BlueTerra
Energy Experts

RESULTATEN PROJECT STOOMRECOMPRESSIE DOW TERNEUZEN

Toetsing van mechanische damprecompressie op pre-industriële schaal

DATUM | 29 april 2021

OPDRACHTGEVER | DOW Benelux B.V.

Rapport

Deloitte Accountants B.V.
For identification purposes only.
Related to auditor's report
dated April 29, 2021

RESULTATEN PROJECT STOOMRECOMPRESSIE DOW TERNEUZEN

Toetsing van mechanische damprecompressie op pre-industriële schaal

DEI PROJECTTITEL
Mechanische stoomrecompressie. Een demonstratieproject bij DOW Terneuzen

RVO REFERENTIENUMMER
DEI1160025

PENVOERDER
DOW Terneuzen

PROJECTPERIODE
juli 2016 - december 2020

Het project is uitgevoerd met subsidie van het Ministerie van Economische Zaken, Nationale regelingen EZ-subsidies, Topsector Energie uitgevoerd door Rijksdienst voor Ondernemend Nederland.

GREEN DEAL PROJECTTITEL
Restwarmte verwaarding door Stoom re-compressie

SUBSIDIE VERSTREKKER
Provincie Zeeland

KENMERK
17001593

PROJECTPERIODE
oktober 2016 - december 2020

Het project is mede mogelijk gemaakt door een subsidie van de Provincie Zeeland.

Website
www.blueterra.nl
E-mail
info@blueterra.nl
Telefoon
+31 88 520 04 00

DATUM
29 april 2021

KENMERK
15613DBRE2652789

UITGEVOERD DOOR
ing. D.J. de Bree, ir. B.J. Waggeveld

CO-LEZER
ing. T.R. Hoek

IN OPDRACHT VAN
Dow Benelux B.V.

CONTACTPERSOON
Stefan Vollmer Firenze

VERSIE
1.0

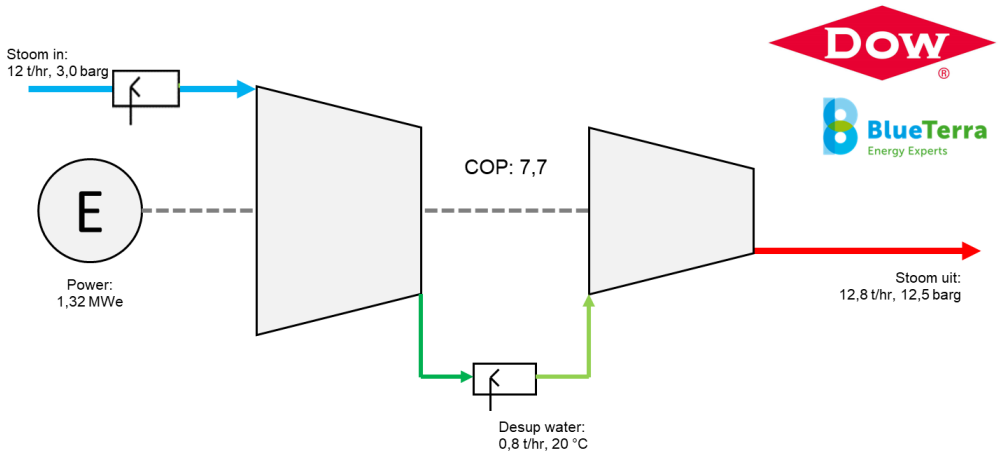
Deloitte Accountants B.V.
For identification purposes only.
Related to auditor's report
dated April 29, 2021

Samenvatting

Voor het productieproces van DOW Terneuzen is een aanzienlijke hoeveelheid energie nodig, veelal in de vorm van stoom. Stoom op het laagste drukniveau kan niet altijd volledig worden benut. Met behulp van de mechanische damprecompressie (MVR)-techniek wordt deze stoom opgewaardeerd, zodat deze opnieuw te gebruiken is. Om de werking van de MVR-techniek op pré-industriële schaal aan te tonen is een pilot-installatie geplaatst bij DOW Terneuzen. Hiervoor is gebruik gemaakt van subsidieregelingen, namelijk de DEI-subsidie en de Green Deal subsidie vanuit de Provincie Zeeland. In dit kader is dit rapport geschreven.

Pilot installatie

De MVR is een tweetraps centrifugaalcompressor, geleverd door Atlas Copco, die oververhitte stoom van 3,0 barg in twee stappen comprimeert naar 12,5 barg. De nominale doorzet van de installatie is 12 ton per uur. Zowel bij de inlaat als tussen de trappen vindt koeling van de stoom plaats door injectie van water.



Resultaten

De realisatie van de pilot heef langer geduurd dan gepland. Na het opstarten in november 2019 heeft de installatie beperkt gedraaid door een verkeerd ontworpen oliekoeler. Deze oliekoeler is in het vierde kwartaal van 2020 vervangen en sindsdien draait de MVR onafgebroken. Vanuit de uitgevoerde operationele -en rendementsanalyses blijkt dat de installatie energetisch beter draait dan uit de ontwerpgegevens verwacht kon worden. Verder is gebleken dat de pilot voldoende stabiel draait wanneer deze in bedrijf is.

Item	Eenheid	Periode 1	Periode 2	*Jaarbasis
Gemiddeld doorzet	[ton/uur]	13,8	14,0	12,0
Operationele uren	[uur]	2.449	1.056	8.500
Stoomproductie	[kton]	33,8	14,8	102
Vermeden aardgasgebruik	[kNm³]	3.130	1.370	9.460
Netto CO_2-reductie	[ton CO_2]	4.230	1.840	12.760

*berekend op basis van verwachte beschikbaarheid van de installatie in 2021.

Door de beperkte draaitijd en de technische problemen is de betrouwbaarheid van de installatie op lange termijn nog niet voldoende aangetoond. Dit zal na de monitoringsperiode plaatsvinden.

Deloitte Accountants B.V.
For identification purposes only.
Related to auditor's report
dated April 29, 2021

Inhoudsopgave

Samenvatting **3**

1 Inleiding **5**

2 Theorie **7**

3 Uitvoering **11**

3.1 Organisatie en planning 11

3.2 Begroting 11

3.3 Werkpakketten 13

3.4 Realisatie in de tijd 14

3.5 Kennisdisseminatie 15

4 Technische realisatie **16**

4.1 Inpassing in bestaande processen 16

4.2 Technologie selectie 17

4.3 Aanschaf installatie 20

5 Analyse van de resultaten **22**

5.1 Periode 1: 01 NOV19 – 15 JUL20 22

5.2 Periode 2: 17 NOV20 – 31 DEC20 25

5.3 Dynamisch gedrag 27

5.4 Operationeel rendement 28

6 Evaluatie **31**

6.1 Evaluatie van de analyses en aanbevelingen 31

6.2 Ontwikkelingen MVR-techniek binnen DOW 31

6.3 Herhalingspotentieel bij andere industrieën 31

6.4 Lessons learned 32

6.5 Toetsing projectplan 35

Team **36**

Bijlagen

A Budget versus werkelijke kosten Pilot MVR installatie **37**

Deloitte Accountants B.V.
For identification purposes only.
Related to auditor's report
dated April 29, 2021

1 Inleiding

In de klimaatdoelstellingen is gesteld dat in 2030 49% minder CO_2 uitgestoten dient te worden ten opzichte van 1990. In 2050 dient dit percentage verhoogt te worden naar 95% ten opzichte van 1990. De Nederlandse en Provinciale overheid biedt ondersteuning aan bedrijven, onder andere door middel van subsidies, om de CO_2-uitstoot omlaag te kunnen brengen. De subsidies “Demonstratie Energie -en Klimaatinvestering (DEI)” en de “Green Deal” vanuit de Provincie Zeeland zijn hier voorbeelden van. Het project binnen DOW Terneuzen maakt gebruik van deze subsidies. Een voorwaarde om in aanmerking te komen voor deze subsidie, is het delen van de kennis met betrekking tot de werking van de techniek met overige bedrijven, ofwel kennisdisseminatie. In het kader van deze subsidies is dit rapport opgesteld.

In veel kleinschalige en grootschalige industriële productieprocessen wordt stoom gebruikt voor verwarming. Daarnaast wordt stoom ook gebruikt voor bijvoorbeeld kraakprocessen in de petrochemie. Voor deze toepassingen is hoogwaardig stoom nodig, dus stoom bij hoge druk en temperatuur. Na gebruik van deze stoom ontstaat laagwaardig stoom (lage druk) die niet direct inzetbaar is voor deze doeleinden. Om deze reden wordt de restwarmte waar de stoom op dat moment nog over beschikt vaak weggekoeld of de stoom wordt afgeblazen. Door de resterende warmte weg te koelen of af te blazen gaat echter een aanzienlijke hoeveelheid warmte verloren. Om van de laagwaardige stoom weer bruikbaar hoogwaardig stoom te maken, kan mechanische damprecompressie (MVR) zowel technisch als economisch een interessante techniek zijn om toe te passen. Door middel van compressoren (elektrische energie) wordt de stoom met lage temperatuur en druk gecomprimeerd naar hoge temperatuur en druk.

In het productieproces van DOW Benelux B.V. in Terneuzen is een MVR op pre-industriële schaal toegepast. Dit project is gedeeltelijk ontwikkeld in samenwerking met BlueTerra. De uitvoering en de benodigde investeringen zijn door DOW Benelux B.V. uitgevoerd.

DOW Benelux B.V.

DOW is producent van verschillende soorten kunststoffen, zoals polyethyleen en polycarbonaat, door middel van het kraken van Nafta. Bij de locatie in Terneuzen worden, naast de kunststoffen, ook halffabricaten geproduceerd die als grondstof dienen voor de kunststoffen.

Probleemstelling

De probleemstelling van dit onderzoek is dat op dit moment MVR nog vrijwel niet toegepast wordt in de Nederlandse procesindustrie. Hedendaagse compressoren die gebruikt dienen te worden bij deze techniek worden al wel in de zuivel- en zoutwinningsindustrie toegepast. Deze compressoren dienen aangepast te worden om de hogere procescondities, die heersen in het overgrote deel van de overige industrieën, aan te kunnen. De werking en toepasbaarheid van deze techniek in de procesindustrie op (pre-)industriële schaal is hierdoor op dit moment nog onbekend.

Doelstelling

Dit project heeft als doel het demonstreren van de werking van MVR in een bestaand grootschalig productieproces op pre-industriële schaal (10-14 ton/u). Deze informatie kan door DOW Benelux B.V. gebruikt worden om op productieschaal deze techniek toe te gaan passen.

Deloitte Accountants B.V.
For identification purposes only.
Related to auditor’s report
dated April 29, 2021

Ook heeft dit project als doel het informeren van overige bedrijven in de Nederlandse industrie over de werking van deze techniek. Hierdoor kan deze informatie als referentie dienen in de besluitvorming om MVR toe te passen.
Wanneer de pilot succesvol is, kan de technologie worden opgeschaald naar een full-scale MVR installatie van 50 ton/uur bij DOW Terneuzen. In tegenstelling tot de pilot, zal een installatie van dit formaat een zeer gunstige businesscase kennen door de schaalvoordelen. Daarnaast kan de opgedane technische ervaring van de pilot helpen bij het ontwerp van een full-scale installatie. Indien deze techniek voldoende toepasbaar blijkt te zijn in het productieproces van DOW Benelux B.V., en hierdoor ook verder geïmplementeerd wordt in de procesindustrie, dan kan MVR in Nederland voor een CO_2-reductie van 1,3 miljoen ton per jaar zorgen.

Leeswijzer

In hoofdstuk 2 van dit rapport zal ingegaan worden op de theorie achter de toepassing van MVR. Hierin wordt onder andere kort het productieproces van DOW besproken in combinatie met de beschikbaarheid van lagedrukstoom. Ook zal de MVR-techniek verder toegelicht worden. In hoofdstuk 3 wordt de uitvoering van het project besproken. De verschillende projectfases worden hier geëvalueerd. Verder zal de begroting van het project en de mate van kennisdisseminatie besproken worden. In hoofdstuk 4 zal worden ingegaan op de technische realisatie van de pilot MVR. Hoofdstuk 5 bestaat uit de operationele -en rendementsanalyses uitgevoerd op basis van procesdata van de pilot MVR. In hoofdstuk 6 wordt geëvalueerd op de werking van de installatie tijdens de proefperiode. Verder wordt hier gekeken naar toepassingsmogelijkheden binnen DOW en overige industrieën en wordt het projectplan getoetst.

Deloitte Accountants B.V.
For identification purposes only.
Related to auditor's report
dated April 29, 2021

2 Theorie

In dit hoofdstuk zal het productieproces van DOW Terneuzen besproken worden. Verder zal de beschikbaarheid van lagedrukstoom besproken worden, en de MVR techniek verder toegelicht worden.

Het productieproces

DOW beschikt over diverse productielocaties in de wereld. De site in Terneuzen (Nederland) is daarvan één van de grootste. Op deze locatie wordt Nafta gekraakt met behulp van stoom tot olefinen (etheen, propeen, butadieen) en cyclische verbindingen zoals benzeen, tolueen en xyleen. De olefinen worden op hun beurt weer omgezet in plastics en andere chemische grondstoffen. De cyclische verbindingen worden gebruikt voor de productie van onder andere synthetisch rubber, epoxy en latex. Figuur 2.1 geeft een beeld van de DOW site in Terneuzen.

Figuur 2.1 - Bovenaanzicht van de site van DOW in Terneuzen

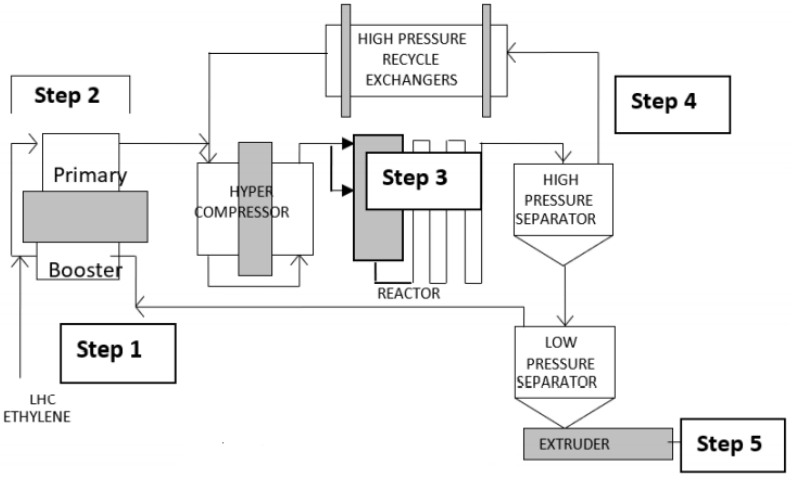
De etheen/ethyleen wordt verder verwerkt tot LDPE (Lage Dichtheid Polyethyleen) door ethyleengasmonomeer te polymeriseren. Het polyethyleen is een flexibele kunststof die wordt gebruikt in verpakkingsfolie, extrusiecoatings, kleefstoffen, draad- en kabelgrondstoffen, afvalzakken en andere toepassingen. Het proces is een hogedrukproces, aangezien het ethyleen onder extreem hoge drukken wordt gebracht (tot wel 2500 bar). Het algemene proces ziet er als volgt uit:

- compressie van het ethyleen tot zeer hoge drukken;
- reactie waarbij polymerisatie plaatsvindt na een kickstart door een peroxide-injectie;
- devolatisatie (hogedrukafscheider) waarbij het niet-gereageerde ethyleen verwijderd en vervolgens gerecycled wordt;
- extrusie waarbij het polyethyleen tot pellets wordt verwerkt.

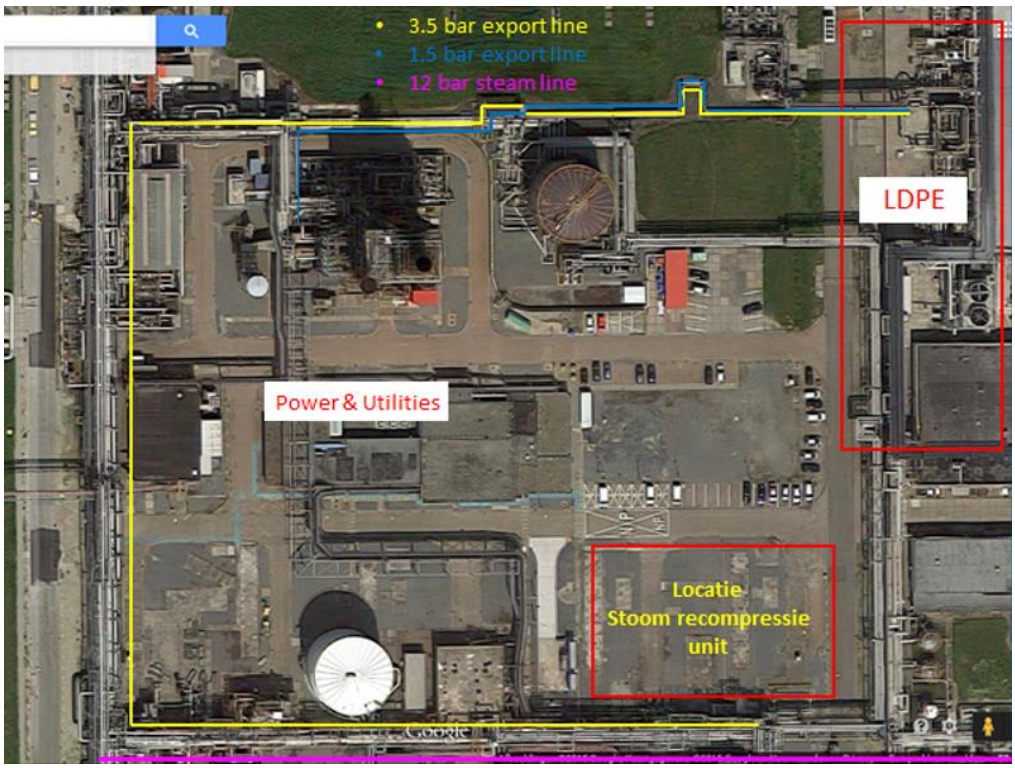
DOW Terneuzen beschikt over vier productietreinen, elk met een andere productietechniek. Alle treinen volgen echter hetzelfde proces zoals weergegeven in Figuur 2.2 -. De plotplan van deze fabriek, inclusief het stoomnetwerk is weergegeven in Figuur 2.3.

Deloitte Accountants B.V.
For identification purposes only.
Related to auditor's report
dated April 29, 2021

Het kraakproces is een exotherm proces. Bij het koelen van dit proces wordt hogedrukstoom geproduceerd, dat geëxpandeerd wordt in een stoomturbine om stoom voor het 12 barg stoomsysteem te produceren. Na gebruik van deze 12 barg stoom, wordt lagedrukstoom overgehouden. Normaliter wordt deze lagedrukstoom gekoeld of afgeblazen, maar met de MVR techniek kan de lagedrukstoom worden opgewaardeerd en zo nuttig ingezet worden.



Figuur 2.2 - Het LDPE proces van DOW Terneuzen



Figuur 2.3. - De plot plan van de LDPE-fabriek en het bijbehorende stoomnetwerk.

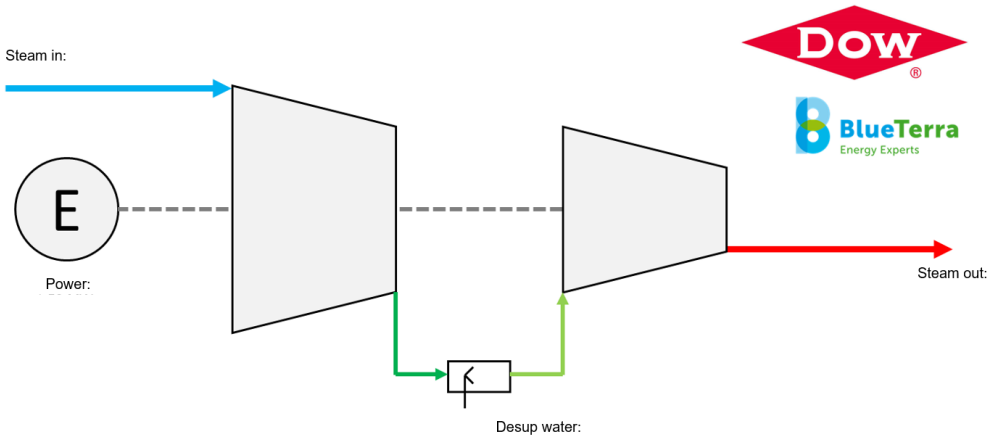
Deloitte Accountants B.V.
For identification purposes only.
Related to auditor's report
dated April 29, 2021

Mechanische damprecompressie

Er bestaan twee verschillende algemene systemen van warmtepompen, namelijk open -en gesloten warmtepompsystemen. Bij een open warmtepompsysteem wordt de energiedrager, bijvoorbeeld lagedrukstoom, zelf gecomprimeerd naar hogere condities. Bij een gesloten warmtepompsysteem worden koudemiddelen gebruikt voor het comprimeren, opnemen en afstaan van de warmte.

Mechanische damprecompressie is een voorbeeld van een open warmtepompsysteem. Door middel van compressie wordt de temperatuur en druk van stoom verhoogd naar de gewenste condities. De lagedrukstoom die DOW overhoudt na gebruik in het proces, wordt normaliter gekoeld tot condities waarbij het water opnieuw gebruikt kan worden om stoom te produceren. Hierdoor gaat een aanzienlijke hoeveelheid latente warmte verloren. De latente warmte is de warmte die vrijkomt wanneer stoom condenseert, deze warmte dient ook weer toegevoegd te worden wanneer opnieuw stoom geproduceerd dient te worden. Door de lagedrukstoom door middel van MVR naar hogere (bruikbare) condities op te wekken, zal deze latente warmte niet verloren gaan. Hierdoor wordt deze “restwarmte” nuttig ingezet. In Figuur 2.4 is een schematische weergaven van de MVR weergegeven bij DOW Terneuzen.

De energetische prestatie van een MVR kan bepaald worden aan de hand van het Coëfficiënt of Performance (COP). De COP geeft de verhouding weer tussen de hoeveel energie die teruggewonnen kan worden en de hoeveelheid (elektrische-) energie die in het systeem gestopt dient te worden middels compressie-energie.



Figuur 2.4 - Schematisch overzicht van de MVR installatie

De MVR bij Dow Terneuzen

Voor de MVR bij DOW Terneuzen is gebruik gemaakt van een tweetrapscompressie, in combinatie met een tussenkoeler (desuperheater). Het toepassen van deze vorm van MVR is voordeliger voor het elektriciteitsgebruik van het systeem, dan wanneer een enkele compressietrap (zonder desuperheater) toegepast wordt. Om de werking van de techniek voor DOW aan te tonen is deze pilot-installatie van de MVR toegepast. Door op pilotschaal te werken, kan de werking van de installatie worden aangetoond, voordat een (forse) investering gedaan hoeft te worden voor de installatie op productieschaal. In Figuur 2.5 en Figuur 2.6 zijn aanzicht foto’s van de MVR weergegeven.

Deloitte Accountants B.V.
For identification purposes only.
Related to auditor’s report
dated April 29, 2021

Figuur 2.5 – MVR pilot-installatie met uiterst rechts de daadwerkelijke compressor, middels de as met het gele huis verbonden met de motor links. Op de voorgrond de oliekoeler.

Figuur 2.6 - MVR pilot-installatie met druppelafscheiders en aan- en afvoerleidingen

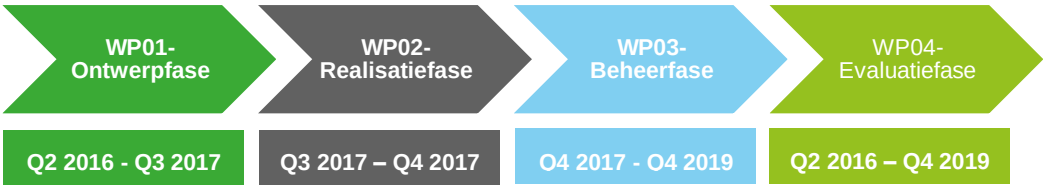
Deloitte Accountants B.V.
For identification purposes only.
Related to auditor's report
dated April 29, 2021

3 Uitvoering

3.1 Organisatie en planning

Bij dit project is DOW Benelux B.V. de hoofdverantwoordelijke voor het demonstreren van de MVR op pre-industriële schaal en voor de investeringen in het project. BlueTerra (voorheen Industrial Energy Experts) is in dit project verantwoordelijk geweest voor de ondersteuning bij het keuzeproces van de compressor die op de noodzakelijke condities werkzaam kan zijn. Het advies voor de integratie en de koppeling van de MVR op het huidige stoomsysteem van DOW Terneuzen is ook voortgekomen vanuit BlueTerra. Het resterende werk, de kennisdisseminatie en interpretatie van de meetgegevens, valt ook onder de verantwoordelijkheid van BlueTerra. Subsidie is verleend vanuit de DEI-regeling die door RVO wordt uitgevoerd en vanuit de Green Deal door de Provincie Zeeland.

Het project is opgedeeld in vier werkpakketten. Deze werkpakketten zijn weergegeven in Figuur 3.1. In dit figuur is ook oorspronkelijke tijdsplanning aangegeven per fase. In de volgende hoofdstukken zal het projectplan besproken worden.



Figuur 3.1 - Opzet van het MVR project per fase

3.2 Begroting

De projectbegroting is opgebouwd uit twee typen kosten. Enerzijds zijn er de kosten in hardware en fysieke realisatie van de installatie. Deze kosten zijn direct gerelateerd aan realisatie van de stoomrecompressor. In boekhoudkundige termen zijn deze kosten een investering die op de balans wordt geplaatst en wordt afgeschreven. Anderzijds zijn er de kosten voor projectuitvoering. Deze kosten zijn geen investeringen maar uitgaven. Conform de DEI-regeling vallen deze kosten onder de categorie experimentele ontwikkeling omdat bestaande wetenschappelijke, technische, zakelijke en andere relevante kennis wordt ingezet met als doel een verbeterd proces te ontwikkelen.

In Tabel 3.1 is een samenvatting gegeven van de investering en kosten die nodig zijn om het demonstratieproject uit te voeren die vallen onder de DEI subsidie. De onderstaande raming is opgesplitst in verschillende hoofdcomponenten.

Deloitte Accountants B.V.
For identification purposes only.
Related to auditor's report
dated April 29, 2021

Tabel 3.1 - Overzicht van de begrote kosten en subsidies die betrekking hebben op de DEI-regeling

Hoofd-component	Omschrijving	Kostenraming	Kosten categorie
Compressor	Aanschafkosten stoomrecompressor, elektromotor en inspuit- en oliekoeling	€ 3.200.000,-	Demonstratie (DEMO)
Buizen, infra, aansluitingen	Hardware kosten voor aansluiten compressor	€ 500.000,-	Demonstratie
Engineering	Kosten voor diverse engineeringsfases	€ 320.000,-	Demonstratie
Installatiekosten	Installatiekosten van de compressor en aansluiting op stoomnetwerk	€ 400.000,-	Demonstratie
Arbeid	Opstellen specificaties van hoofdcomponenten	€ 140.000,-	Experimentele ontwikkeling (EO)
Totaal	**Totale kosten**	**€ 4.560.000,-**	
DEI-bijdrage	*25% DEMO + 30% EO*	*- € 1.361.000,-*	*DEMO + EO*
	Eigen bijdrage DOW	**€ 3.199.000,-**	

Naast de projectbegroting in het kader van de DEI subsidie is een aanvullende begroting opgezet, die meer focust op de monitoringskosten van het project en waarvoor een Green Deal subsidie is verkregen.

In Tabel 3.2 is een samenvatting gegeven van monitoringskosten en aanvullende investeringen die vallen onder de Green Deal subsidie. De onderstaande raming is opgesplitst in verschillende categorieën.

Tabel 3.2 - Overzicht van de begrote kosten en subsidies die betrekking hebben op de Green Deal

Categorie	Omschrijving	Kostenraming
Monitoring	Monitoring gedurende 2 jaar	€ 323.520,-
Investering (CAPEX)	Fundatie werken, beton en staal	€ 150.000,-
Investering (CAPEX)	Meetapparatuur	€ 300.000,-
Investering (CAPEX)	Control & data acquisitie software	€ 50.000,-
Operationele kosten (OPEX)	Elektriciteit	€ 1.135.296,-
Operationele kosten (OPEX)	Operationele planning en supervisie	€ 25.000,-
Operationele kosten (OPEX)	Apparatuur specifieke verbruiksartikelen & reserve onderdelen	€ 20.000,-
Operationele kosten (OPEX)	Onderhoud (3% van geïnstalleerde waarde)	€ 154.800,-
Operationele kosten (OPEX)	Training	€ 24.000,-
Totaal bruto kosten	**Bruto kosten**	**€ 2.182.616,-**
Vermeden kosten	Vermeden stoomkosten	€ 519.738,-
Totaal nette kosten	**Netto kosten**	**€ 1.662.878,-**
Green Deal-bijdrage	40% van netto kosten	*- € 665.151,-*
	Eigen bijdrage DOW	**€ 997.727,-**

Deloitte Accountants B.V.
For identification purposes only.
Related to auditor's report
dated April 29, 2021

3.3 Werkpakketten

Ontwerpfase (WP01)
Deze fase bestaat uit het ontwerpen en inpassen van de MVR in de huidige stoominfrastructuur van de productielocatie van DOW Benelux B.V. in Terneuzen. De specificaties van de compressoren zijn opgesteld en de leverancier is geselecteerd in deze fase. DOW Benelux B.V. heeft in deze fase zorggedragen voor de informatie met betrekking tot de stoominfrastructuur en het benodigde vermogen van de MVR. BlueTerra heeft meegedacht over de “beste” inpassing van de MVR in de huidige stoominfrastructuur.

Realisatiefase (WP02)
In de realisatiefase is gestart met de bouw van de MVR op de productielocatie in Terneuzen. Bij de bouw horen onder andere de civiele werkzaamheden, zoals het plaatsen van de fundatie en het nodige staalwerk, maar ook het plaatsen van de compressoren en de aansluiting van deze installatie op het stoomsysteem. Na het plaatsen en aansluiten van de MVR is deze in werking gesteld.

Beheerfase (WP03)
Gedurende de beheerfase zijn de verwachte waarden van het systeem voor rendement, energiebehoefte en capaciteit vergeleken met de daadwerkelijke waardes in het demonstratieproject. Voor het breder toepassen van MVR in de procesindustrie is er als optie gegeven dat er gekeken kan worden naar:

- De beschikbaarheid van de compressor zelf. Deze kan worden bepaald door een Mean Time Between Failures (MTBF) en een Markov analyse. Deze door de procesindustrie geaccepteerde analyses geven gekwantificeerde data over de beschikbaarheid van de MVR, waardoor het concept opschaalbaar en repliceerbaar wordt;
- Het dynamisch gedrag van de gehele stoominfrastructuur als gevolg van variatie van procesvariabelen. Belangrijk zijn vooral de stabiliteit en flexibiliteit als gevolg van verschillen in stoombehoefte en elektriciteitsaanbod. Ook is het dynamisch gedrag een belangrijke indicator voor de opschaalbaarheid en repliceerbaarheid van de MVR.

Op basis van de hierboven verkregen gegevens kunnen richtlijnen worden opgesteld voor opschaling, die per toepassing in de procesindustrie kunnen worden aangepast. Op deze manier worden de projectresultaten direct ingezet om herhaling binnen de procesindustrie mogelijk te maken.

Evaluatiefase (WP04)
Fase 4 van dit project bestaat uit de kennisdisseminatie van de onderzoeksresultaten. In de afspraken voor het project is vastgelegd dat BlueTerra en ISPT de opgedane kennis zullen uitdragen naar hun klanten en contacten. Voor de disseminatie zijn de resultaten zowel door DOW direct aan hun contacten in de procesindustrie als ook via het netwerk van ISPT gedeeld. Daarnaast is de kennis gedeeld middels artikelen en openbare publicaties.

Deloitte Accountants B.V.
For identification purposes only.
Related to auditor’s report
dated April 29, 2021

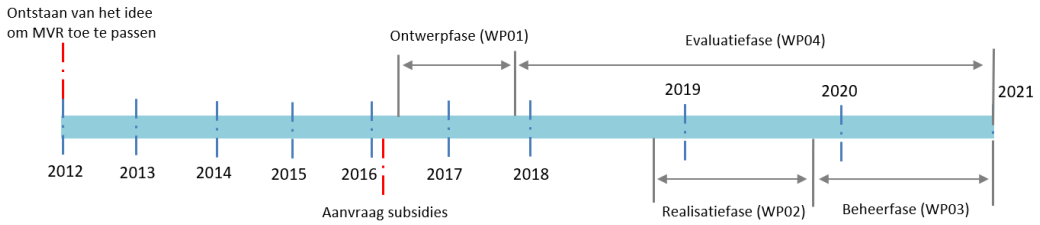
3.4 Realisatie in de tijd

De realisatie van het project heeft meer tijd gekost dan in de projectplanning was voorzien. Allereerst heeft het opstellen van de specificaties en de randvoorwaarden bij DOW meer tijd gekost dan voorzien. Na het ontvangen van de definitieve aanbiedingen en het selecteren van de fabrikant die de compressor mocht gaan leveren, heeft het nog een aantal maanden geduurd voordat de order daadwerkelijk geplaatst was. Om deze redenen heeft de ontwerpfase langer geduurd tot het vierde kwartaal van 2018, in plaats van tot het derde kwartaal van 2017 zoals ingepland was.

De levertijd van de compressor is ook langer dan in eerste instantie uit de aanbieding naar voren kwam en ook langer dan in de planning was voorzien. Uiteindelijk is de compressor aan het einde van het vierde kwartaal van 2018 geleverd aan de site in Terneuzen. Vanaf dat moment is gewerkt aan het aansluiten van de installatie en de eerste inbedrijfsstelling, met de verwachting dat in de loop van het tweede kwartaal van 2019 de compressor operationeel zou zijn. De eerste opstart heeft plaatsgevonden in juli 2019. Hierbij kwam direct naar voren dat de afscheider van het inspuitwater niet goed werkte. De waterafscheider is een cruciaal onderdeel om te voorkomen dat er waterdruppels in de compressor komen wat zou leiden tot mechanische schade. In de maanden hier opvolgend heeft de leverancier aanpassingen hieraan gemaakt, zodat er geen waterdruppels in de compressor komen. In de loop van kwartaal vier van 2019 is de compressor weer in bedrijf gesteld.

Vanaf november 2019 tot midden 2020 heeft de compressor met regelmaat gedraaid, maar niet zonder onderbreking. Bij hogere buitentemperaturen tripte de compressor namelijk, door een verkeerd gedimensioneerde oliekoeler. Door de COVID-19 maatregelen, waardoor voor een lange periode alleen essentieel bezoek op de DOW site in Terneuzen was toegestaan, heeft het vervangen van de oliekoeler en het in bedrijf stellen tot november 2020 geduurd. Voor het analyseren van de werking van de compressor is minder data beschikbaar, daar de compressor een groot deel van de tijd niet gedraaid heeft. Daarnaast is in de eerste meetperiode ook niet alle data van de sensoren opgeslagen, waardoor de analyse niet op alle onderdelen heeft plaatsgevonden. Door het gebrek aan data in de eerste draaiperiode van de installatie, en overige vertragingen, is pas in het vierde kwartaal van 2019 gestart met de beheerfase.

De evaluatiefase heeft plaatsgevonden zoals van te voren gepland. De tijdsbalk met de gerealiseerde planning van het project is weergegeven in Figuur 3.2.



Figuur 3.2 - De tijdsbalk met werkelijke realisatie van het pilotproject

Deloitte Accountants B.V.
For identification purposes only.
Related to auditor's report
dated April 29, 2021

3.5 Kennisdisseminatie

De toepassing van stoomrecompressie bij DOW in Terneuzen is een innovatieve manier op lagedrukstoom op te waarderen en daardoor energie te besparen. Dit concept heeft de potentie ook in andere industriële processen te kunnen worden toegepast. Om ook andere bedrijven en bedrijfstakken te enthousiasmeren, wordt uitgebreid over dit project gecommuniceerd en krijgen andere partijen de kans om de installatie werkend te zien en de “ins en outs” hiervan te horen.

Zowel tijdens de voorbereiding van de pilot installatie als tijdens de daadwerkelijke demonstratiefase zijn diverse nieuwsberichten en artikelen gemaakt en geschreven over de stoomrecompressor. In de Tabel 3.3 zijn deze publicatie-uitingen over de stoomrecompressor bij DOW Terneuzen opgenomen.

Tabel 3.3 - Het overzicht van de publicatie-uitingen over de stoomrecompressor bij DOW Terneuzen

Datum	Titel artikel	Naam tijdschrift, krant, website, et cetera
3-2-17	Dow start test met stoomrecompressie	www.hetnieuweproduceren.nu
5-5-17	Dow test opwaardering restwarmte	www.europoortkringen.nl
5-5-17	Dow test opwaardering restwarmte	www.petrochem.nl
11-10-17	DOW Benelux: stoomrecompressie (MDR)	www.energievakbeurs.nl
5-5-17	Industrie & Energie -- warmtebenutting via stoomrecompressie	www.utilities.nl
10-9-18	Pilotanlage zur Abdampfaufbereitung	BWK Das Energie-Fachmagazin
10-9-19	Dow bijna van start met proef stoomrecompressie	Petrochem (https://petrochem.nl/dow-bijna-van-start-met-proef-stoomrecompressie/)
12-8-19	DOW onderzoekt stoomrecompressie	https://www.industrialheatandpower.nl/nl/nieuws-item/DOW-onderzoekt-stoomrecompressie/
30-1-20	Klimaatdoelen haalbaar door stoomrecompressor	Utilities
2-3-20	klimaatdoelen haalbaar door hergebruik stoom	NPT Procestechnologie
16-3-20	Proef bij Dow met hergebruik stoom ‘veelbelovend', CO2-winst hoger dan verwacht	PZC
29-5-20	Whitepaper Mechanische damprecompressie voor de industrie	BlueTerra website
Niet bekend	Stoomrecompressie bij DOW	https://industrielinqs.nl/tag/stoomrecompressie/

Naast de publicaties die verschenen zijn over de stoomrecompressor is over het project vertelt op diverse bijeenkomsten, zoals op een bijeenkomst van het stoomplatform tijdens de BlueTerra Mastelclass en op de beurs IHP.

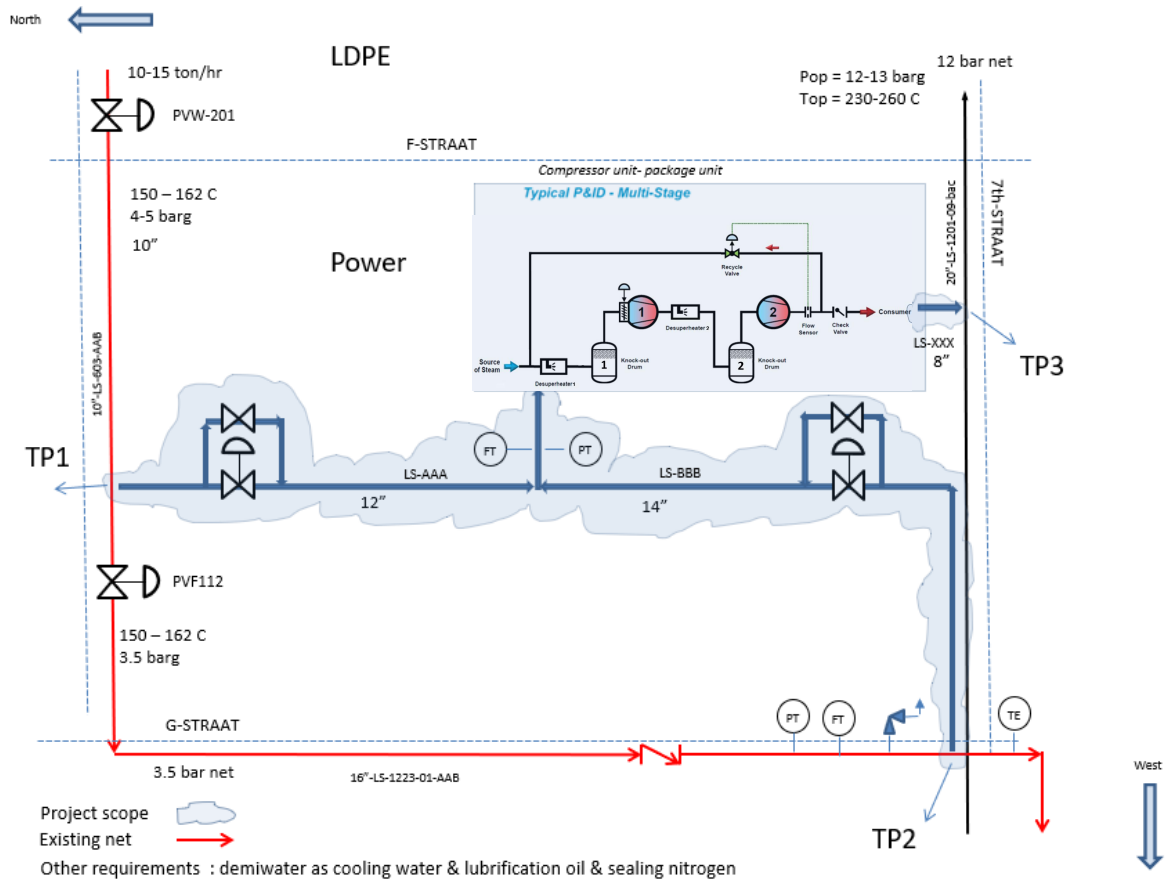
Deloitte Accountants B.V.
For identification purposes only.
Related to auditor’s report
dated April 29, 2021

4 Technische realisatie

4.1 Inpassing in bestaande processen

De pilot MVR op locatie DOW Terneuzen is in de huidige stoominfrastructuur aangesloten. Door de beperkte afstand tussen de headers en de plek waar de MVR staat, is deze goed inpasbaar. Verder zijn geen uitbreidingen aan trafo's noodzakelijk geweest. De stoomrecompressor van de MVR wordt gevoed met het overschot lagedrukstoom uit de LDPE plant. Als de aanvoer van lagedrukstoom uit de LDPE plant niet voldoende is, dan kan de stoom worden aangevuld met stoom uit de bestaande 3,5 barg header. De stoom die wordt geproduceerd wordt gevoed aan het 12 barg net. Hiervoor zijn Tie-ins gemaakt op de bestaande leidingen. Een overzicht van de inpassing van de pilot-installatie in de huidige stoominfrastructuur is weergegeven in Figuur 4.1.

Voor het koelen van de stoom, voordat het de compressor in gaat en tussen de trappen, wordt gebruik gemaakt van demi-water, dat direct ingespoten wordt. Het voordeel van deze manier van koelen is dat er meer stoom gemaakt kan worden, doordat ook het demi-water wordt omgezet in stoom. Hiervoor is een aansluiting op het demi-waternet en een boosterpomp gerealiseerd.



Figuur 4.1 - Inpassing in het stoomnetwerk

Deloitte Accountants B.V.
For identification purposes only.
Related to auditor's report
dated April 29, 2021

Om ervoor te zorgen dat de stoom niet verontreinigd wordt met smeerolie van de compressor, is stikstof nodig als 'sealgas'. Hiervoor is een aansluiting gemaakt op het stikstofnetwerk.
De compressor wordt aangedreven door een elektromotor; hiervoor is een connectie gemaakt met de 6,3 KV-voeding op de site.

Ontwerpbasis
In een eerdere haalbaarheidsstudie zijn de belangrijkste procesparameters, zoals ingangscondities van de compressor en uitgaande stoomdruk bepaald. Voor het realiseren van de pilot zijn deze uitgangspunten als startpunt genomen en is kritisch gekeken in hoeverre deze uitgangspunten nog voldoen en welke variaties qua ingaande procescondities verwacht kunnen worden.

Als normale bedrijfscondities voor de compressor zijn gespecificeerd:
- de inlaatdruk van de compressor is 3 barg (gauge of overdruk);
- de inlaattemperatuur is 155°C;
- de inlaatdebiet is 12 ton/uur;
- de uitlaatdruk is 12,5 barg;
- de uitlaattemperatuur is 261°C.

De variaties die de compressor aan moet kunnen zijn:
- een hogere inlaattemperatuur van maximaal 230°C (compressortrap 1);
- een lagere ingaande druk van 2,5 barg (compressortrap 1);
- een lagere flow van 9,6 ton/uur;
- een hogere flow van 14,4 ton/uur.

4.2 Technologie selectie
Verschillende leveranciers van compressoren komen in aanmerking voor het leveren van een stoomcompressor voor de gevraagde specificatie. Dit zijn zowel turbocompressor- als zuigercompressorleveranciers.

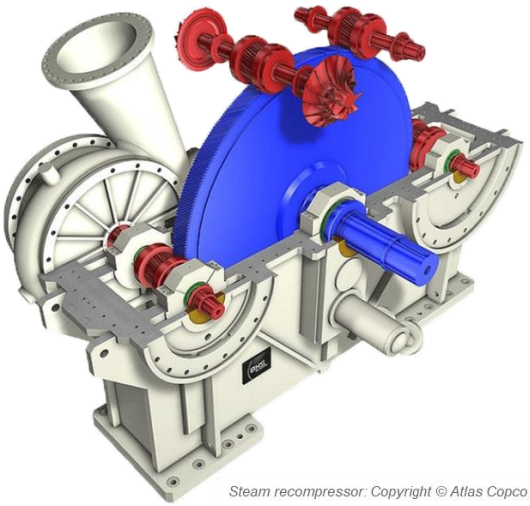
Compressortype
De compressor dient als pilot voor de full-scale compressor, die qua massadebiet aanzienlijk groter zal worden (50 ton/uur). Om deze reden is gekozen voor een compressor die techno-economisch goed opschaalbaar is. Turbocompressoren voldoen hieraan, omdat een hoger debiet vooral resulteert in een grotere compressor met een groter compressorwiel. Bij zuigercompressoren betekent een vergroting van het massadebiet dat er meer zuigers nodig zijn, wat opschaling duurder maakt.

De turbocompressor is een type centrifugaal compressor. In een centrifugaal compressor wordt de snelheid van het gas verhoogd in de waaier (impeller). Na de waaier komt het gas bij de verdeler (diffuser) die de kinetische energie van het gas omzet in statische druk.

Voor het comprimeren van het gas is één druktrap niet voldoende (zie paragraaf "Aantal trappen"), om deze reden is gekozen voor een meertraps turbocompressor ("integrally geared centrifugal compressor"), zie Figuur 4.2. Deze compressor wordt aangedreven door een groot tandwiel (bull gear), waarop de verschillende kleinere tandwielen ("pinions") van de compressortrappen zijn aangesloten.
Op één groot tandwiel kunnen in het ontwerp tot wel vijf kleinere tandwielen aangesloten worden, zodat een vijftraps compressor kan worden gerealiseerd die wordt aangedreven door één motor.

Deloitte Accountants B.V.
For identification purposes only.
Related to auditor's report
dated April 29, 2021

Per compressortrap kan een tandwiel met het exacte aantal benodigde tanden worden geselecteerd, zodat de verschillende compressortrappen met de juiste snelheid ronddraaien om een optimale compressie te verkrijgen.



Figuur 4.2 - Integrally geared compressor, bull gear in het blauw, pinions in het rood

De elektromotor die de bull gear aandrijft draait op 3000 rpm. De bull gear zelf draait op een net iets lager toerental. Het tandwiel dat de compressor van een bepaalde trap aandrijft, draait op een hoger toerental; bij deze pilotinstallatie is dat voor beide trappen 38000 rpm, wat betekent dat het tandwiel voor de compressor circa 13 keer zo weinig tanden heeft als het grote tandwiel dat wordt aangedreven door de elektromotor.

Aantal trappen

Bij het comprimeren van een gas en dus ook bij het comprimeren van waterdamp (ofwel stoom), stijgt de temperatuur van het gas. Om de compressie efficiënt te laten verlopen en de temperatuurstijging te beperken wordt per compressiestap een maximale drukverhoging aanbevolen. Bij centrifugaal compressoren, zoals de besproken turbocompressor, is de maximale drukverhouding per compressiestap veelal beperkt tot 2,0; de uitgaande druk is dus maximaal een factor 2 hoger dan de ingaande druk. In deze pilot is de uitgaande druk 12,5 barg, ofwel 13,5 bara en de ingaande druk 3 barg ofwel 4 bara. De drukverhouding komt daarmee op 3,4. Deze verhouding is te groot voor één compressietrap. Om deze reden is gekozen voor meerdere trappen. Bij een tweetrapscompressie is de drukverhouding namelijk per trap 1,84. Nog meer compressietrappen toepassen zal leiden tot een verdere daling van de drukverhouding per trap.

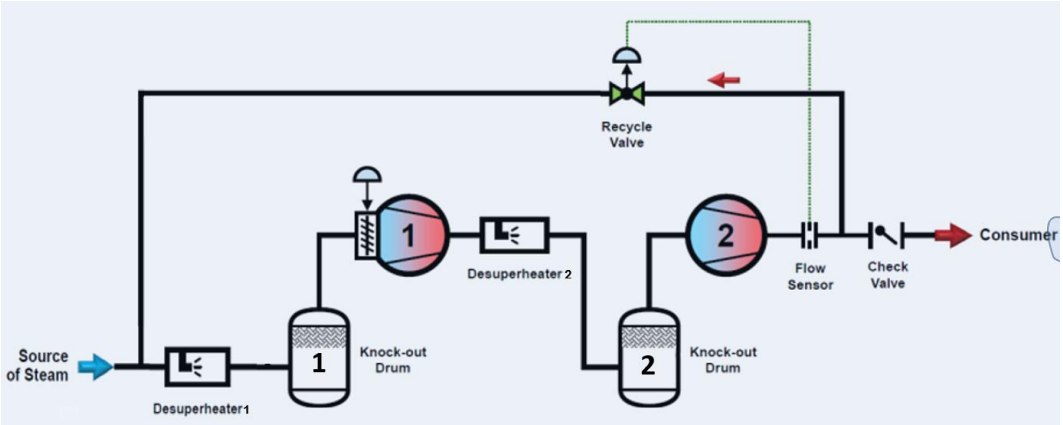
Koeling

De temperatuur van de inlaatstoom die uit het proces komt, kan in grote mate variëren door variaties in het productieproces. Voor het ontwerp van de compressor is dit een uitdaging, omdat met de toename van de temperatuur ook het volume lineair toeneemt. Hiervoor wordt de stoom voor de eerste trap “gedesuperheat” met demi-waterinjectie (desuperheater 1) gevold door de druppelafscheider van compressortrap 1 (knock-outdrum 1), voor het afscheiden van eventuele waterdruppels. Ook tussen de compressietrappen moet de te comprimeren stoom gekoeld of “gedesuperheat” worden. Bij een reguliere compressor gebeurt dit meestal indirect, door de gasstroom door een warmtewisselaar te leiden.

Deloitte Accountants B.V.
For identification purposes only.
Related to auditor’s report
dated April 29, 2021

Bij stoomrecompressie kan de stoom ook worden gekoeld door direct water in te spuiten na de (eerste) compressiestap (desuperheater 2). Het voordeel daarvan is dat er meer stoom wordt geproduceerd, omdat het inspuitwater ook verdampt. Het is wel belangrijk om te zorgen dat er geen druppels in de compressor komen in verband met cavitatie. Om deze reden is na de desuperheater een druppelafscheider (knock-outdrum 2) geïnstalleerd. Een overzicht van de installatie is weergegeven in Figuur 4.3.

De compressor is voorzien van een smeeroliesysteem waarvan de pomp, de filter en de koeler de belangrijkste onderdelen zijn. Door het draaien van de compressor en het rondpompen van de olie warmt de olie op. De warmte wordt in de koeler overgedragen naar het koelwater.



Figuur 4.3 - Schematische weergave van de tweetraps compressor met desuperheaters en KO-drums

Keuze van de leverancier

Bij diverse leveranciers van turbocompressoren is een uitvraag gedaan voor het aanbieden van een stoomcompressor, volgens de vraagspecificaties. Uiteindelijk is van twee compressorleveranciers een complete aanbieding ontvangen, namelijk van MAN Turbo en Atlas Copco. Met deze twee leveranciers zijn technisch inhoudelijke discussies gevoerd over het door hen voorgestelde ontwerp en over de aanvullende eisen vanuit DOW. Na deze ronde hebben beide partijen de definitieve aanbieding gemaakt, waarin de aanpassingen uit de overlegrondes zijn verwerkt. Beide definitieve aanbiedingen voldoen aan de gestelde eisen voor dit project.

In de aanbieding van MAN Turbo is een drietraps compressor aangeboden, de drukverhouding per trap wordt daarmee gereduceerd tot 1,5. Een lagere drukverhouding zorgt ervoor dat er minder elektriciteit voor de aandrijving nodig is. In de aanbieding van Atlas Copco is een tweetraps compressor aangeboden. Hiermee wordt nog steeds voldaan aan de eerder besproken maximale drukverhouding per trap voor dit type compressor. Dit heeft ervoor gezorgd dat de compressor die MAN Turbo aanbiedt significant duurder uitvalt dan die van Atlas Copco. Uiteindelijk is om deze reden Atlas Copco geselecteerd voor het leveren van de compressor voor deze pilot. Een lagere drukverhouding zal zorgen voor hogere uitgaande temperaturen. Voor deze toepassing is dit niet relevant, aangezien de warmte in de geproduceerde stoom gaat zitten. Wel zal dit voor hogere gebruiksvermogens zorgen, maar ten opzichte van de aanschafkosten is dit te verwaarlozen.

Deloitte Accountants B.V.
For identification purposes only.
Related to auditor's report
dated April 29, 2021

4.3 Aanschaf installatie

Aanbieding Atlas Copco

De MVR-installatie is door Atlas Copco ontworpen op basis van de hoofd ontwerpparameters genoemd in paragraaf 4.1 en de input vanuit de besprekingen van de aanbieding. Deze ontwerpparameters zijn weergeven in Tabel 4.1. Een schematische weergave van de aangeboden installatie is weergegeven in Figuur 4.4.

Tabel 4.1 - Overzicht van de belangrijkste parameters verkregen vanuit de leverancier

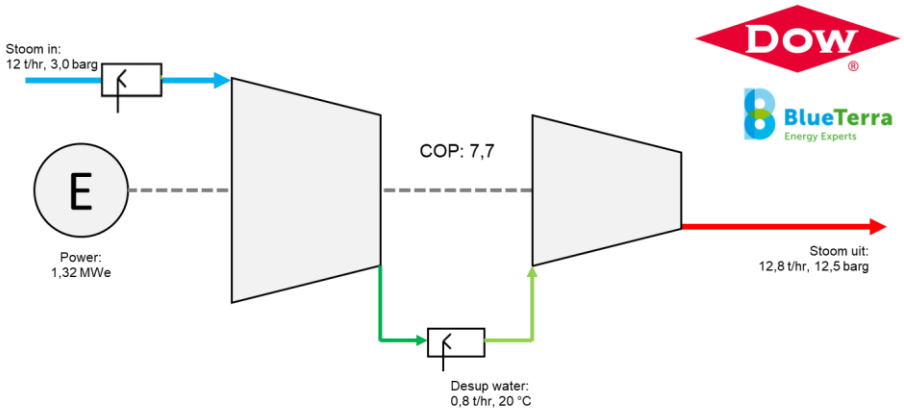
Ontwerpparameter	Waarde
Compressor – efficiëntie	69%
COP	7,7
Geïnstalleerd motorvermogen	1510 kW
Massadebiet.	12 ton/uur
Aanzuigdruk trap 1	3,0 barg
Inlaattemperatuur trap 1	170 °C
Persdruk trap 2	12,5 barg
Uitlaattemperatuur trap 2	255,7 °C

Opdrachtverlening

De installatie is door Atlas Copco na opdrachtverlening aangeleverd in het vierde kwartaal van 2018. Na deze periode is gelijk gestart met het gereedmaken van de installatie voor inbedrijf name.

Na ingebruikname dient er bepaald te worden in hoeverre de genoemde ontwerpparameters vanuit de aanbieding in Tabel 4.1 overeenkomen met de werkelijke bedrijfssituatie. Het doel van deze analyse is om de bedrijfssituatie in de praktijk te toetsen aan de ontwerpparameters vanuit de aanbieding.

Het testen en het meten van de procesparameters is uitgevoerd door DOW. Op basis van deze procesdata heeft het projectteam van BlueTerra de belangrijkste procesparameters geanalyseerd (hoofdstuk 5). Hiervoor is gebruik gemaakt van een rekentool, opgezet door BlueTerra. De performance van de MVR kan bepaald worden met behulp van deze rekentool.



Figuur 4.4. Schematische weergave van de aangeboden MVR door Atlas Copco

Deloitte Accountants B.V.
For identification purposes only.
Related to auditor's report
dated April 29, 2021

Uiteindelijke investering

In paragraaf 3.2 is de begroting van dit pilot MVR project besproken. Het totaal aan uiteindelijk gemaakte kosten voor dit project komt goed overeen met het totale bedrag vanuit de begroting. Per post verschilt dit echter, de aanschaf van de compressor(en) is bijvoorbeeld aanzienlijk lager uitgevallen dan begroot. Overige posten zoals installatiekosten daarentegen zijn hoger uitgevallen. Een volledig overzicht van de begrote en gemaakte kosten is weergegeven in Bijlage A.

Deloitte Accountants B.V.
For identification purposes only.
Related to auditor's report
dated April 29, 2021

5 Resultaten van de analyses

In dit hoofdstuk worden de ontwerpparameters vanuit de aanbieding van Atlas Copco getoetst aan de hand van de procesdata vanuit de draaiperiode van de pilot MVR. De ingeplande test- en demonstratieperiode van de MVR pilot bedraagt twee jaar. Door de diverse technische problemen is de installatie slechts beperkt beschikbaar geweest gedurende deze twee jaar. In deze rapportage worden er twee operationele periodes beschreven:

- Periode 1: 1 november 2019 tot 15 juli 2020
- Periode 2: 17 november 2020 tot 31 december 2020

Over deze periodes is de beschikbaarheid van de pilot-installatie per periode in kaart gebracht. Er wordt verklaard om welke operationele redenen de installatie stilgestaan heeft. Ook wordt per periode de efficiëntie, de uitlaattemperaturen en het energiegebruik vergeleken met de ontwerpparameters. Hiervoor wordt gebruik gemaakt van de rekentool van BlueTerra, waarin het compressieproces thermodynamisch is gesimuleerd.

5.1 Periode 1: 01 NOV19 – 15 JUL20

De pilot MVR is door de verschillende problemen met het opstarten van de installatie, zoals genoemd in paragraaf 3.4, pas in november 2019 in bedrijf gekomen.

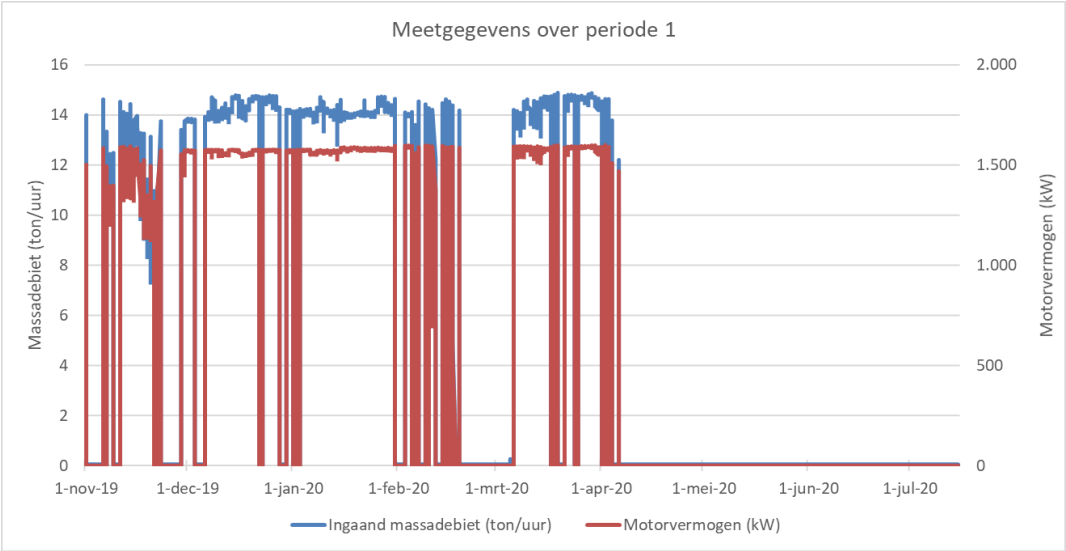
Na het in bedrijf stellen van de installatie, is vervolgens een ander probleem geconstateerd. De uitgaande olietemperatuur was te hoog. In de winterperiode zorgde de lagere buitentemperaturen ervoor dat de uitgaande olietemperatuur nog net onder het hogere trip setpoint bleef, waardoor in deze periode de installatie wel in bedrijf was. Door de hogere buitentemperaturen in de lente/zomer, waardoor de koelwatertemperatuur oploopt, werd echter het trip setpoint van de uitgaande olietemperatuur wel overschreden, waardoor de installatie automatisch stop is gezet door het besturingssysteem.

Atlas Copco heeft in eerste instantie de oliekoeler gereinigd, om op die manier te zorgen voor voldoende koeling. Dit had weinig tot geen resultaat. Er is gebleken dat de oliekoeler te klein gedimensioneerd is, waardoor deze vervangen moest worden door een nieuwe oliekoeler. Het aanleveren en het installeren van de oliekoeler zorgde ook voor vertraging, voornamelijk vanwege de gehanteerde Covid-19 maatregelen. Door deze redenen is de installatie een aantal keren volledig uit bedrijf geweest in deze periode.

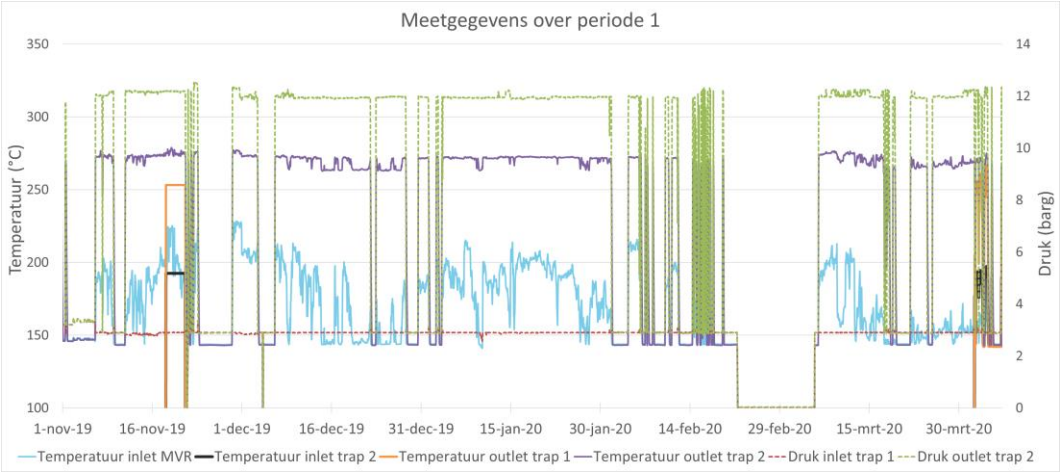
Operationele resultaten

In Figuur 5.1 is een overzicht weergegeven van het gemeten massadebiet (ton/uur) en het gemeten motorvermogen van de pilot MVR over periode 1. In deze grafiek is te zien dat de pilot-installatie beperkt heeft gedraaid deze periode. De voornaamste reden hiervoor zijn de problemen met de oliekoeler.
Tijdens deze periode is nog niet alle data van de meetpunten beschikbaar, waardoor voor een aanzienlijke hoeveelheid draaiuren data ontbreekt, namelijk de uitgaande temperatuur van compressor 1 en de inlaat temperatuur van compressor 2. Een overzicht van de overige gemeten procesparameters is weergegeven in Figuur 5.2. Hierin is te zien dat de temperatuur van de stoom naar de MVR aanzienlijk varieert in de tijd. De overige parameters lijken vrij stabiel te zijn, wanneer de installatie in bedrijf is.

Deloitte Accountants B.V.
For identification purposes only.
Related to auditor's report
dated April 29, 2021



Figuur 5.1 - Overzicht van het ingaande massadebiet en het motorvermogen in periode 1



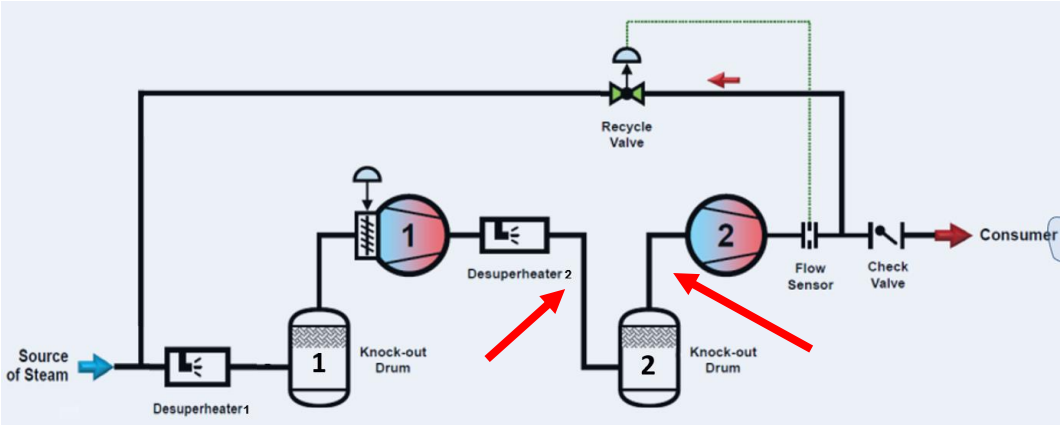
Figuur 5.2. Overzicht van de gemeten temperaturen en drukken in periode 1

Analyse: ingaande temperatuur compressortrap 2

Gebleken is dat de gemeten ingaande temperatuur van compressortrap 2 niet betrouwbaar is. Er wordt op verschillende plekken de temperatuur gemeten, voor en na de knockout drum (zie Figuur 5.3). De verwachting is dat beide temperaturen min of meer gelijk zijn. Het gaat hierbij om de gemeten temperaturen bij de tussenliggende desuperheater (2) (circa 169 °C) en bij knock-outdrum 2 (192 - 200 °C).

Bij desuperheater 2 wordt water ingespoten in de processtroom om de stoom uit compressortrap 1 af te laten koelen. De verwachting is dat het ingespoten water en de stoom op de plek van de temperatuurmeting bij desuperheater 2 nog niet volledig gemengd is. Om deze reden worden waarschijnlijk nog veel (koude) druppels gemeten, waardoor de temperatuurmeting laag uitvalt.
Na knock-outdrum 2 zijn alle druppels gescheiden van de stoom, waardoor de temperatuurmeting na knock-outdrum 2 hoger is. Voor deze rendementsanalyse is om deze reden de gemeten temperatuur na de knock-outdrum 2 aangehouden als ingaande temperatuur van compressortrap 2.

Deloitte Accountants B.V.
For identification purposes only.
Related to auditor's report
dated April 29, 2021



Figuur 5.3 - De verschillende ingaande gemeten temperaturen voor compressietrap 2

Analyse: rendement MVR

Met de beschikbare meetgegevens is een analyse uitgevoerd om het rendement van de installatie in kaart te brengen. In Tabel 5.1 is het overzicht weergegeven van de procesdata van 1 april 2019 om 21:00 uur. Op basis van deze data is in dit hoofdstuk de rendementsanalyse uitgevoerd, daar dit een representatieve meting is voor deze periode. Door de lage temperatuur van de ingaande stoom naar de MVR zal er vrijwel geen inspuitwater nodig zijn bij desuperheater 1, waardoor dit massadebiet en de ingaande temperatuur naar MVR ook de condities zijn bij compressortrap 1.

De compressorefficiëntie is gevarieerd, totdat de berekende waarden van het motorvermogen, de uitgaande temperatuur van trap 1 en van trap 2, zo veel als mogelijk overeenkomen met de gemeten procesdata hiervan. Deze resultaten zijn weergegeven in Tabel 5.2.

Uit deze analyse blijkt dat met een compressorefficiëntie van 73% en de inputwaarden vanuit Tabel 5.1, de afwijking tussen de berekende waarden en gemeten waarden het kleinst is. De afwijking in het motorvermogen komt waarschijnlijk doordat in de gemeten waarde ook het elektriciteitsverbruik van bijvoorbeeld de oliepompen meegenomen worden.

Tabel 5.1 - Procesparameters voor 1 april 2019 21:00 uur

Grootheid	Meetwaarde
Massadebiet MVR (en trap 1)	14,5 ton/uur
Ingaande druk MVR (en trap 1)	2,9 barg
Ingaande temperatuur MVR (en trap 1)	157 °C
Uitgaande druk trap 2	12,2 barg
Ingaande temperatuur trap 2	192 °C

Deloitte Accountants B.V.
For identification purposes only.
Related to auditor's report
dated April 29, 2021

Tabel 5.2 - De resultaten van de uitgevoerde rendementsanalyse voor periode 1

Parameter	Gemeten waarde	Berekende waarde
Compressorefficiëntie	-	73%
COP	-	8,1
Motorvermogen	1592 kWe	1559 kWe
Temperatuur outlet trap 1	253 °C	*258 °C
Temperatuur outlet trap 2	270 °C	273 °C

*berekend op basis van een ingeschatte tussendruk tussen trap 1 en 2.

De verkregen compressorefficiëntie is een wat hogere efficiëntie dan opgegeven in de aanbieding van de leverancier. Dit geldt ook voor de verkregen COP van de installatie. Dit leidt tot de conclusie dat de installatie in de praktijk energetisch wat beter draait dan vooraf ingeschat door de leverancier.

Verder is in Tabel 5.2 te zien dat de gemeten waarden van de uitgaande temperaturen van compressortrap 1 en 2 afwijken van de berekende waarden. Deze afwijking tussen de gemeten -en berekende temperaturen is echter beperkt.

5.2 Periode 2: 17 NOV20 – 31 DEC20

De vervanging van de oliekoeler heeft voornamelijk door de COVID-beperkingen op de site van DOW lang geduurd. Pas in november 2020 is de pilot-installatie opnieuw in bedrijf gegaan. Tijdens de draaiperiode van 17 november 2020 tot 31 december 2020 is geconstateerd dat de desuperheaters niet goed werken:

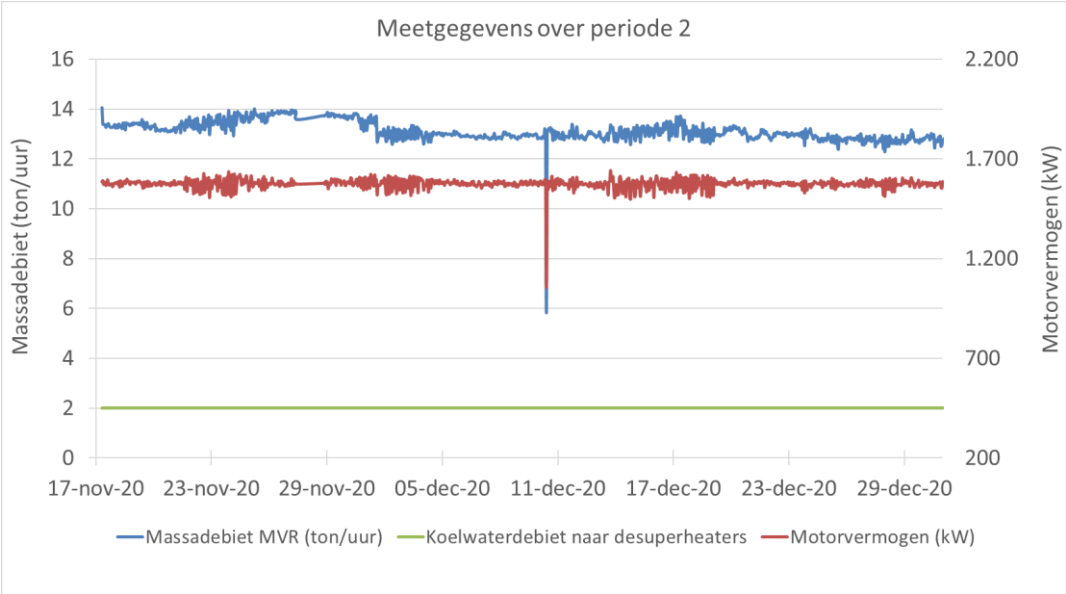
- Het koelwaterdebiet naar desuperheater 2 is constant maximaal en wordt niet (juist) geregeld (zie Figuur 5.4). Het overtollige water wordt wel gewoon via de druppelafscheider afgevoerd, zodat het op de werking van de compressor geen effect heeft. Een mogelijke oorzaak is dat de temperatuurmeting die zorgt voor de regeling van het inspuitwater te hoog is omdat het inspuitwater bij de temperatuurmeting nog niet volledig gemengd is met het gas. Samen met de leverancier van de inspuitkoeling wordt de exacte oorzaak en de mogelijke oplossing momenteel onderzocht.

Operationele resultaten

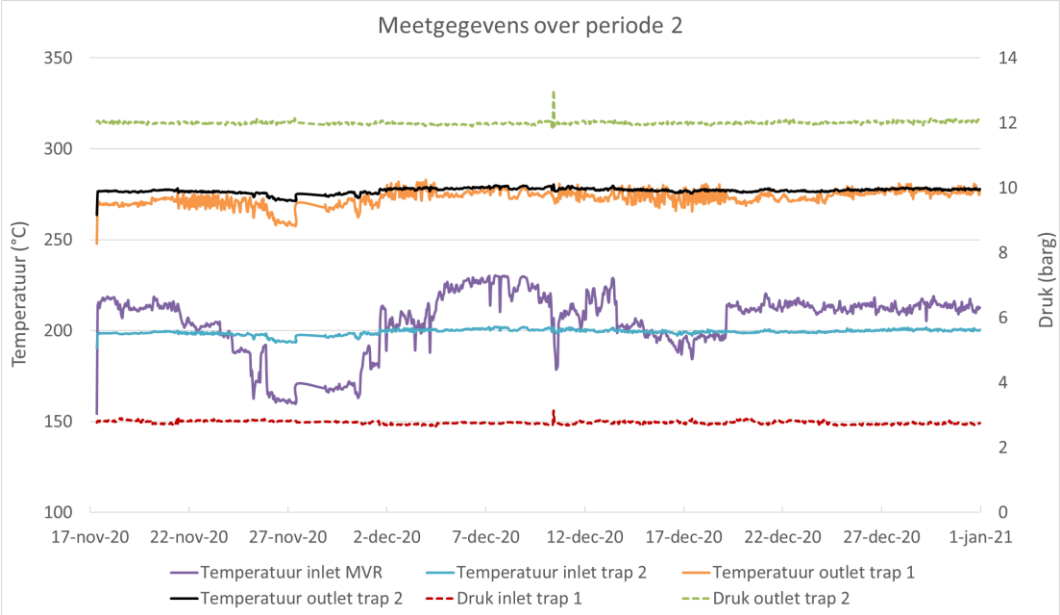
Een overzicht van het massadebiet naar de MVR en het gemeten elektrisch vermogen is weergegeven in Figuur 5.4 voor deze meetperiode. Hierin is te zien dat de installatie in deze periode heeft gedraaid zonder perioden van stilstand. Verder is alle data van de meetpunten beschikbaar, waardoor alle benodigde procesdata beschikbaar is in tegenstelling tot periode 1.

In Figuur 5.5 is een overzicht weergegeven van de overige procesdata voor deze periode. Ook hier is te zien dat de stoom naar de MVR aanzienlijk varieert in temperatuur en als gevolg daarvan varieert ook de uitlaattemperatuur van de eerste compressortrap. De overige procesparameters zijn stabiel.

Deloitte Accountants B.V.
For identification purposes only.
Related to auditor's report
dated April 29, 2021



Figuur 5.4 - Overzicht van het gemeten massadebiet en motorvermogen in periode 2



Figuur 5.5 - Overzicht van de gemeten temperaturen en drukken in periode 2

Analyse: Rendement MVR

Met de beschikbare gegevens binnen deze periode is een rendementsanalyse van de pilot MVR uitgevoerd. In Tabel 5.3 is het overzicht weergegeven van de procesdata van 24 december 2020 om 17:00 uur. Op basis van deze data is deze analyse uitgevoerd. Ook hier is de gemeten temperatuur na knock-outdrum 2 aangehouden als ingaande temperatuur bij compressortrap 2.

Door de hoge ingaande temperatuur van de stoom naar de MVR zal desuperheater 1 water moeten inspuiten, waardoor de gemeten waarden van het massadebiet en de ingaande temperatuur van de MVR niet gelijk zijn aan de ingaande waarden bij compressortrap 1. De ingaande temperatuur en het massadebiet bij trap 1 zijn hiervoor gecompenseerd in de analyse.

Deloitte Accountants B.V.
For identification purposes only.
Related to auditor's report
dated April 29, 2021

Voor deze rendementsanalyse is, net al in paragraaf 5.1, de compressorefficiëntie van trap 1 en 2 gevarieerd totdat de berekende waarden van het motorvermogen, de uitgaande temperatuur van trap 1 en trap 2, zo veel als mogelijk overeenkomen met de gemeten procesdata.

Uit de analyse is gebleken dat met een compressorefficiëntie van 73% de afwijking tussen de berekende en de gemeten waarden het kleinst. Deze resultaten zijn weergegeven in Tabel 5.4. Ook hier zal de afwijking in het motorvermogen verklaard kunnen worden doordat in de gemeten waarde ook het elektriciteitsverbruik van bijvoorbeeld de oliepompen meegenomen worden.

Tabel 5.3 - Procesparameters voor 24 december 2020 17:00 uur

Grootheid	Meetwaarde
Massadebiet MVR	12,8 ton/uur
Ingaande druk trap 1	2,7 barg
Ingaande temperatuur MVR	211 °C
Uitgaande druk trap 2	12,0 barg
Ingaande temperatuur trap 2	200 °C

Tabel 5.4 - De resultaten van de uitgevoerde rendementsanalyses

Parameter	Gemeten waarde	Berekende waarde
Compressorefficiëntie	-	73%
COP	-	7,8
Motorvermogen	1585 kWe	1546 kWe
Massadebiet ingaand trap 1	Niet bekend	13,6 t/h
Debiet uitgaand trap 2	13,9	14,4 t/h
Ingaande temperatuur trap 1	Niet bekend	167°C
Temperatuur outlet trap 1	276 °C	**279 °C
Temperatuur outlet trap 2	278 °C	281 °C

**berekend op basis van een ingeschatte tussendruk tussen trap 1 en 2.

De efficiency van de MVR is voor beide periodes vergelijkbaar. Hierdoor kan uitgegaan worden dat dit de efficiëntie is waarmee de pilot MVR in de praktijk werkzaam is. Dit is een wat hogere efficiëntie dan opgegeven in de aanbieding van de leverancier. Ook de COP van de MVR-installatie ligt wat hoger.

Verder is in Tabel 5.4 te zien, dat ook hier de gemeten waarde van de uitgaande temperatuur van compressortrap 2 nog afwijkt van de berekende waarde. Deze afwijking is echter beperkt.

5.3 Dynamisch gedrag

Door de frequente trips van de installatie, is het niet mogelijk geweest om geplande testen uit te voeren naar het dynamische gedrag van de gehele stoominfrastructuur als gevolg van variatie in procesvariabelen vanuit de MVR.
Tijdens de MVR-trips zijn er geen waarneembare effecten in de metingen van de overige stoominfrastructuur gesignaleerd. Waarschijnlijk komt dit voort uit de beperkte capaciteit van de pilot-installatie in relatie tot de capaciteit van het totale stoomnetwerk.

Deloitte Accountants B.V.
For identification purposes only.
Related to auditor's report
dated April 29, 2021

Wanneer de MVR capacitiet groter is, wordt er meer effect verwacht bij het variëren van de output van de pilot in de stoominfrastructuur. Op lokaalniveau kan het aanpassen van de output van de pilot MVR wel effect hebben op het drukniveau op het 12 barg net. Vanwege de beperkte operationele tijd is er geen MTBF-analyse uitgevoerd.

5.4 Operationeel rendement

Het operationele rendement van de installatie wordt bepaald op basis van de geproduceerde warmte. Dit levert een directe besparing op door de lagere aardgasinkoop, maar ook een indirecte besparing door de verminderde CO_2-emissie. Deze aspecten worden uitgewerkt in onderstaande paragrafen.

5.4.1 Aardgasbesparing

De stoom die nu met de MVR wordt opgewekt, vervangt stoom die normaliter met fossiele brandstoffen wordt opgewekt. Vanwege de complexiteit van het stoomnetwerk bij DOW door meerdere stoom opwekmogelijkheden, is er voor de berekening gekozen om als referentiesituatie stoomopwekking in een aardgasgestookte ketel te gebruiken. De aardgasbesparingsberekening is voor zowel periode 1, periode 2 als een “normaal” bedrijfsjaar van 8500 draaiuren, uitgevoerd.

De potentiële aardgasbesparing per periode zijn weergegeven in Tabel 5.5. Voor deze berekeningen is uitgegaan van een stoomketelefficiëntie van 100% en een verbrandingswaarde van 31,65 MJ/Nm^3 voor aardgas.

Tabel 5.5 - Aardgasbesparing MVR pilot

	Eenheid	Periode 1	Periode 2	*Jaargemiddeld
Gemiddelde massadebiet	[ton/uur]	13,8	14,0	12,0
Operationele uren	[uur]	2.449	1.056	8.500
Gemiddeld vermogen	[MWe]	1,51	1,58	1,32
Stoomproductie	[kton]	33,8	14,8	102
Stoomproductie	[TJ]	99,2	43,4	299
Aardgasbesparing	[kNm³]	3.130	1.370	9.460

*berekend op basis van verwachte beschikbaarheid van de installatie in 2021.

5.4.2 CO_2-reductie

Door de opwekking van 12 barg stoom met de MVR vanuit het overschot laagwaardige stoom, wordt bij DOW Terneuzen minder aardgas verstookt voor warmteopwekking. Hierdoor daalt de CO_2-uitstoot voor de site (scope 1).

Voor de aandrijving van de MVR is ook elektriciteit noodzakelijk. Zolang voor de pilot MVR geen volledig “groene” elektriciteit wordt gebruikt, zal er toch onder de streep CO_2-uitstoot plaatsvinden in Nederland als gevolg van deze MVR. Dit komt doordat de huidige elektriciteitsproductie veelal op fossiele brandstoffen is gebaseerd en daardoor ook CO_2 emitteert. Dit is bekend als scope 2 CO_2-emissie.
De CO_2-uitstoot voor de MVR installatie is weergegeven in Tabel 5.6. Hierbij is uitgegaan van de emissiefactor van 0,369 ton CO_2 per MWh elektriciteit (volgens de integrale methode over het jaar 2019 [1]) en de emissiefactor van aardgas van 56,4 kg/GJ.

[1] De integrale methode gaat uit van de totale (hernieuwbare plus niet hernieuwbare) elektriciteitsproductie in verhouding tot de aan elektriciteit toegerekende inzet van aardgas, kolen en kernenergie. Elektriciteit uit afvalverbrandingsinstallaties en restgassen wordt niet meegenomen.

Deloitte Accountants B.V.
For identification purposes only.
Related to auditor’s report
dated April 29, 2021

In Tabel 5.6 is het netto CO_2-effect van de MVR pilot berekend op basis van het vermeden aardgasgebruik (zie Tabel 5.5) en de verwachte scope 2 emissie van elektriciteit.

Tabel 5.6 - Netto CO_2-reductie door toepassing MVR

Item	Eenheid	Periode 1	Periode 2	*Jaargemiddeld
Vermeden aardgasgebruik	[kNm³]	3.130	1.370	9.460
Emissiefactor	[kg/GJ]	56,4	56,4	56,4
Scope 1 emissie	[ton CO_2]	-5.590	-2.450	-16.900
Elektriciteitsgebruik MVR	[MWh]	3.685	1.660	11.200
Emissiefactor	[ton/MWh]	0,369	0,369	0,369
Scope 2 emissie	[ton CO_2]	1.360	610	4.140
Netto CO_2-reductie	**[ton CO_2]**	4.230	1.840	12.760

*berekend op basis van verwachte beschikbaarheid van de installatie in 2021.

5.4.3 OPEX reductie

Door het gebruik van de MVR daalt het aardgasverbruik voor de stoomopwekking, maar stijgt het elektriciteitsverbruik. In Tabel 5.7 zijn de OPEX-kosten per bedrijfsjaar en over periode 1 en 2 van de demonstratieperiode weergegeven. Hierbij is uitgegaan van een aardgasprijs van 0,19 € per Nm^3, elektriciteitsprijs van 50 € per MWh en een gemiddelde CO_2-kostprijs van 40 €/ton.

Tabel 5.7 - OPEX besparing door toepassing van de MVR

	Eenheid	Periode 1	Periode 2	*Jaargemiddeld
Aardgaskosten	[k€]	-595	-260	-1.800
Elektriciteitskosten	[k€]	184	83	561
CO_2 kosten (scope 1)	[k€]	-224	-98	-675
Netto OPEX MVR	**[k€]**	-635	-275	-1.914

*berekend op basis van verwachte beschikbaarheid van de installatie in 2021.

Doordat binnen de site van DOW Terneuzen minder CO_2-uitstoot plaatsvindt voor de stoom die opgewekt wordt met MVR, dalen de kosten voor de CO_2-uitstoot. De kosten voor het uitstoten van CO_2 is op dit moment ongeveer 40 euro per ton. In de toekomst zal deze prijs echter gaan stijgen. Om deze reden is ook gekeken naar de kostenbesparing wanneer de CO_2-prijs 100 euro per ton is. Voor beide prijzen is dit geanalyseerd voor een normaal bedrijfsjaar (8500 draaiuren). De resultaten hiervan zijn weergegeven in Tabel 5.8.

Tabel 5.8 - OPEX besparing bij verschillende CO_2-uitstootprijzen

		Huidige CO_2-prijs 40 €/ton	Verwachte CO_2-prijs 100 €/ton
Aardgaskosten	[k€]	-1.800	-1.800
Elektriciteitskosten	[k€]	561	561
CO_2-kosten (scope 1)	[k€]	-675	-1.690
Netto OPEX MVR	**[k€]**	-1.914	-2.929

Deloitte Accountants B.V.
For identification purposes only.
Related to auditor's report
dated April 29, 2021

De totale potentiële besparingskosten bij een standaard bedrijfsjaar komen uit op €1.914.000, uitgaande van de huidige CO_2-uitstootprijs en genoemde energietarieven en emissiefactoren. De potentiële besparing op de operationele kosten door het toepassen van een MVR komt hiermee uit op ongeveer 18,8 euro per ton geproduceerde stoom. Hierin zijn overige kosten, zoals de bijkomende onderhoudskosten voor de MVR, niet meegenomen.

Deloitte Accountants B.V.
For identification purposes only.
Related to auditor's report
dated April 29, 2021

6 Evaluatie

6.1 Projectevaluatie

Het doel van het MVR-project bij DOW Terneuzen is om op pre-industriële schaal aan te tonen dat het met deze techniek mogelijk is om laagwaardig stoom om te zetten naar hoogwaardig stoom.
Vanuit de uitgevoerde operationele analyses is gebleken dat de pilot MVR voldoende stabiel draait wanneer deze in bedrijf is. De gemeten procesparameters zijn vrij constant over de gehele periode. Dit is een positief resultaat voor de betrouwbaarheid van de installatie.
Vanuit de rendementsanalyses blijkt dat de pilot in de praktijk energetisch efficiënter werkt dan uit de aanbieding van de leverancier naar voren komt.

Door de beperkte draaitijd van en de technische problemen met de installatie is beperkte aandacht besteed aan betrouwbaarheid van de installatie en het effect ervan op de overige stoominfrastructuur bij DOW.
Op het moment van schrijven draait de pilot-installatie, en het doel is deze de komende maanden door te laten draaien om de betrouwbaarheid op langere termijn beter vast te stellen. Hierna kunnen testen uitgevoerd worden om het dynamisch gedrag van de installatie en de invloed hiervan op het stoomsysteem te bepalen. Deze aspecten zijn namelijk een belangrijke stap in het opschaalbaar en repliceerbaar maken van de MVR-techniek naar full-scale. Ook wordt aanbevolen om met de nieuwe set procesdata opnieuw een rendementsanalyse uit te voeren, om de huidige resultaten te valideren.

6.2 Ontwikkelingen MVR-techniek binnen DOW

Het plan binnen DOW Terneuzen is om de pilot-installatie voorlopig door te laten draaien. Het potentieel om de pilot op te schalen naar full-scale (50 ton/uur) is er binnen het productieproces in Terneuzen, zowel vanuit technisch -als economisch oogpunt.

Verder beschikt DOW wereldwijd over meerdere productielocaties waarin een potentieel overschot van lagedrukstoom aanwezig is. Spanje en de Verenigde Staten (Texas) zijn hier voorbeelden van. Voor deze locaties bestaat ook de potentie om de MVR-techniek toe te passen voor het opwaarderen van laagwaardige stoom. De kennis en ervaring vanuit dit pilotproject in Terneuzen kan dienen als basis voor die productielocaties bij het toepassen van deze techniek. Vooral bij het uitbreiden van de capaciteit van de LDPE-fabrieken of het installeren van een nieuwe LDPE-fabriek is toepassing van MVR kansrijk.

6.3 Herhalingspotentieel bij andere industrieën

Nieuwe technieken worden minder snel toegepast in de procesindustrie, aangezien de kapitaalintensieve processen doorgaans ontwikkeld zijn op continue operatie. Nieuwe ontwikkelingen worden enkel toegepast indien de betrouwbaarheid is aangetoond en de continuïteit van het proces is gewaarborgd. Lange reparatie-en opstarttijden dienen vermeden te worden, aangezien deze aspecten een omvattende invloed op het bedrijfsresultaat hebben.

In het licht van deze aanpak van procesinnovatie zijn de resultaten van dit demonstratieproject belangrijk. Het stoomrecompressieproject voorziet een vermindering van de energiebehoefte van al bestaande industriële processen, terwijl er inhoudelijk aan het productieproces niets verandert.

Deloitte Accountants B.V.
For identification purposes only.
Related to auditor's report
dated April 29, 2021

In het aanpassen van deze processen ligt nog een grote uitdaging voor de procesindustrie, zowel in de keuze van grondstoffen, die tegenwoordig nog vaak op basis van fossiele bronnen zijn, maar ook in de efficiëntie van de omzetting van grondstof naar product. Indien in de toekomst deze aspecten worden verbeterd, kan stoomrecompressie nog steeds zorgen voor een reductie in de benodigde hoeveelheid energie van deze processen, die vanwege de schaalgrootte nog steeds een grote behoefte aan energie zullen hebben.

De mogelijkheden van MVR voor de procesindustrie zijn aantrekkelijk om naast een reductie in kosten en energiebehoefte, een belangrijke bijdrage te leveren aan de maatschappelijke doelen van de verduurzaming van de samenleving. Voor de Nederlandse procesindustrie in zijn geheel zou het mogelijk zijn een vermindering van de energiebehoefte te realiseren van 1,3 miljoen ton CO_2 op jaarbasis. Vooral bij bedrijven in de procesindustrie die een grote stoominfrastructuur en dus veel laagwaardige stoom hebben, biedt MVR kansen. Dit betreft voornamelijk olieraffinaderijen en krakers, die ruwe olie omzetten in brandstof en chemische bouwstenen, op locaties zoals Moerdijk, Chemelot, Terneuzen, Pernis en in de Botlek.

Tijdens de uitvoering van de pilot is door verschillende bedrijven interesse getoond in de pilot en zijn er gesprekken geweest met andere partijen over de ervaringen van DOW met stoomrecompressie. Hoewel er operationele problemen zijn geweest tijdens de testperiode, hebben deze veelal niet direct te maken met de techniek van stoomrecompressie en is het beeld van de betrouwbaarheid van stoomrecompressie niet direct negatief. Wel heeft de monitoringsperiode te kort geduurd om daadwerkelijk de potentie en de operationele betrouwbaarheid van de installatie aan te tonen.

Er zijn diverse publicaties verschenen en in diverse gremia is over dit project gesproken en gepubliceerd. Hierdoor wordt MVR als een kansrijke techniek gezien bij diverse grote industriële partijen. In tussentijd zijn er door BlueTerra diverse haalbaarheidsstudies uitgevoerd naar de toepassing van MVR bij industriële afnemers, waarvan een aantal de potentie heeft om op korte termijn gerealiseerd te worden.

Ook in de komende periode zal de installatie bij DOW in de belangstelling staan bij industriële partijen. Het is dan ook belangrijk om de resultaten ook na het afronden van de monitoringsperiode te blijven delen. Ook staat DOW open voor het uitwisselen van kennis en operationele ervaring met de compressor. Daarnaast is op aanvraag een bezoek aan de locatie om de compressor werkend te zien mogelijk.

Door de installatie van de pilot en de ervaring die daarmee is opgedaan loopt Nederland voorop in kennis en ervaring met MVR op dit drukniveau. Dit uit zich in vragen over en interesse in MVR vanuit de ons omringende landen.

6.4 Lessons learned

Terugkijkend op de realisatie van de pilot MVR installatie bij DOW Terneuzen, zijn er verschillende verbetermogelijkheden gevonden die zouden kunnen zorgen voor een beter verloop van een toekomstig project. Een aantal van deze punten zijn tijdens de realisatie opgelost.

Tussenkoeler (warmtewisselaar) toepassen in plaats van een desuperheater.

In het ontwerp van de pilot MVR is gekozen voor een desuperheater die water in de processtroom spuit om het gas te kunnen koelen naar net boven verzadigingscondities. Dit zorgt voor extra stoomproductie, doordat het desuperheatwater ook stoom wordt.

Deloitte Accountants B.V.
For identification purposes only.
Related to auditor's report
dated April 29, 2021

Door de desuperheater tussen de compressietrappen wordt momenteel continu teveel water ingespoten (maximaal debiet). Een goed ontwerp van een desuperheater is in meerdere projecten lastig gebleken. Belangrijk voor een goed ontwerp is voldoende fysieke ruimte en verblijftijd voor een goede menging van het inspuitwater en het gas. Op dit moment wordt er bij DOW nog gewerkt aan een oplossing voor de desuperheater.

Lesson learned: Extra aandacht voor goed ontwerp van de desuperheater of als alternatief een tussenkoeler toepassen (warmtewisselaar), zodat er geen water ingespoten hoeft te worden in het systeem.
Dit gaat ten koste van de stoomproductie, maar zal problemen met betrekking tot waterdruppels in de compressoren tegengaan.

Ontwerp oliekoeler niet voldoende gecontroleerd

De oliekoeler is een standaard item voor compressoren; voor de MVR is dit niet anders dan een ander type procesgas compressor. Hierdoor is aangenomen dat de compressorleverancier het ontwerp en het benodigde warmtewisselend oppervlak prima kon bepalen. Uiteindelijk is gebleken dat het warmtewisselend oppervlak te klein was, waardoor de compressor vaak niet kon draaien.

Lesson learned: Check ook de berekeningen van een standaard item als de oliekoeler, daar een verkeerd ontworpen oliekoeler ervoor zorgt dat de installatie niet kan draaien.

Meer meetinstrumenten installeren

Voor de monitoring van de MVR-installatie is gekozen voor een beperkt aantal meetinstrumenten. Veel gegevens kunnen afgeleid worden uit de metingen. Doordat meetinstrumenten daarnaast niet dubbel uitgevoerd zijn is de werking van de compressor niet volledig te analyseren. Dit is vooral bij een pilot project belangrijk.

Lesson learned: meer meetinstrumenten aansluiten op de MVR installatie, zoals drukmeters voor de druk na de uitlaat van de eerste compressortrap en meerdere parallelle temperatuurmeters om de exacte werking van de compressor te verklaren, ook bij het falen van een aantal meetinstrumenten.

Turn-key installaties leveren

De pilot MVR bij DOW Terneuzen bestaat niet volledig uit turn-key componenten. De elektrische aandrijving bijvoorbeeld is niet door de compressorleverancier geleverd, maar is apart ingekocht door DOW.

Lesson learned: Door van de MVR een turn-key systeem te maken kunnen de componenten beter op elkaar af worden gestemd en ligt de verantwoordelijkheid bij één partij.

Meer compressietrappen toepassen

Het aantal compressortrappen is een optimalisatie tussen de benodigde investering en het rendement en de robuustheid van de installatie. In het gekozen ontwerp is uitgegaan van twee compressietrappen, waardoor de compressieverhouding per trap relatief hoog is. De compressor kan daardoor minder goed omgaan met afwijkingen in de procescondities.

Deloitte Accountants B.V.
For identification purposes only.
Related to auditor's report
dated April 29, 2021

Lesson learned: Lagere drukverhoudingen zorgt ervoor dat de grenzen van het systeem minder opgezocht worden, waardoor capaciteitsproblemen beperkter blijven; vooral in een situatie waarin de stoomcompressor verantwoordelijk is voor de levering van een groot deel van de stoombehoefte op de site is een conservatieve drukverhouding aan te bevelen.

Verantwoordelijke voor de installatie aanstellen

Binnen het project zijn aan de DOW kant veel wisselingen van de verantwoordelijke personen geweest. Daarnaast is de installatie voor de productie op de site niet bepalend, daar er voldoende back-up capaciteit van de stoom is. Mede hierdoor heeft het identificeren en verhelpen van de problemen lang geduurd.

Lesson learned: Het project zal beter verlopen wanneer er één verantwoordelijke voor de installatie aangesteld wordt en dat dit zo veel als mogelijk dezelfde persoon blijft.

Deloitte Accountants B.V.
For identification purposes only.
Related to auditor's report
dated April 29, 2021

6.5 Toetsing projectplan

In de DEI-aanvraag voor dit project zijn doelstellingen geformuleerd voor de pilot. In deze paragraaf worden deze doelen geëvalueerd.

Doelstelling	Resultaat pilot
1. Demonstreren dat het mogelijk is om met behulp van mechanische stoomrecompressie laagwaardige stoom om te zetten in bruikbare hoogwaardige stoom op pre-industriële schaal.	Gelukt, zij het dat de installatie nog niet lang genoeg gedraaid heeft om de betrouwbaarheid op langere termijn aan te tonen. Dit zal nu en in de komende jaren verder plaats vinden door het laten draaien van de pilot installatie.
2. De Nederlandse industrie een oplossing bieden om de beschikbare warmte in laagwaardig stoom nuttig in te zetten door middel van MVR en hiermee een belangrijke bijdrage te leveren aan energie- en CO_2-emissiebesparing op landelijke schaal.	Deels gelukt. Doordat de installatie nog niet voldoende draaiuren heeft gemaakt en door de COVID beperkingen is het daadwerkelijk demonstreren op locatie nog niet mogelijk geweest. Dit live demonstreren is belangrijk voor industriële bedrijven voor het toepassen van MVR in het eigen bedrijf. Wel is digitaal kennis en ervaring uitgewisseld met geïnteresseerde partijen.

Verwachte resultaat	Resultaat pilot
Directe resultaten	
Een werkend systeem pilot MVR-systeem op locatie Terneuzen van DOW in het vierde kwartaal van 2017.	Grotendeels gelukt. Door de besproken technische problemen heeft de installatie maar beperkt kunnen draaien. Inmiddels is de installatie wel draaiende. Eerste stoomproductie met de MVR heeft in vierde kwartaal 2019 plaats gevonden.
Een stoombesparing van 87,5 kton en een CO_2-uitstoot reductie van 13,5 kton per jaar voor de locatie Terneuzen.	Nog niet gelukt. Door de beperkte draaiuren van de MVR installatie is dit niet behaald. Verwacht wordt dat in 2021 deze stoombesparing ruimschoots zal worden behaald.
Inzicht in de technische (systeem performance), maatschappelijke (CO_2-reductie) en economische (reductie OPEX) impact van een tweetraps MVR-installatie op het productieproces van DOW Terneuzen	Deels gelukt. Systeem performance op langere termijn moet nog bewezen worden. Overige aspecten zijn bekend uit de resultaten van de twee monitoringsperiodes en de extrapolatie naar een heel jaar.
Indirecte resultaten	
Bij een succesvolle demonstratie van de pilot MVR-installatie volgt de toepassing op full-scale (50 ton/uur)	Nog niet behaald. In 2021 wordt de installatie door DOW verder gemonitord. Toepassing op full-scale is vooral opportuun bij uitbreiding van de LPDE productie capaciteit.
Bij een succesvolle demonstratie van de pilot MVR-installatie volgt de toepassing van deze techniek bij productieprocessen van DOW in het buitenland (Spanje en/ of Verenigde Staten)	Nog niet behaald. Wel interesse vanuit andere productielocaties van DOW voor toepassing.

Deloitte Accountants B.V.
For identification purposes only.
Related to auditor's report
dated April 29, 2021

Team

Dit rapport is samengesteld door:

Dion de Bree
Consultant

René Waggeveld
Senior consultant

Deloitte Accountants B.V.
For identification purposes only.
Related to auditor's report
dated April 29, 2021

A Budget versus werkelijke kosten Pilot MVR installatie

Onderstaande de begrote en de werkelijke kosten van de pilot MVR installatie.

Item	Estimated Cost (EUR)	Spent to Date (EUR)	Subsidy
Monitoring Costs			
for 2 years	323.520	**2.565**	Green Deal
Engineering/Advice/Preliminary Work			
1 fte for 1 year	90.000	**69.894**	DEI
Sub-contractor Engineering	320.000	**579.251**	DEI
IEE	50.000	**30.474**	DEI
CAPEX			
Compressor	3.200.000	**1.960.259**	DEI
Foundation, concrete and steel	150.000	**239.824**	Green Deal
Pipes / adjustments electrical infrastructure	500.000	**399.379**	DEI
Measuring equipment	300.000	**288.971**	Green Deal
Control and data acquisition software	50.000	**0**	Green Deal
Installation costs	400.000	**1.058.601**	DEI
Operational costs			
Electricity	1.135.296	**294.159**	Green Deal
Operational planning and supervision	25.000	**287.573**	Green Deal
Equipment specific consumables & spare parts	20.000	**0**	Green Deal
Maintenance (3% of installed value)	154.800	Green Deal	**16.864**
Training	24.000	Green Deal	**5.308**
Avoided steam purchase	-519.738	Green Deal	**-321.291**

Total			
Total Green Deal	1.662.878		**813.973**
Total DEI	4.560.000		**4.097.858**

Deloitte Accountants B.V.
For identification purposes only.
Related to auditor's report
dated April 29, 2021

Empowering Sustainability

BlueTerra
Energy Experts

Lunet 5 | 3905 NW Veenendaal | Postbus 1094 | 3900 BB Veenendaal
T +31 (0)88 - 520 04 00 | **E** info@blueterra.nl | **I** www.blueterra.nl

Deloitte Accountants B.V.
For identification purposes only.
Related to auditor's report
dated April 29, 2021