2. Beoordeling of hoogrendement (HR) warmtekrachtkoppeling (WKK) haalbaar is
3. Beoordeling of het mogelijk is om warmte te leveren
4. Beoordelen of het mogelijk is om warmte te gebruiken van anderen

2.2 Voldoende bedrijfsuren

Als een installatie naar verwachting minder dan 1.500 bedrijfsuren per jaar telt, dan is geen volledige KBA nodig. Dit is bijvoorbeeld het geval bij piekketels voor stadsverwarming en bij stoomketels die als back-up worden ingezet. HyCO5 zal meer dan 1.500 bedrijfsuren per jaar in bedrijf zijn.

2.3 HR-WKK

Voor het beoordelen van dit onderdeel is het nodig om in meer detail te kijken naar het proces en in het bijzonder de stoomproductie.

De reacties in de SMR tussen CH_4 en H_2O onder vorming van synthesesgas (CO en H_2) vinden plaats bij een temperatuur van ongeveer 850°C en zijn endotherm. De benodigde warmte wordt geleverd door het verbranden van een mengsel van purge gas, een restgas uit de PSA, en aardgas. Om de energie-efficiëntie van het proces te optimaliseren wordt de verbrandingslucht voorverwarmd met stoom.

Het effluent uit de SMR, synthesesgas, wordt gekoeld door het genereren van hoge druk (HD) stoom van 40 barg in de stoomketel. Hierna wordt het verder gekoeld door ketelvoedingswater voordat het naar de water-gas-shift-reactor gaat. In die reactor vindt omzetting van CO en H_2O in CO_2 en H_2 plaats bij circa 350°C .

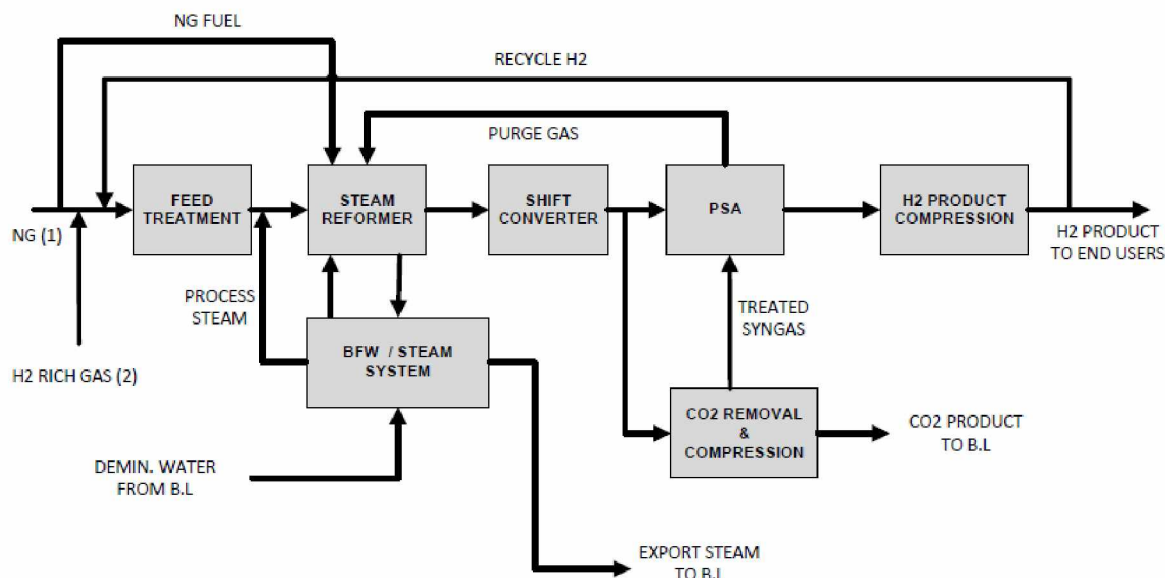
De overmaat stoom in het synthesesgas condenseert tijdens het afkoelen van het synthesesgas. Dit procescondensaat wordt in de hoge druk stoomstripper ontdaan van verontreinigingen. De hoge druk stoom wordt teruggevoerd aan het voedingsgas in de SMR. Het procescondensaat wordt weer opgewarmd en teruggevoerd het proces in.

Stoom wordt ook intern gebruikt voor het opwarmen van de voeding en de uitlaat van de pre-reformer. In de pre-reformer worden alle hogere koolwaterstoffen in het voedingsgas, na bijmenging van stoom, afgebroken naar methaan, waterstof en koolmonoxide.

Tevens zal de stoom worden gebruikt voor het uitkoken van de aan een solvent gebonden CO_2 als onderdeel van de CO_2 -afvang.

De stoom wordt geleverd aan het stoomnet en zowel door de genoemde installaties van Air Products als het nabijgelegen Lyondell worden gebruikt.

In Figuur 2-1 staat een principeschema van het proces.



- 1) Natural Gas Feed Compression within battery limit
2) H2 Rich Gas To be supplied via pipeline to AP – Pipeline by others

Figuur 2-1. Principeschema HyCO5 en CO₂-afvang (BFW = boiler feed water (ketelvoedingswater), B.L. = Battery Limit)

Door de sterk doorgevoerde warmte integratie in de HyCO5 zal dit proces gaan behoren tot de 10% meest energiezuinige waterstofinstallaties⁵. Via de leverancier wordt optimale warmte-integratie geborgd door een Pinch-analyse tijdens het ontwerpproces. In een Pinch-analyse wordt met een speciale rekenmethodiek de configuratie gevonden die het laagste energieverbruik heeft.

De opwekking van HD stoom van 40 barg kent een hogere efficiency dan een conventionele boiler. Er is hierbij reeds sprake van hoogrendement cogeneratie, weliswaar niet van warmte-elektriciteit zoals gedefinieerd in bijlage II van de EED, maar van warmte-waterstof. De rekenmethodiek die de voorlopige analyse voorschrijft (berekening WKK met behulp van gas- elektriciteits- en CO₂-prijs met voorgeschreven coëfficiënten, afhankelijk van vermogen en temperatuur) is dan ook niet aan de orde.

2.4 Warmte leveren

2.4.1 Algemeen

Zoals beschreven in § 2.3 wordt intern voor diverse processen bij Air Products Botlek warmte (stoom) geleverd als ook extern aan Lyondell via het stoomnet. Er is dus al sprake van vergaande warmte- en brandstofintegratie, zij het op hoge temperatuur en druk.

Uitkoppeling met lagere temperatuurwarmte is nader onderzocht in de volgende paragrafen:

- Een analyse van de hoeveelheid en temperatuur van de beschikbare restwarmte;
- Een inventarisatie van de aanwezigheid van in de nabijheid gelegen warmtenetten waarop kan worden aangesloten en de technische mogelijkheid daartoe;
- De beschikbare capaciteit op een eventueel geschikt warmtenet;
- Indicatieve warmteberekening.

⁵ Op basis van wereldwijde benchmark Air Products

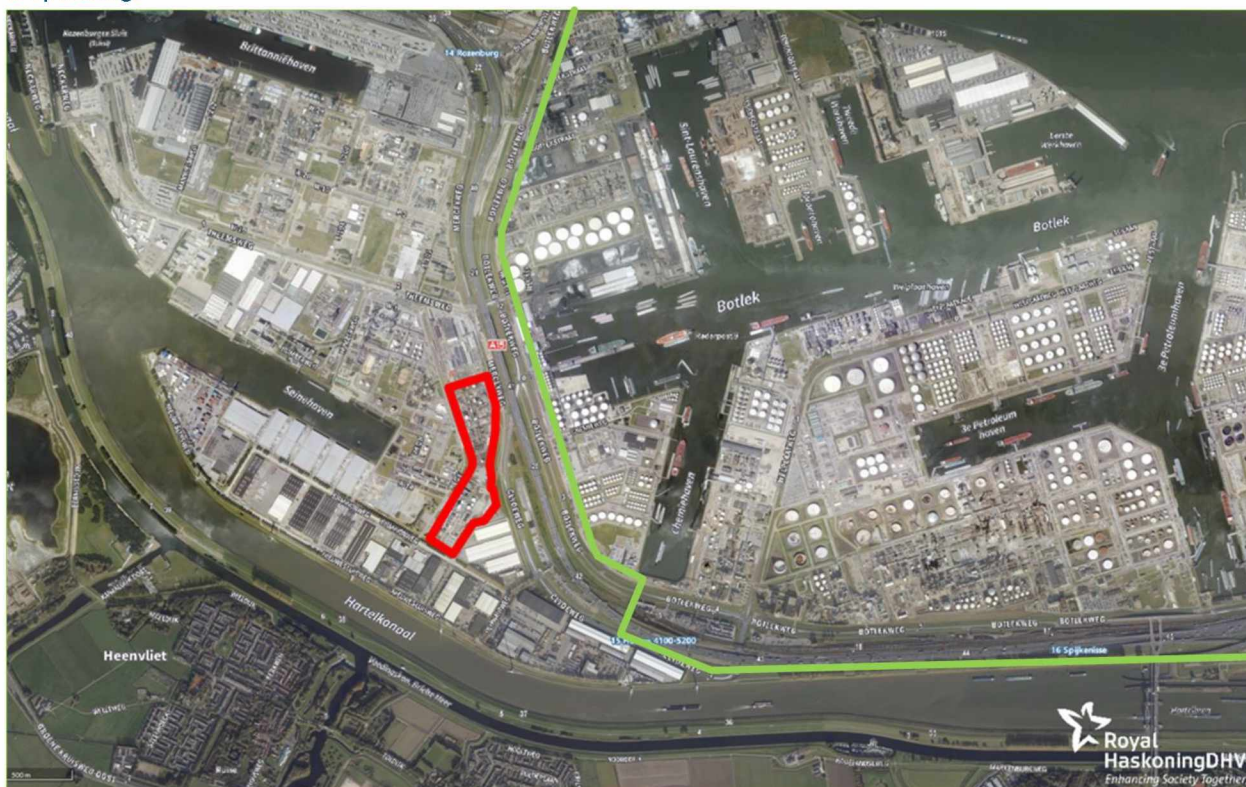
2.4.2 Beschikbare restwarmte en kwaliteit rookgas

Restwarmte bij HyCO5 en de CO₂-afvang komt vrij in de vorm van rookgas uit het SMR-fornuis⁶ en koelwater. Er worden alleen recirculerende koelwatertorens toegepast, waardoor de lozing beperkt is tot de spui. De thermische lozing is beperkt. De rookgassen hebben een energie-inhoud van 406 MJ/K/u⁷ en een temperatuur van 132-144⁰ C⁸, waarbij de bovengrens de ontwerpwaarde is en de ondergrens de verwachte praktijkwaarde.

De rookgassen ontstaan uit de verbranding van aardgas en purge gas. Om de rookgassen te zuiveren is een SCR deNO_x voorzien. Naast NO_x zijn er emissies van stof, SO₂, NH₃ en CO. Met name de emissies van SO₂ zijn een aandachtspunt, omdat het in aanwezigheid van vocht H₂SO₄ (zwavelzuur) vormt wat weer kan leiden tot corrosie in de rookgas-water-warmtewisselaar. Dit zou kunnen worden ondervangen door gebruik te maken van kunststof in plaats van metaal, maar dit leidt mogelijk tot meer kosten en andere nadelen zoals minder warmteoverdracht.

2.4.3 Aanwezigheid en aansluitmogelijkheid warmtenet

Nabij de locatie van Air Products Botlek aan de Boyneweg 10 te Botlek-Rotterdam loopt het warmtetransportnetwerk van Warmtebedrijf Rotterdam, zie Figuur 2-2. De afstand van het netwerk naar de schoorsteen van het SMR-fornuis bedraagt een paar honderd meter. De afstanden genoemd in artikel 5 van de TREED (één en drie kilometer bij verschillende hoeveelheden warmte) zijn daarom niet van toepassing.



Figuur 2-2. Ligging Air Products Botlek (rood) en warmtetransportnetwerk Rotterdam (groen). Bronnen: Cyclomedia en warmtebedrijf Rotterdam

⁶ Voor het opvangen van bijzondere bedrijfssituaties wordt het aanwezige gas in de installatie afgelaten naar de fakkel. Deze wordt hier buiten beschouwing gelaten.

⁷ Flow: 12.414,9 (kmol/u) * Molecuulgewicht 29,6 (kg/kmol) * warmtecapaciteit 0,264 (kcal/kg*K) * 4,184/10³

⁸ Opgave Air Products

De Afval- en Energiecentrale van AVR in Rozenburg is een bron van de havenwarmte die via het warmtetransportnetwerk naar Rotterdam gebracht wordt. Vanaf Rozenburg loopt het tracé grotendeels langs de A15 door het Botlekgebied richting de eindgebruikers, de huishoudens in Rotterdam.

Het warmtebedrijf Rotterdam is ingedeeld in drie onderdelen: Asset Management, Business Development en Operations. Binnen deze afdelingen worden potentiële aanbieders van havenwarmte benoemd⁹. Hieruit is te concluderen dat in theorie de aansluitmogelijkheid bestaat, met de kanttekening dat in dit stadium nog geen contact is gezocht met het warmtebedrijf.

Een uitdaging is om een eventuele koppeling van de leiding te laten kruisen met de A15, Betuweroute en overige infrastructuur, inclusief benodigde vergunningen. Hoewel technisch mogelijk, zal dit sterk kostenverhogend werken. De kosten zijn in dit stadium nog niet nader uitgewerkt.

2.4.4 Capaciteit warmtenet

De aanvoer- en retourtemperaturen zijn respectievelijk 98-120 °C en 50-70 °C. De leidingen hebben een lengte van 26 kilometer en een binnendiameter van 400 of 500 millimeter. De thermische capaciteit van het netwerk is 105 MW_{th} en het volume is 1.500.000 GJ. Dit staat gelijk aan een warmtevraag van ongeveer 50.000 huishoudens. In 2019 is voor een kleine 10.000 woningequivalenten aan warmte geleverd en staan nog eens 2.000 woningen onder contract¹⁰. Hieruit valt op te maken dat er nog capaciteit beschikbaar is, met wederom de kanttekening dat er nog geen contact is geweest met het warmtebedrijf.

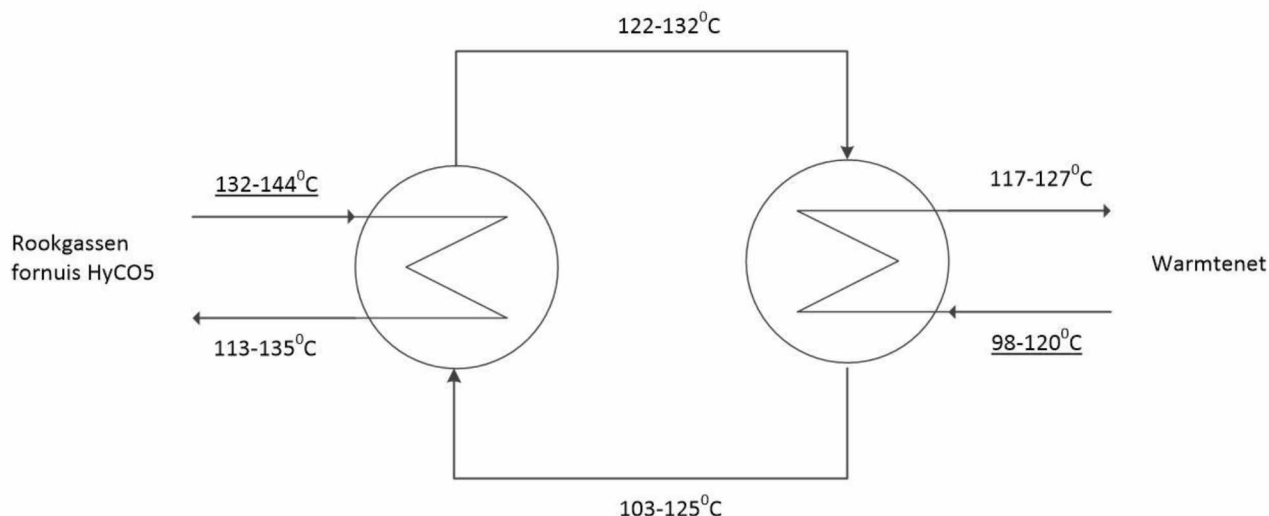
2.4.5 Indicatieve warmteberekening

Om een eerste idee te krijgen van de haalbaarheid van uitkoppeling van de rookgassen met het warmtenet, is een indicatieve warmteberekening uitgevoerd. Energetisch gezien is uitkoppeling met de retourstroom van 50-70 °C het meest interessant; dit zal echter de restwarmtebenutting van AVR Rozenburg waarschijnlijk verminderen. In dat geval zal de energiewinst ter plaatse van Air Products Botlek elders in het systeem teniet worden gedaan. De retourstroom wordt om deze reden niet nader onderzocht.

Om warmte te kunnen leveren aan het warmtenet zijn twee warmtewisselaars benodigd: één voor benutting van de rookgassen (rookgas-water) en één voor afgifte aan het warmtenet (water-water). De warmteoverdracht van gas naar vloeistof is moeilijker dan voor vloeistof-vloeistof. Daarom zal er bij de eerste warmtewisselaar een groter verschil in temperatuur nodig zijn. We nemen hierbij respectievelijk 10⁰ C en 5⁰ C aan op basis van *expert judgment*. De temperatuur van de rookgasstroom retour zal te hoog zijn om te zorgen voor condensatie van de rookgassen en eventuele warmtebenutting daarvan. Zie Figuur 2-3 voor een schematisch overzicht.

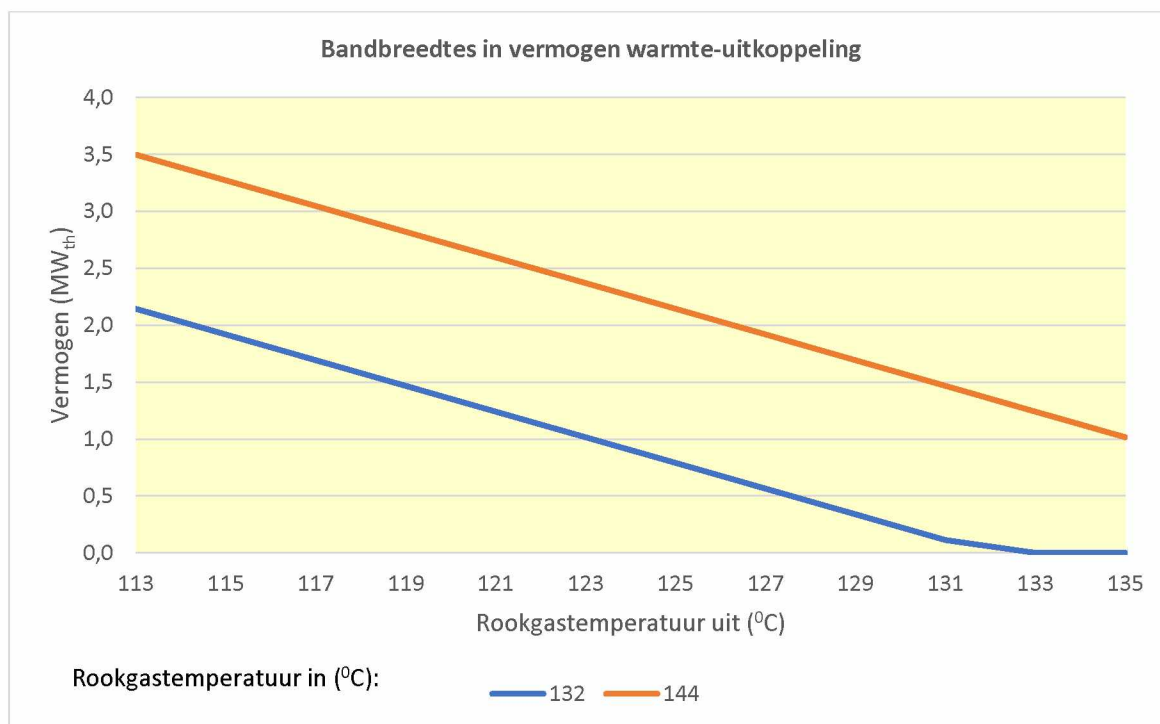
⁹ Bron: <http://www.warmtebedrijfrotterdam.nl/maatwerk/>

¹⁰ Bron: <https://www.vattenfall.nl/producten/stadsverwarming/co2-reductie/rotterdam/>



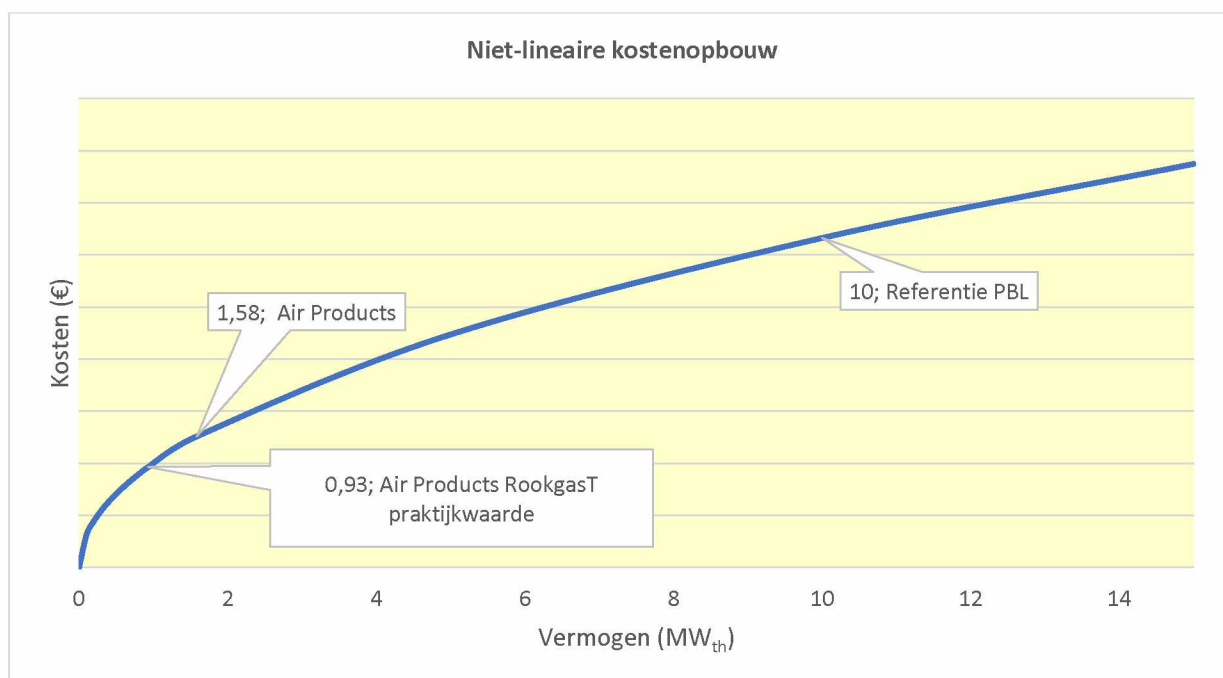
Figuur 2-3. Indicatief schema restwarmteuitkoppeling. De gegeven temperatuurbereiken zijn onderstreept.

Omdat zowel de ingaande rookgassen als de warmte uit het net een bepaald bereik hebben en niet één waarde, zijn bandbreedtes in vermogen voor warmte-uitkoppeling berekend, zie Figuur 2-5. In de figuur zijn de hoogste en laagste rookgastemperatuur weergegeven. De overige ingaande rookgastemperaturen liggen binnen deze bandbreedte. Onder de aanname dat alle temperaturen even vaak kunnen voorkomen, is een gemiddeld uit te koppelen warmtevermogen berekend van 1,58 MW_{th}. Bij een maximale bedrijfstijd van 6.000 u/j conform het model eindadvies PBL SDE++, omdat er niet het gehele jaar door een warmtevraag is, is de geleverde energie 34.193 GJ/j. Wanneer de verwachte praktijkwaarde van 132° C van de ingaande rookgassen wordt aangehouden, is het warmtevermogen gemiddeld 0,93 MW_{th} en de geleverde energie 20.128 GJ/j. Bij het warmtenet is niet bekend welke verdeling van temperaturen gedurende het jaar optreedt.



Figuur 2-4. Bandbreedtes in vermogen warmte-uitkoppeling

Bij het bepalen van de business case geldt als vuistregel een niet-lineaire kostenopbouw, terwijl de baten wél een lineaire opbouw kennen. Het PBL gaat uit van een referentievermogen van 10 MW_{th}. Bij dergelijk hoge vermogens zijn zowel de CAPEX (investeringskosten) als OPEX (operationele kosten) relatief laag. Bij 1,58 MW_{th} en zeker bij 0,93 MW_{th} zijn de kosten relatief hoog. Deze kostenopbouw is indicatief gevisualiseerd in Figuur 2-5.



Figuur 2-5. Indicatieve visualisatie niet-lineaire kostenopbouw

Hier komt bij dat kosten van warmtewisselaars sterk toenemen bij een kleiner temperatuurverschil tussen de op te warmen en af te koelen stroom. Dit volgt uit de algemene ontwerpvergelijking van warmtewisselaars: $Q = k \times A \times \Delta T$. De hoeveelheid over te dragen warmte Q wordt bepaald door een constante k (afhankelijk van materiaal warmtewisselaar en de twee stromen), het oppervlak van de warmtewisselaar A en het logaritmisch gemiddelde temperatuurverschil tussen de twee stromen. Omdat de temperatuurverschillen klein zijn, zijn grote en daarmee dure warmtewisselaars nodig.

Deze indicatieve berekeningen laten zien dat de uit te koppelen vermogens en de bijbehorende jaarlijkse warmteproductie naar verwachting te laag zijn om een haalbare business case op te leveren.

2.5 Warmte gebruiken

RVO zegt hierover: “indien een stadsverwarmingsnet wordt opgericht of ingrijpend wordt gerenoveerd, moet gekeken worden of er een bron van restwarmte is die kan dienen als voeding voor dit warmtenet”. Dit is niet aan de orde. Air Products Botlek heeft in beginsel HD stoom nodig en produceert deze zelf uit purge gas en aardgas.

3 Discussie en conclusie

In het kader van artikel 14 van de EED en artikel 4 en 5 van de TREED is een voorlopige KBA uitgevoerd voor de HyCO5. Hieruit volgt dat er voldoende bedrijfsuren zijn, dat HR-WKK reeds wordt toegepast via warmte-waterstof (in plaats van warmte-elektriciteit) en dat restwarmte van derden gebruiken niet aan de orde is.

Voor het leveren van restwarmte uit de rookgassen van het fornuis naar het stadswarmtenet geldt:

- Energetisch gezien is uitkoppeling met de retourstroom van 50-70 °C het meest interessant; dit zal echter de restwarmtebenutting van AVR Rozenburg waarschijnlijk verminderen en is daarom niet nader onderzocht.
- Indicatieve berekeningen laten zien dat de uit te koppelen vermogens en de bijbehorende jaarlijkse warmteproductie naar verwachting te laag zijn om een haalbare business case op te leveren.