

RAPPORT

Herafweging verwerking productiewater Schoonebeek 2021 - 2022

Deelrapport selectie te toetsen alternatieven

Klant: NAM B.V.

Referentie: BF5299-RHD-ZZ-XX-RP-Z-0001

Status: Definitief/00

Datum: 28-1-2022

HASKONINGDHV NEDERLAND B.V.

Laan 1914 no.35
3818 EX Amersfoort
Industry & Buildings
Trade register number: 56515154

+31 88 348 20 00 **T**
+31 33 463 36 52 **F**
info@rhdhv.com **E**
royalhaskoningdhv.com **W**

Titel document: Herafweging verwerking productiewater Schoonebeek 2021 - 2022

Sub titel: Deelrapport selectie te toetsen alternatieven
Referentie: BF5299-RHD-ZZ-XX-RP-Z-0001
Status: 00/Definitief
Datum: 28-1-2022
Projectnaam: Herafweging waterinjectie Twente
Projectnummer: BF5299
Auteur(s):

Opgesteld door:

Gecontroleerd door:

Datum:

Goedgekeurd door:

Datum:

Classificatie

Projectgerelateerd

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

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

Inhoud

1	Aanleiding voor de herafweging	1
1.1	Oliewinning Schoonebeek	1
1.2	Afbakening van de herafweging	2
1.3	Aandachtspunten bij de herafweging	2
1.4	Opzet van de herafweging 2021 - 2022	4
1.5	Opzet van de rapportage selectie alternatieven	5
2	Doel en opzet van de herafweging	7
2.1	Huidige vergunning	7
2.2	Rapportage herafweging als onderdeel van vergunning	8
2.3	Doel van de hernieuwde afweging	8
2.4	Opzet van de herafweging, werkwijze	9
3	Huidige situatie waterinjectie	11
3.1	Het oliewinningsproces	11
3.2	Verwerken van het productiewater	12
3.3	Samenstelling van het productiewater	13
4	Mogelijkheden waterzuiveringstechnieken	18
4.1	Marktconsultatie	18
4.2	Toetsing Technology Readiness Levels (TRL) en milieufactoren	21
4.3	Toetsing milieuscore	21
4.4	Bevindingen marktconsultatie	22
5	Mogelijkheden waterinjectie	23
5.1	Ruimtelijke beschrijving van het Bentheim aquifer	23
5.2	Mogelijke varianten	26
5.3	Herinjectie van ingedikt water in het aquifer	28
5.4	Haalbaarheid varianten	28
6	Uitgebreide lijst met opties	30
6.1	Samenstellen van de uitgebreide lijst met opties	30
6.2	Toetsing lijst met opties door EMI Twente in 2021	31
6.3	Beschrijving toetsingscriteria en betekenis scores	32
6.4	Selectiecriteria	33
7	Selectie van te toetsen alternatieven	36
7.1	Thema 1 – Zuiveren en lozen in biosfeer	36

7.2	Thema 2 – Zuiveren en injectie geconcentreerde waterstroom	37
7.3	Thema 3 – Waterinjectie	37
7.4	Thema 4 – Overige opties	38
7.5	Vaststellen alternatieven per thema	39
8	Uitwerking Circulair alternatief	41
8.1	Selectie waterzuivering	42
8.2	Benutten schoon zoetwater	44
8.3	Selectie verwerking reststroom	45
9	Uitwerken alternatieven	47
9.1	Alternatief 1: Vast zout middels kristallisatie (conform 2016)	48
9.2	Alternatief 2: Zout water naar de zee (conform 2016)	52
9.3	Alternatief 3: Circulaire aanpak (aangepast)	56
9.4	Alternatief 4: Waterinjectie Drenthe (aangepast)	56
9.5	Huidige situatie injectie in Twente (update)	59

Bijlagen

1. Marktconsultatie zuiveringstechnieken productiewater, 2022, Royal HaskoningDHV
2. Evaluatie verwerkingstechnologieën productiewater Schoonebeek, 2021, EMI Twente
3. Evaluatie van de DyVaR/evaporatie technologie, 2021, Suster B.V.
4. Toelichting afweging lijst uitgebreide opties, 2016, RHDHV

Managementsamenvatting

Deze rapportage beschrijft het eerste deel van de Herafweging waterinjectie Twente. In dit deel wordt een overzicht gegeven van de mogelijke technieken voor het verwerken van het water dat wordt meegeproduceerd bij de oliewinning in Schoonebeek. Uit dit overzicht wordt een selectie gemaakt voor de alternatieven die getoetst gaan worden volgens de CE methodiek. De CE toetsing wordt in een tweede deel gerapporteerd. Recent is geconstateerd dat er een breuk is opgetreden in één van de injectieputten (ROW-2). De waterinjectie is hier stopgezet en er wordt nu onderzoek gedaan naar de oorzaak van de breuk. Het tweede deel kan worden afgerond, zodra de bevindingen uit dit onderzoek bekend zijn.

In Zuidoost Drenthe bevindt zich het Schoonebeek oliereservoir, waaruit NAM sinds 1947 olie wint. De olieproductie is in 1996 gestopt waarna de putten, locaties en productiefaciliteiten zijn opgeruimd. Er waren toen in totaal circa 250 miljoen vaten olie geproduceerd. Vanaf 2011 is een nieuwe fase gestart met als doel nog eens circa 90 miljoen vaten olie te winnen, waarbij de olie met behulp van lage druk stoominjectie wordt verhit en vloeibaar gemaakt, om de winning te vergemakkelijken. In het reservoir is, naast de olie, van nature een grote hoeveelheid water aanwezig. Via de winputten wordt derhalve een combinatie van water en olie onttrokken. Dit water wordt in Schoonebeek afgescheiden van de olie en als zogeheten productiewater verwerkt. Dit productiewater wordt vervolgens middels een ondergrondse leiding naar gasvelden in de regio Twente getransporteerd, waaruit NAM in het verleden gas heeft gewonnen. Deze bijna leeg geproduceerde gasvelden worden nu gevuld met productiewater via bestaande injectieputten (ter plaatse van de injectieputten aangeduid als injectiewater).

Toen NAM besloot om weer olie te gaan winnen uit het Schoonebeekveld, is hiervoor in 2006 een Milieu Effect Rapportage (MER)¹ opgesteld. De verwerking van productiewater via waterinjectie in Twente is in het MER als meest geschikte methode naar voren gekomen. In daarop verleende vergunningen voor de injectielocaties is voorgeschreven dat elke 6 jaar een herafweging gemaakt dient te worden, of injectie in leeggeproduceerde gasvelden in Twente nog steeds de meest geschikte verwerkingsmethode voor het productiewater van Schoonebeek is.

De waterinjectie is in 2011 van start gegaan. In 2016 is de eerste Herafweging uitgevoerd, op verzoek van het ministerie van EZK een jaar eerder dan voorgeschreven. De tweede Herafweging is daarmee vervroegd van 2023 naar 2022, zes jaar na de 2016 afweging. Wederom heeft het ministerie van Economische Zaken en Klimaat (EZK)² verzocht om een jaar eerder de Herafweging uit te voeren. In 2021 is daarom gestart met de Herafweging. Voor een juiste afweging is het van belang dat alle relevante ervaringen bij de waterinjectie in Twente worden betrokken. Het onderzoek naar een breuk in de injectieput ROW-2 is echter nog niet afgerond. Specifiek voor het maken van een goede risico-afweging (als onderdeel van de zogenaamde CE-afwegingsmethodiek) is deze informatie van belang. Het is de verwachting dat het onderzoek begin 2022 beschikbaar komt, waarna het tweede deel van de Herafweging kan worden afgerond. Zodoende wordt deze Herafweging aangeduid als de Herafweging 2021 – 2022. Vooruitlopend op de complete rapportage van de Herafweging is nu op verzoek van het ministerie van EZK de voorliggende rapportage van het eerste deel van de Herafweging opgesteld.

In 2016 is de werkwijze voor de Herafweging besproken met een bestuurlijke begeleidingsgroep, waarin wethouders, gedeputeerden en het bestuur van het waterschap vertegenwoordigd waren. Tevens heeft de commissie voor de m.e.r. advies gegeven over het onderzoekstraject. Dit heeft geresulteerd in een logische en breed gedragen werkwijze. Op hoofdlijnen bestaat de werkwijze uit de stappen zoals in het onderstaande schema weergegeven. Dezelfde werkwijze wordt nu gevolgd in de Herafweging 2021 -

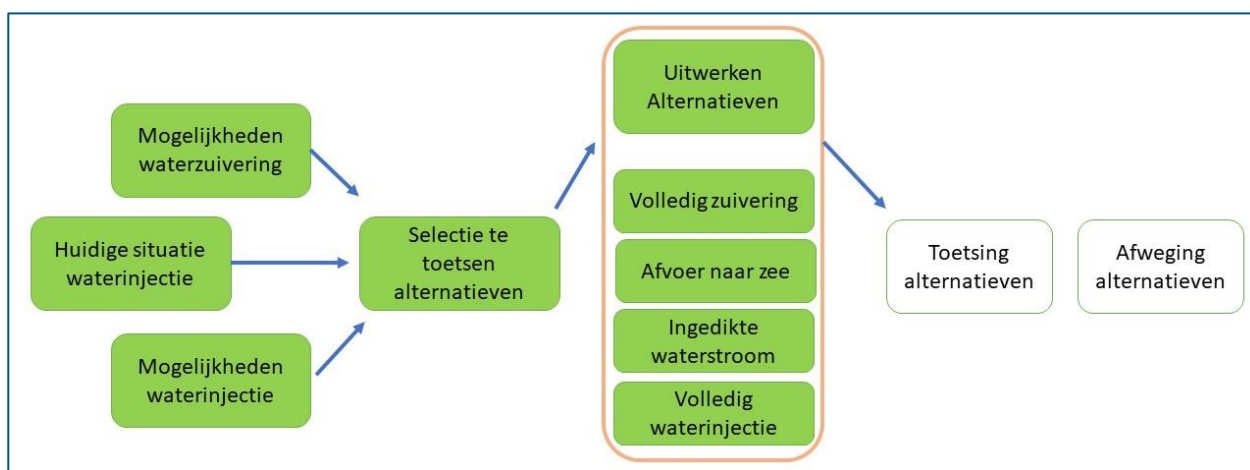
¹ Met het MER wordt gerefereerd aan het rapport, terwijl de m.e.r. refereert aan de procedure.

² Waar gerefereerd wordt aan EZK geldt dat dit in een eerder kabinet het ministerie van Economisch Zaken betrof

2022. De groene vlakken geven hierin de stappen weer die in deze rapportage aan bod komen. De overige stappen komen in een tweede deel aan bod.

Het onderzoek richt zich op de mogelijkheden voor verwerking van productiewater, ontstaan bij de oliewinning, waarbij de oliewinning zelf in de huidige vorm kan worden voortgezet.

Bij deze herafweging wordt geen uitspraak gedaan over nut en noodzaak van oliewinning en het gebruik van fossiele energievormen in bredere zin. Dit valt buiten het kader van de specifieke herafweging verwerking productiewater Schoonebeek.



Figuur. Overzicht stappenplan Herafweging verwerking productiewater oliewinning Schoonebeek, met in het groen de stappen zoals in deze rapportage uitgewerkt zijn.

Huidige situatie waterinjectie

De oliewinning in Schoonebeek wordt beperkt doordat het transport van productiewater naar de injectielocaties Twente gelimiteerd is. Productiewater wordt juridisch geclassificeerd als “afvalstof”. Op de verwerking van productiewater (als afvalstof) is het beleidskader van de Wet milieubeheer en het Landelijk Afvalbeheerplan (LAP) voornamelijk van toepassing. Dagelijks wordt gemiddeld circa 3.000 m³ productiewater afgevoerd, wat neerkomt op circa 1 miljoen m³ productiewater per jaar. De waterinjectie vindt plaats via vier putten vanaf drie locaties boven het Rossum Weerselo veld. Een probleem met de transportleiding in 2015 is verholpen door in de bestaande leiding een pijp-in-pijp constructie toe te passen. Deze ingevoerde transportleiding functioneert goed, maar de vermindering in diameter limiteert de hoeveelheid productiewater die kan worden getransporteerd. Momenteel is er een probleem met één van de injectieputten, ROW-2, hier is een breuk in de buitenbuis geconstateerd. Daardoor kan deze put niet worden gebruikt en is tevens gedurende het onderzoek uit voorzorg de nabijgelegen injectieput ROW-7 buiten gebruik gesteld. De injectie in de beide overige putten is sinds eind december 2021 tijdelijk stilgelegd omdat de watersamenstelling niet volledig voldeed aan de maximale concentraties gesteld in de vergunning. Thans wordt gewerkt aan een oplossing om dit in te toekomst te voorkomen.

Mogelijkheden waterzuivering

De Herafweging 2016 heeft laten zien dat waterinjectie beter scoort op de LCA³ dan de waterzuiveringsalternatieven, zowel ten aanzien van energieverbruik, gebruik van chemicaliën en te verwerken restproduct. De risico's op korte en lange termijn zijn verschillend van aard maar niet van omvang. De kosten van waterinjectie zijn lager dan voor de andere alternatieven.

³ LCA staat voor Life Cycle Analysis, waarmee directe en indirecte milieueffecten kunnen worden bepaald

Voor de Herafweging 2021 – 2022 is het zodoende relevant om vast te stellen of er alternatieven te vinden zijn die in ieder geval beter scoren op de LCA dan de gepresenteerde alternatieven in 2016. Ten opzichte van de Herafweging 2016 ligt hierdoor de nadruk op het onderzoek naar vooral nieuwe waterzuiveringstechnieken met lager energieverbruik, zo min mogelijk chemicaliën en goede verwerkingsmogelijkheden van het restproduct.

NAM heeft een uitgebreide marktverkenning uitgevoerd, waarbij leveranciers van zuiveringssystemen hun technieken hebben gepresenteerd. Er zijn in totaal 13 waterzuiveringstechnieken geïdentificeerd, deze zijn op directe inzetbaarheid getoetst, op verbruik van energie, op verbruik van chemicaliën en op te verwerken restproducten. De toetsing van deze technieken is door RHDHV uitgevoerd en als bijlage bij dit rapport opgenomen (bijlage 1). Indien een techniek een significante verbetering kan geven, kan een pilot op locatie worden uitgevoerd om na te gaan hoe effectief de waterzuivering is voor het productiewater.

Uit deze toetsing komt naar voren dat kristallisatie tot een vast product veel energie en chemicaliën vergt en een restproduct oplevert dat niet verwerkbaar is. Dit is in lijn met de eerdere bevindingen uit 2016.

Kansrijker zijn de opties waarin een sterk ingedikte reststroom overblijft, met een stroom schoon water die hergebruikt wordt bij de stoomproductie. Daarmee is geen aanvullend water nodig uit het oppervlaktewatersysteem ten behoeve van stoomproductie, en zijn er meer mogelijkheden voor het verwerken van het restproduct: het lokaal injecteren van de ingedikte reststroom. Dit is een optimalisatie van het alternatief “ingedikte waterstroom” zoals in 2016 gepresenteerd en wordt aangeduid als het Circulaire Alternatief. Het alternatief wordt onderdeel van de toetsing in de Herafweging 2021 – 2022.

In het verlengde van de uitwerking van het Circulair Alternatief heeft NAM nader onderzoek gedaan naar de mogelijkheden een beperkte en ingedikte waterstroom te herinjecteren in het reservoir waaruit oliewinning plaatsvindt. Afhankelijk van de waterzuiveringstechniek beslaat de reststroom slechts 25% of zelfs 10% van de totale waterstroom. Uit het onderzoek komt naar voren dat dit in het oostelijk deel van het olieveld mogelijk toepasbaar is. Dit is als onderdeel opgenomen in het Circulaire Alternatief.

Mogelijkheden waterinjectie

De breuk in de waterinjectieput ROW-2 heeft potentieel een impact op de mogelijkheden voor waterinjectie, afhankelijk van de uitkomsten van het onderzoek. Zodra het onderzoek klaar is, kan de risicoanalyse voor de waterinjectie in Twente worden herzien, en zal dat worden opgenomen bij de huidige situatie en afhankelijk van de uitkomst van het onderzoek tevens bij de andere alternatieven waar waterinjectie een onderdeel van uitmaakt.

Selectie te toetsen alternatieven

In eerste instantie heeft NAM een externe partij gevraagd te kijken naar de uitgebreide lijst met verwerkingsmogelijkheden, zoals opgesteld in 2016, met de vraag of hier mogelijkheden over het hoofd worden gezien. De rapportage van deze toets door EMI Twente⁴ (gelieerd aan de Universiteit Twente) is als bijlage bijgevoegd (bijlage 2). Hieruit zijn geen aanvullende opties naar voren gekomen.

⁴ EMI Twente voert gezamenlijk onderzoek uit, met en voor industriële partijen op het gebied van membraanwetenschap en -technologie. Het beoogt een brug te slaan tussen academisch onderzoek en industriële behoeften. EMI Twente is onderdeel van het Membrane Science and Technology cluster, een cluster van zeven academische onderzoeksgroepen die actief zijn op alle relevante membraan gebieden. EMI Twente is actief in vrijwel elk belangrijk relevant membraan gebied en heeft een diverse reeks expertises, waaronder de ontwikkeling van polymere, anorganische en hybride membranen, transportverschijnselen en procesontwerp.

EMI Twente bevestigt dat de clustering van opties naar thema's logisch is uitgewerkt. Voor de herafweging 2021 – 2022 zijn dezelfde thema's geselecteerd als bij de Herafweging 2016:

- Waterzuivering met kristallisatie tot een vast (zout) restproduct;
- Biologische waterzuivering en afvoer zoutwater naar de zee;
- Waterzuivering tot ingedikt restproduct (brijn) en schoon zoet water;
- Waterinjectie in de Drenthe-velden, specifiek bij het Schoonebeek gasveld.

Uitwerken alternatieven

Voor ieder van deze thema's is een alternatief uitgewerkt, geschikt voor de toetsing volgens de CE methodiek. De alternatieven worden vergeleken met de huidige situatie van waterinjectie in Twente. De waterinjectie in Twente heeft de afgelopen jaren structureel circa 3.000 m³ per dag bedragen. Dit zal voor de andere alternatieven eveneens het uitgangspunt zijn.

Ten opzichte van de Herafweging 2016 zijn de eerste twee alternatieven (kristallisatie en afvoer naar zee) niet wezenlijk veranderd. Het derde alternatief is geheel aangepast tot het Circulair Alternatief. Het vierde alternatief is nu beperkt tot waterinjectie in de Drenthe-velden, in plaats van een combinatie aan mogelijkheden in Drenthe en Twente. Hierbij wordt gekeken naar het Schoonebeek gasveld dat deels onder het Schoonebeek olieveld ligt.

Vervolgstappen – Toetsing alternatieven

Deze rapportage geeft het overzicht van de te toetsen alternatieven, op basis van de nieuwste inzichten. De volgende stap bestaat uit de toetsing volgens de CE methodiek. De toetsing bestaat uit twee delen. Eerst wordt bepaald welke reservoirs in aanmerking komen voor veilige en nuttige opslag van productiewater. Hiervoor zijn de bevindingen van het onderzoek naar de breuk in ROW-2 nodig. Vervolgens worden de alternatieven en de huidige situatie getoetst op de LCA (met nadruk op energieverbruik, gebruik van chemicaliën en te verwerken restproducten), de risico's⁵ op korte en lange termijn en de kosten.

Vervolgstappen – Weging alternatieven

De resultaten van de toetsing worden gepresenteerd en gewogen om tot een uitspraak te komen in hoeverre de huidige verwerking van productiewater nog steeds de meest effectieve is.

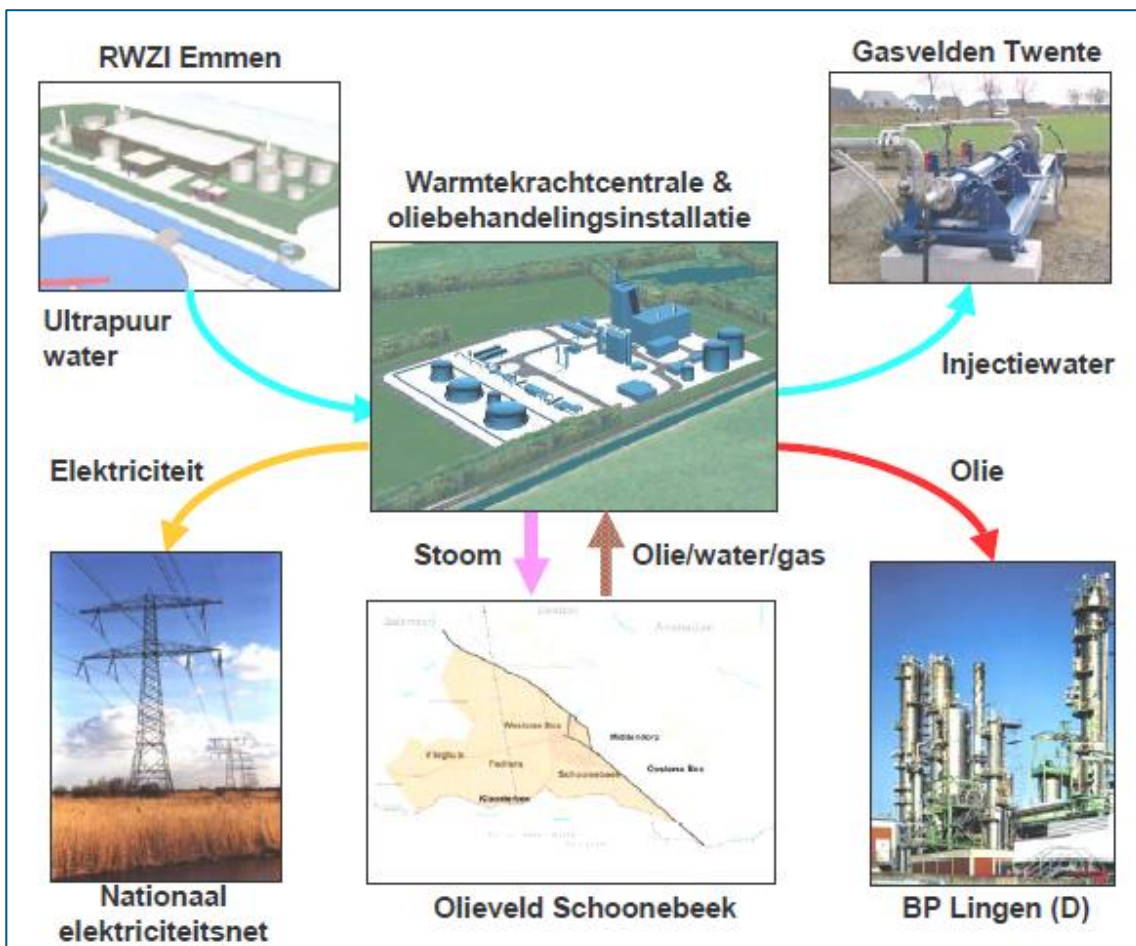
Het is de verwachting dat de eindrapportage in de loop van 2022 beschikbaar komt en ingediend kan worden bij het ministerie van EZK. Het ministerie heeft aangegeven de rapportage voor advies voor te leggen aan verschillende instanties om daarna met het oordeel te komen.

⁵ Hiervoor zijn de bevindingen van het onderzoek naar de breuk in ROW-2 nodig

1 Aanleiding voor de herafweging

1.1 Oliewinning Schoonebeek

In Zuidoost Drenthe en aangrenzend in Duitsland bevindt zich het grootste oliereservoir onder land van West Europa. Zowel vanuit Duitsland als vanuit Nederland wordt hier olie gewonnen. Het Nederlandse deel van het olieveld wordt aangeduid als het Schoonebeek oliereservoir, waaruit sinds 1947 olie wordt gewonnen. Vanaf 2011 is een nieuwe fase gestart in de oliewinning Schoonebeek, waarbij de aanwezige olie in de ondergrond met behulp van lage druk stoominjectie wordt verhit en vloeibaarder gemaakt om de oliewinning te vergemakkelijken. In het reservoir is naast de olie ook een grote hoeveelheid water aanwezig. Met de olie komt dit water uit het reservoir via de winputten omhoog. Dit water wordt afgescheiden van de olie en als zogenaamd productiewater verwerkt.



Figuur 1.1: Overzicht onderdelen van de oliewinning Schoonebeek.

Het productiewater is vooral zoutwater

Het productiewater bevat onder meer een grote hoeveelheid zouten. Naast zout bevinden zich van nature nog andere stoffen in het geproduceerde water, zoals resten olie, enkele metalen en zwavelwaterstof (H_2S). Doordat stoom wordt geïnjecteerd in het oliereservoir, komt er geleidelijk aan steeds meer schoon water samen met het zoute water uit het reservoir in het productiewater terecht. Aan het productiewater worden mijnbouw hulpstoffen toegevoegd ter bescherming van de installaties en leidingen.

Verwerking productiewater uit Schoonebeek

Het zoute productiewater kan niet zo maar worden geloosd op het oppervlaktewater nabij Schoonebeek. Het is eveneens niet mogelijk het productiewater weer terug te brengen in het reservoir zonder dat dit ten koste gaat van olieproductie. Doordat er al stoom wordt geïnjecteerd, zal het aanvullend terugbrengen van productiewater in het reservoir er toe leiden dat de druk te hoog wordt. Daarom is er gezocht naar andere oplossingen voor de verwerking van het productiewater. In het Milieueffectrapport (MER⁶) voor de Herontwikkeling Oliewinning Schoonebeek in 2006 is een vergelijking gemaakt tussen de mogelijke verwerkingsalternatieven voor productiewater, waarbij tevens de mogelijkheid van hergebruik als stoom is onderzocht. Er is op basis van milieueffecten, risico's en kosten geconcludeerd dat opslag in leeg geproduceerde gasvelden de beste keuze is. Sinds begin 2011 wordt door de NAM productiewater vanaf de oliewinning Schoonebeek per transportleiding naar Twente gebracht en daar in lege gasvelden geïnjecteerd. Deze gasvelden kunnen uit één of meerdere reservoirs bestaan.

Herafweging verwerking productiewater Schoonebeek

NAM heeft de benodigde vergunningen verkregen voor waterinjectie in de leeg geproduceerde gasvelden van Twente. Hierin is als voorwaarde opgenomen dat NAM iedere 6 jaar na de start van de oliewinning opnieuw toetst of waterinjectie nog steeds de meest geschikte verwerkingsmethode is. De herafweging maakt gebruik van de door het bureau CE Delft ontwikkelde afwegingsmethodiek, welke ook is toegepast bij het MER in 2006.

De eerste herafweging heeft in 2016 plaatsgevonden. Deze rapportage is onderdeel van de tweede herafweging.

1.2 Afbakening van de herafweging

De verwerking van productiewater vormt een onderdeel van het veel uitgebreidere proces van oliewinning in Schoonebeek, zoals figuur 1.1 aangeeft. Deze herafweging heeft alleen betrekking op de verwerking van productiewater, nadat het is afgescheiden van de olie in de Oliebehandelingsinstallatie (OBI). De oliewinning is geen statisch productieproces. Er treden veranderingen op die invloed hebben op de hoeveelheid en samenstelling van het productiewater. Als onderdeel van dit onderzoek wordt ook bekeken, welke mogelijkheden er zijn om te komen tot reductie van de hoeveelheid productiewater en beperking van het gebruik van mijnbouw hulpstoffen.

Het onderzoek richt zich op de mogelijkheden voor verwerking van productiewater ontstaan bij de oliewinning, waarbij de oliewinning zelf in de huidige vorm kan worden voortgezet.

Bij deze herafweging wordt geen uitspraak gedaan over nut en noodzaak van oliewinning en het gebruik van fossiele energievormen in bredere zin. Dit valt buiten het kader van de specifieke herafweging verwerking productiewater Schoonebeek.

1.3 Aandachtspunten bij de herafweging

De herafweging kijkt op onderdelen af van de aannames en toetsing in het MER van 2006. Sinds de start van de oliewinning in 2011 is operationele informatie beschikbaar gekomen, waaronder gegevens over de samenstelling van het productiewater. Zoals aangegeven in het MER heeft de stoominjectie er toe geleid dat in de loop van de tijd het water in het reservoir is verdund met de gecondenseerde stoom. Metingen hebben aangetoond dat het zoutgehalte van het geproduceerde water hierdoor aanzienlijk is afgenomen ten opzichte van de uitgangssituatie. Verder is er de afgelopen jaren ervaring opgedaan met de injectiviteit

⁶ Met het MER wordt gerefereerd aan het rapport, terwijl de m.e.r. gerefereerd wordt aan de procedure.

van de putten en reservoirs in Twente, waaruit blijkt dat op de langere termijn niet al het productiewater volgens de huidige vergunningen in de Twentevelden kan worden geïnjecteerd.

Bij de herafweging wordt de huidige situatie van waterinjectie Twente vergeleken met mogelijke alternatieve verwerkingsmogelijkheden. Voor de huidige situatie moet rekening worden gehouden met beperkte capaciteit in de transportleiding vanaf Schoonebeek naar de Twentevelden. Van de drie oorspronkelijke velden zijn alleen de injectielocaties van Rossum Weerselo nog in gebruik. Bij één van deze locaties is een put beschadigd geraakt en niet meer inzetbaar. Deze omstandigheden leiden er toe dat de mogelijkheden van waterinjectie in de Twentevelden aanzienlijk zijn beperkt ten opzichte van de oorspronkelijk opzet.

De herafweging heeft zodoende te maken met beperking in de mogelijkheden in Twente. Daarnaast zijn er mogelijk nieuwe opties in beeld gekomen als alternatief. Daarbij kan worden gedacht aan mogelijke waterzuiveringstechnieken en opslagreservoirs. In de afgelopen jaren zijn mogelijk nieuwe zuiveringstechnieken en ervaringen beschikbaar gekomen, die alternatieven voor waterinjectie vormen. Tevens zijn er inmiddels ook opslagreservoirs in Drenthe beschikbaar gekomen waarvoor de gaswinning bijna beëindigd is.

Samenwerken met de olieproductie in Duitsland

Het olieveld bevindt zich deels in Nederland en deels in Duitsland. In Duitsland komt eveneens productiewater vrij bij de oliewinning. Samenwerking met de Duitse kant van de oliewinning vindt al plaats doordat de geproduceerde olie naar een raffinaderij in Duitsland wordt getransporteerd. Een vergelijkbare samenwerking met betrekking tot verwerking van productiewater is in deze herafweging als één van de mogelijkheden onderzocht.

Terminologie: Productiewater, injectiewater, oliewater of afvalwater?

In deze rapportage wordt het water dat de OBI verlaat aangeduid als productiewater. Het is een vorm van afvalwater, maar om het te onderscheiden van andere waterstromen wordt dit afvalwater aangeduid als productiewater. Vanuit eenduidigheid met de gehanteerde terminologie in het MER uit 2006 is er voor gekozen hier de term productiewater aan te houden. De gehanteerde terminologie heeft geen enkele invloed op de mogelijkheden of onmogelijkheden van de verdere verwerking en heeft geen juridische implicaties. Indien het water zou worden aangeduid als afvalwater of injectiewater, gelden geen andere (milieuhygiënische) normen of regels.

De term injectiewater wordt gebruikt om het water in de injectieput aan te duiden. In de huidige situatie is de samenstelling van het injectiewater gelijk aan de samenstelling van het productiewater. Indien het productiewater (deels) gezuiverd wordt, zal de samenstelling van het injectiewater afwijken van de samenstelling van het productiewater.

Terminologie: Biosfeer en diepe ondergrond

In deze rapportage wordt de ondergrond tot een diepte van circa 500 meter aangeduid als de biosfeer. De biosfeer beperkt zich overigens niet tot de ondergrond, boven de grond behoort ook de atmosfeer hiertoe. De diepere lagen worden aangeduid als de diepe ondergrond. Deze indeling geldt specifiek voor Nederland en is gebaseerd op de geologische bodemopbouw. De biosfeer is het gedeelte van de ondergrond waar onder meer zoet grondwater voorkomt (waaronder strategische drinkwatervoorraden), infiltratie- en kwelstromen optreden en biologische activiteit kan plaatsvinden. Dit gedeelte is voornamelijk opgebouwd uit zand- en kleilagen. De beschermende milieuwetgeving is geldig voor deze biosfeer.

In de diepe ondergrond beneden een diepte van ongeveer 500 meter komen van nature stoffen voor die in de biosfeer als verontreinigend worden gezien. Zo wordt olie in de diepe ondergrond gezien als een

delfstof terwijl dit op een paar meter diepte in de biosfeer als bodemverontreiniging wordt aangeduid. De waterkwaliteit in de diepe ondergrond wijkt sterk af van de waterkwaliteit in de biosfeer en bevat relatief veel zout en hogere waarden van radioactiviteit. De diepe ondergrond valt onder de mijnbouwwetgeving en hier gelden afwijkende beschermende regels, vooral om contact met de biosfeer te voorkomen.

Terminologie: Gebiedseigen en gebiedsvreemd water

Gebiedseigen water in de biosfeer heeft een geheel andere samenstelling dan gebiedseigen water in de diepe ondergrond. In principe wordt getracht om bij lozing op oppervlaktewater of injectie in de ondergrond er voor te zorgen dat de samenstelling van het water zoveel mogelijk overeenkomt met de gebiedseigen waterkwaliteit. Water afkomstig uit de diepe ondergrond wordt in dat geval bij voorkeur teruggebracht in de diepe ondergrond, zonder toegevoegde stoffen.

Bij waterinjectie zijn de toegevoegde stoffen veelal gebiedsvreemd voor de diepe ondergrond. Bij waterzuivering gevolgd door lozing daarentegen komen stoffen uit de diepe ondergrond veelal als gebiedsvreemd in de biosfeer terecht.

Terminologie: Vaste stof, zout en puur zout

In het onderzoek wordt gesproken over het zoutgehalte van het water. Deze term wordt gebruikt voor het totaal gehalte van alle anorganische zouten. Voor het Schoonebeek water zijn dit voornamelijk NaCl en CaCO₃ met daarbij magnesiumzouten en kleinere hoeveelheden van andere anorganische zouten. Deze zoutsamenstelling maakt het lastig om hergebruik te realiseren. Indien gesproken wordt over alleen de component NaCl, dan wordt dit als “puur zout” benoemd.

Terminologie: Verwerkingsopties, thema's, alternatieven en varianten

Het onderzoek richt zich op het vinden van de meest geschikte verwerking van het productiewater uit Schoonebeek. De selectie wordt in stappen uitgevoerd van een zo breed mogelijk overzicht naar steeds specifiekere, om uiteindelijk te komen tot goed vergelijkbare en toetsbare uitwerking voor de verwerking van productiewater. Daarbij wordt gestart met de verwerkingsopties, waarin alle realistisch mogelijke opties op hoofdlijnen zijn beschreven. De verwerkingsopties zijn gebaseerd op onderling vergelijkbare principes, zodat de verwerkingsopties geclusterd kunnen worden in thema's. Per thema's wordt vastgesteld wat de meest kansrijke verwerkingsopties zijn, die vervolgens in meer detail worden uitgewerkt in alternatieven. Op onderdelen van een alternatief kunnen varianten benoemd worden (vergelijkbaar met de m.e.r.-methodiek).

1.4 Opzet van de herafweging 2021 - 2022

Op verzoek van de Minister van Economische Zaken en Klimaat vond de eerste herafweging niet volgens de vergunning na 6 jaar plaats maar een jaar eerder, in 2016, mede ten gevolge van zorgen in de omgeving van de waterinjectielocaties. Afgelopen jaar is wederom gevraagd de herafweging al na vijf jaar te laten plaatsvinden, in 2021, in plaats van na zes jaar. De herafweging is gestart in 2021, en zal naar verwachting afgerond kunnen worden in 2022.

De herafweging 2021 – 2022 bestaat uit de volgende stappen (zie figuur 1.2):

In deze rapportage:

- Vaststellen randvoorwaarden en uitgangspunten op basis van de huidige situatie waterinjectie;
- Mogelijkheden waterzuivering: bevindingen onderzoek naar waterzuiveringstechnieken;
- Mogelijkheden waterinjectie;
- Vaststellen lijst met uitgebreide opties, clustering en selecteren nader te toetsen alternatieven;
- Het uitwerken van de alternatieven in meer detail.

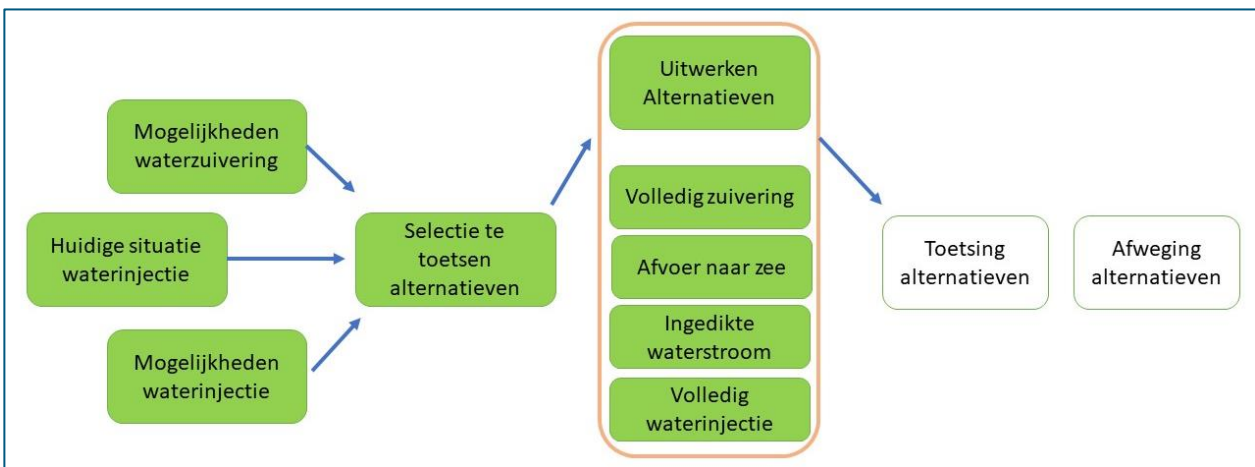
Naderhand te rapporteren:

- Toetsing alternatieven, met behulp van de CE afwegingsmethodiek;
- Afweging alternatieven met conclusies ten aanzien van de herafweging.

Nadat de eindrapportage is ingediend bij het ministerie van Economische Zaken en Klimaat zal aan verschillende betrokkenen en adviesorganen gevraagd worden te reageren op de opzet en uitkomsten van het onderzoek.

Referentiesituatie

De huidige situatie van waterinjectie Twente wordt als referentiesituatie gehouden. Dat wil zeggen de alternatieven worden onderzocht voor circa 3.000 m³ productiewater per dag en de waterkwaliteit zoals door NAM in het jaarverslag 2020 gerapporteerd. Hoofdstuk 3 gaat hier nader op in.



Figuur 1.2. Stappenplan Herafweging en in groen de onderdelen van deze rapportage weergegeven.

1.5 Opzet van de rapportage selectie alternatieven

NAM heeft Royal HaskoningDHV gevraagd de nieuwe herafweging 2021 – 2022 uit te voeren. In deze rapportage wordt gekomen tot een selectie van te toetsen alternatieven. Naderhand zullen de geselecteerde alternatieven getoetst worden. Onderstaand wordt de opzet van deze rapportage toegelicht.

De rapportage beschrijft het proces waarbij eerst een uitgebreide lijst van mogelijke verwerkingsopties wordt beschreven, vervolgens de clustering daarvan in thema's van vergelijkbare opties. Tot slot de uitwerking per thema van de meest kansrijke alternatieven. In een volgende fase worden deze alternatieven getoetst en vergeleken. De werkwijze volgt hierin de aanpak van 2016 en de beschrijving richt zich vooral op de nieuwe aspecten, terwijl voor het complete beeld de niet veranderde aspecten uit de herafweging 2016 worden overgenomen.

Doordat de werkwijze van de herafweging 2016 wordt gevolgd, is een deel van de rapportage overeenkomstig de rapportage in 2016. Er is voor gekozen de betrokken teksten in deze rapportage op te nemen in plaats van steeds te verwijzen naar het eerdere rapport. Hierdoor is deze rapportage zelfstandig leesbaar.

Doel en opzet

Hoofdstuk 2 beschrijft het doel en de opzet van het onderzoek, waarbij onderstaande stappen worden benoemd.

Hoofdstuk 3 beschrijft de huidige situatie bij de waterinjectie in Twente. Hoofdstuk 4 gaat in op de marktverkenning van mogelijke zuiveringstechnieken. In hoofdstuk 5 wordt ingegaan op de huidige inzichten met betrekking tot ondergrondse opslag van productiewater.

Selectie alternatieven voor verwerking productiewater

De selectieprocedure voor nader te onderzoeken alternatieven is beschreven in hoofdstukken 6 tot en met 9. De mogelijke oplossingen worden weergegeven in hoofdstuk 6. De toetsing van deze opties om te komen tot een beperkt aantal nader te onderzoeken alternatieven is beschreven in hoofdstuk 7. Hoofdstuk 8 beschrijft het nieuw uitgewerkte circulaire alternatief. In hoofdstuk 9 worden de andere alternatieven in meer detail weergegeven.

2 Doel en opzet van de herafweging

2.1 Huidige vergunning

Toetsing bij MER in 2006 met behulp van de CE-afwegingsmethodiek

In 2006 zijn voor de verwerking van het productiewater uit Schoonebeek, als onderdeel van een m.e.r.-procedure, verschillende verwerkingsmogelijkheden onderzocht, waaronder het terugbrengen in de diepe ondergrond. Voor de afweging van verschillende alternatieven is toen gebruik gemaakt van de voorgeschreven CE-afwegingsmethodiek, waarbij milieuaspecten, risico's en kosten worden afgewogen. Uit de afweging kwam de opslag van productiewater in lege gasvelden van Twente als meest gunstig alternatief naar voren. De milieueffecten van een waterzuivering zijn aanzienlijk groter dan van waterinjectie, zodat de voorkeur uitgaat naar waterinjectie, mits er geen risico is voor de veiligheid en gezondheid. Dit alternatief is door de NAM nader uitgewerkt en toegepast.

Best Beschikbare Techniek voor verwerking van productiewater

Deze bevinding is in lijn met de praktijk, waarbij waterinjectie wereldwijd wordt toegepast als standaard manier om productiewater te verwerken. In juni van 2019 is er door de EU een Best Beschikbare Techniek voor verwerking van productiewater vastgesteld⁷. Hierbij is in hoofdstuk 15.3 een voorkeursvolgorde voor de verwerking van productiewater aangegeven, die in lijn is met de bevindingen in bovengenoemde onderzoeken:

- 1) Minimaliseren van de hoeveelheid productiewater, bijvoorbeeld door het herinjecteren;
- 2) Herinjecteren tijdens de productiefase via een hiervoor bestemde injectieput;
- 3) Behandelen van water door het verwijderen van stoffen zodat de waterkwaliteit voldoet aan lozingsnormen.

Vergunning NAM voor waterinjectie, met voorwaarde van herafweging

Na beoordeling door het Staatstoezicht op de Mijnen (SodM) heeft destijds de provincie Overijssel als bevoegd gezag NAM de benodigde waterinjectievergunningen verleend, met daarin opgenomen de voorwaarde dat, iedere 6 jaar vanaf de start van de oliewinning, getoetst dient te worden of waterinjectie nog steeds de meest geschikte verwerkingsmethode is. Sinds de invoering van de wet algemene bepaling omgevingsrecht (Wabo) in 2010 is de rol van bevoegd gezag voor de waterinjectievergunning ondergebracht bij de Minister van Economische Zaken (EZ).

Vergunningsvoorwaarde waterinjectie

In de vergunning staat vermeld dat de vergunninghouder NAM moet rapporteren over (vergunningsconditie):

- a) *Uitgebreide evaluatie van de waterinjectie activiteiten en de effecten daarvan op de boven het reservoir liggende afsluitende lagen*
- b) *Onderzoek conform de CE methodiek of gelijkwaardig, of het injecteren van injectiewater dat vrij komt bij de productie van olie, nog steeds de meest geschikte verwijderingsmethode is.*
- c) *Een onderzoek naar de mogelijkheid om de hoeveelheid gebruikte hulpstoffen verder te minimaliseren.*

⁷ Best Available Techniques Guidance Document on upstream hydrocarbon exploration and production
Final Guidance Document - Contract No. 070201/2015/706065/SER/ENV.F.1

2.2 Rapportage herafweging als onderdeel van vergunning

De NAM heeft in 2015, 2017 en 2021 ten behoeve van bovengenoemde voorwaarde a) verscheidene rapportages ingediend bij het Staatstoezicht op de Mijnen (SodM) als vertegenwoordiger van het bevoegd gezag, het Ministerie van Economische Zaken en Klimaat.

De beide uit te voeren onderzoeken die onder voorwaarden b) en c) vallen zijn onderwerp van de voorliggende rapportage, vergelijkbaar met de opzet van de eerdere herafweging in 2016. Het gebruik van hulpstoffen en de mogelijkheden om deze te minimaliseren wordt meegenomen als onderdeel van het veel bredere onderzoek naar alternatieven en varianten van verwerkingsmethoden. Ook worden de bevindingen uit onderzoeken van mogelijke risico's op aantasting van zoutlagen boven de opslagreservoirs en het risico op aardbevingen door waterinjectie meegenomen.

Aanvullende redenen voor de herafweging

De herafweging is zodoende in eerste instantie een verplichting vanuit de bestaande vergunning. Het is inmiddels duidelijk geworden, dat de leeg geproduceerde gasvelden in Twente op korte en langere termijn beperkingen oplevert voor de olieproductie. De afweging van mogelijke alternatieven is daarmee ook voor NAM van belang om toekomstige keuzes te maken.

Ministerie van Economische Zaken en Klimaat en Staatstoezicht op de Mijnen

Het Ministerie van Economische Zaken (EZK) is bevoegd gezag voor het verlenen van vergunningen in het kader van de Wabo en Mijnbouwwet. Zowel de winning van olie als het injecteren van water in leeg geproduceerde gasvelden vallen onder de Wabo alsmede onder de Mijnbouwwet. De NAM heeft in 2010 de vergunningsaanvragen ingediend bij het Ministerie van Economische Zaken.

Staatstoezicht op de Mijnen (SodM) controleert in hoeverre bij de uitvoering van mijnbouwactiviteiten de NAM zich houdt aan de algemene regels en de vergunningsvoorwaarden.

De rapportage van de herafweging wordt opgeleverd aan EZK.

2.3 Doel van de hernieuwde afweging

In deze herafweging wordt opnieuw getoetst of waterinjectie in Twente nog steeds de best mogelijke techniek is om het productiewater uit Schoonebeek te verwerken. De centrale vragen hierin zijn:

- Vindt het huidige proces van watertransport en -injectie plaats conform de oorspronkelijke verwachtingen?
- Welke nieuwe technische inzichten en technieken zijn beschikbaar gekomen en welke nieuwe ontwikkelingen?
- Worden er mogelijkheden voorzien om de hoeveelheid productiewater te verminderen? En zijn er mogelijkheden om de hoeveelheid hulpstoffen in het productiewater te beperken?
- Zijn er inmiddels elders andere reservoirs beschikbaar gekomen, of komen deze op termijn beschikbaar, die geschikt zijn voor waterinjectie?

2.4 Opzet van de herafweging, werkwijze

Overzicht kansrijke opties met behulp van de CE-afwegingsmethodiek

De herafweging wordt uitgevoerd in een aantal inhoudelijke stappen. Deze stappen komen overeen met de aanpak van de herafweging in 2016. Bij de herafweging in 2016 is een groot aantal partijen betrokken geweest om vast te stellen of dit een transparante en correcte aanpak is. De overeenstemming ten aanzien van de aanpak is noodzakelijk om te komen tot gedragen bevindingen. Met de resultaten van de herafweging 2016 is zowel het proces als de bevindingen akkoord bevonden door het ministerie van EZK. Voor de herafweging 2021 – 2022 wordt dezelfde aanpak toegepast.

Onderstaand wordt ingegaan op de inhoudelijke stappen.

CE-afwegingsmethodiek

In 2004 is een afwegingsmethodiek voor de verwerking van productiewater ontwikkeld door de industrie, de bevoegde gezagen en externe deskundigen.

Deze methodiek is verankerd in het Landelijk Afvalbeheerplan (LAP) en is er op gericht een transparante afweging tussen alternatieven met bovengrondse en ondergrondse componenten mogelijk te maken.

De methodiek staat bekend als CE afwegingsmethodiek, vernoemd naar CE Delft, de begeleiders van het ontwikkelproces.

De commissie voor de m.e.r. heeft de CE afwegingsmethode beoordeeld en geconcludeerd dat het geschikt is om toe te passen op de waterinjectie Twente⁸.

Inhoudelijke aanpak

Het onderzoek is verdeeld over de volgende blokken:

Huidige situatie en randvoorwaarden (onderwerp deze rapportage)

- Inventarisatie van waterinjectie in afgelopen jaren, verzamelen van de cijfers met betrekking tot hoeveelheid water, waterkwaliteit, injectie in putten, integriteit van de putten, drukopbouw in en om de putten, de lekkage in de watertransportleiding en andere mogelijke gebeurtenissen. Conclusie ten aanzien van de werkelijke versus verwachte impact.
- Het huidige beleidskader wordt doorgenomen om vast te stellen of en onder welke voorwaarden waterbehandeling dan wel waterinjectie kunnen worden toegestaan.
- Overzicht van de randvoorwaarden voor de oliewinning en ten aanzien van de oplossingsmogelijkheden. Dit betreft de samenstelling en hoeveelheid water, maar tevens de beschikbaarheid van zuiveringsmethodieken en geschiktheid van ondergrondse reservoirs.

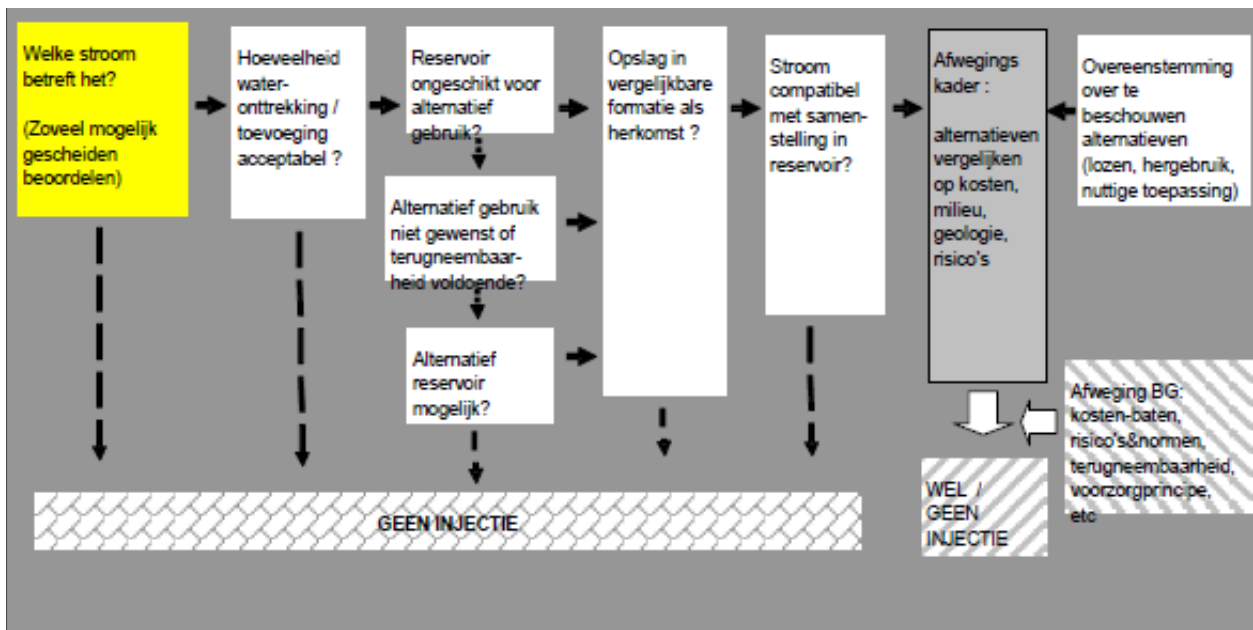
Selectie alternatieven (onderwerp deze rapportage)

- Mogelijke oplossingen. In eerste instantie wordt een uitgebreide lijst met opties samengesteld, waarin zo breed mogelijk alle mogelijkheden voor verwerking van productiewater, inclusief het beperken van de hoeveelheid productiewater en verminderen van mijnbouwstoffen, is meegenomen.
- Toetsing opties. De lange lijst wordt geclusterd naar de verschillende type oplossingen. Per type oplossing wordt met behulp van selectiecriteria de meest kansrijke optie bepaald.
- Uitwerken alternatieven. De geselecteerde opties worden in een groter detail uitgewerkt, en aangeduid als alternatieven (om aan te sluiten bij de m.e.r. methodiek). Daarbij worden optimalisaties meegenomen in de vorm van varianten bij de alternatieven.

⁸ Commissie m.e.r. advies Herafweging waterinjectie Twente, 2016

Toetsing van de alternatieven (onderwerp vervolgrapportage)

- De afweging. De CE afwegingsmethodiek plaatst de verschillende aspecten voor het maken van een keuze naast elkaar, zoals belasting van het milieu, risico's en kosten. De afweging is aangepast in het kader van al eerder door de Commissie voor de m.e.r. hierover gemaakte opmerkingen. Vanuit het maatschappelijk veld zijn hier ook reacties op gekomen. Tevens wordt bekeken in hoeverre het te ontwikkelen Landelijk Afvalbeheer Plan versie 3 (LAP-3) tot aanpassing zal leiden.
- CE afwegingskader, toetsing randvoorwaarden waterinjectie. Voor waterinjectie zijn er randvoorwaarden aan de waterstroom en de te gebruiken reservoirs. Indien aan beide voorwaarden wordt voldaan kan een waterstroom en reservoir in aanmerking komen om onderdeel uit te maken van de zogenaamde doelmatigheidstoets.
- CE afwegingskader, uitvoering doelmatigheidstoets. Voor alle alternatieven wordt het milieueffect in beeld gebracht. In de uitgebreide vorm gebeurt dit middels een Levens Cyclus Analyse (LCA). In dit onderzoek op hoofdlijnen wordt een beperkte vorm gehanteerd, waarbij de belangrijkste componenten worden benoemd. Daarnaast worden het risico op korte en lange termijn beschreven en de kosten benoemd.
- Vergelijking resultaten uit de toets. De bevindingen van de doelmatigheidstoets worden naast elkaar gezet en vergeleken. Er vindt geen classificatie van een totale score plaats, maar wel een vergelijk van de afzonderlijke scores.



Figuur 2.1 Stappenschema van de CE afwegingsmethodiek

De bovenstaande stappen leiden tot het gevraagde inzicht in de verschillende mogelijkheden voor de verwerking van productiewater, de te verwachten gevolgen bij deze keuzes en maakt daarmee een vergelijk mogelijk tussen verwerkingsmogelijkheden van productiewater.

3 Huidige situatie waterinjectie

3.1 Het oliewinningsproces

Bevindingen oliewinning Schoonebeek

Het oliereservoir Schoonebeek is geen groot homogeen reservoir, maar is door breukzones verdeeld in een aantal segmenten of blokken. De opwarming van het oliereservoir Schoonebeek vindt plaats door opwarming van deze verschillende blokken in de ondergrond. Sommige blokken staan onderling in contact, andere zijn geheel gescheiden door breukzones. In ieder blok komen één of meerdere stoominjectieputten en winputten voor. Sommige blokken in het reservoir zijn inmiddels meer opgewarmd dan andere, en uit sommige blokken is al meer olie gewonnen dan uit andere. De ondergrond is daarmee heterogeen, zodat een aansturing voor afzonderlijke blokken wenselijk is.

De injectiviteit (de mate waarin waterinjectie in het gesteente mogelijk is) van het oliereservoir is lager dan vooraf aangenomen. Hierdoor kan het reservoir minder stoom opnemen en warmt het reservoir langzamer op dan gepland. De maximaal gehanteerde injectiedruk bedraagt 40 bar. Om de opwarming te verbeteren wordt de stoom met deze maximale druk geïnjecteerd. Deze hogere druk wordt langer toegepast dan voorzien, om zoveel mogelijk warmte in het reservoir te brengen. Als gevolg van de hogere druk komt de stoom met hogere temperatuur in het reservoir en wordt de olie sterker verhit dan oorspronkelijk voorzien. De lagere injectiviteit van het reservoir leidt er toe dat er minder stoom wordt geïnjecteerd, het reservoir als geheel langzamer opwarmt maar ook door de hoge druk lokaal hoge temperaturen ontstaan.

H₂S-vorming in de ondergrond

De olie is zwavelhoudend en bij verhitting komt H₂S en wat CO₂ vrij. De mate waarin dit optreedt, is hoger gebleken dan verwacht. Er komt meer H₂S vrij dan verwacht bij de geplande stoomdruk en temperatuur. Daarnaast zorgt het langer aanhouden van de maximale injectiedruk tot hogere temperatuur van de olie, wat eveneens leidt tot meer H₂S-vorming. De toename van H₂S en CO₂ opgelost in water verhoogt de zuurgraad. De vorming van H₂S is irreversibel, zodat deze eenmaal gevormd ook wordt geproduceerd, zowel in gasvorm en opgelost in het oliewatermengsel.

H₂S is een corrosieve stof, die onder andere het staal van de leidingen kan aantasten. Bij de olieputten heeft op basis van deze bevindingen een aanpassing plaatsgevonden. Hier wordt nu zwavelwaterstofbinder (H₂S-binder) toegevoegd, om de buisleidingen en de Olie Behandelingsinstallatie (OBI) te beschermen.

Bij de winputten vindt monstername plaats om te bepalen hoeveel H₂S-binder aan het oliewatermengsel toegevoegd moet worden om afdoende bescherming aan de installaties te geven. Deze monstername varieert van put tot put op basis van het H₂S-gehalte.

Langere periode van oliewinning

Het winningsplan Schoonebeek olie voorziet in winning tot en met 2040. Echter het reservoir is langzamer opgewarmd dan voorzien. Daarnaast is de productie in 2016 ongeveer een jaar stil gelegd en daaropvolgend is het watertransport beperkt door een verkleinde diameter van de transportleiding. Hierdoor is de olieproductie vertraagd. De totale periode van oliewinning kan dan ook langer duren dan oorspronkelijk voorzien, wellicht tot circa 2050.

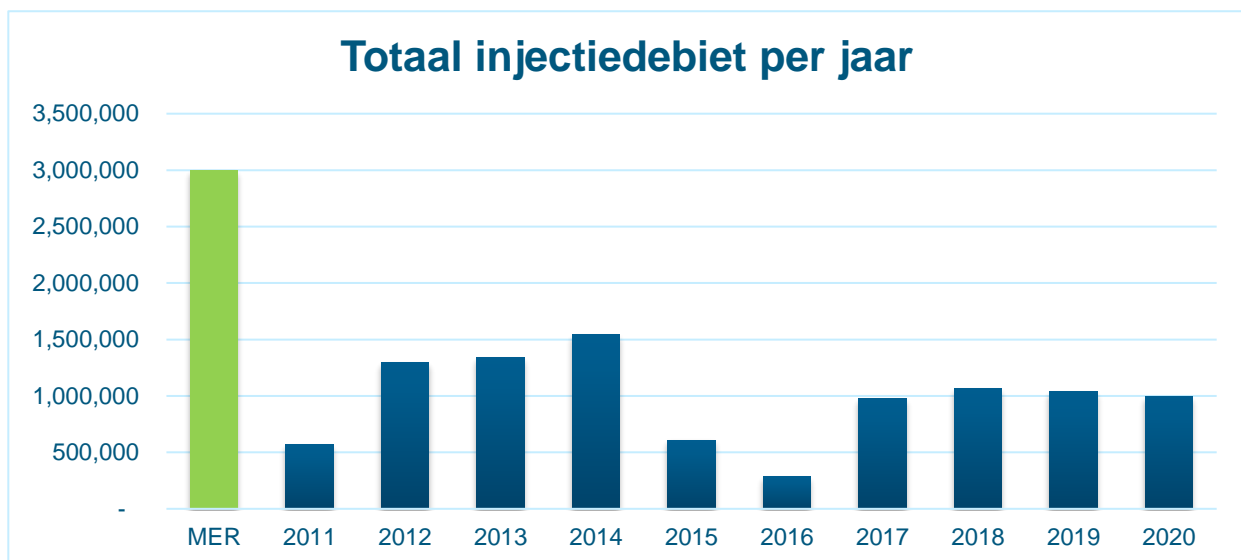
3.2 Verwerken van het productiewater

Afvoer en injectie productiewater

Sinds begin 2011 wordt door de NAM productiewater vanaf de oliewinning Schoonebeek per transportleiding naar Twente gebracht en daar met behulp van injectieputten in lege gasvelden geïnjecteerd. De injectie van het productiewater vindt plaats volgens een door SodM goedgekeurd Water Injectie Managementplan.

Totale hoeveelheid productiewater

De onderstaande figuur (Figuur 3.1) geeft de werkelijke hoeveelheid geïnjecteerd water per dag in de Twente-velden weer. De figuur toont aan dat de hoeveelheid geïnjecteerd water ruim onder het oorspronkelijk verwachte debiet van circa 3 miljoen m³ per jaar blijft. Vanaf de start in 2011 is een stijgende lijn in de hoeveelheid geïnjecteerd water zichtbaar tot ruim 1,5 miljoen m³ in 2016. Problemen met de transportleiding hebben er toe geleid dat in 2015 en 2016 aanzienlijk minder water kon worden aangevoerd en geïnjecteerd. Vanaf 2017 heeft alleen waterinjectie in het Rossum Weerselo veld plaatsgevonden. Er is hier een vrij constante hoeveelheid van circa 1 miljoen m³ geïnjecteerd, tot en met 2020. Dit komt overeen met gemiddeld iets minder dan 3.000 m³ waterinjectie per dag.



Figuur 3.1: Huidig injectiedebiet (blauw) en de oorspronkelijk verwachte gemiddelde debiet (groen).

Beschadiging in put ROW-2

Tijdens de onderhoudswerkzaamheden in de waterinjectieput ROW-2 is een breuk in de buitenbuis aangetroffen op korte afstand boven de productiepakking op een diepte van circa 1 km. De waterinjectie in deze put is gestaakt en de put is definitief afgesloten door middel van cement pluggen.

Meetgegevens verzameld tijdens de onderhoudswerkzaamheden alsmede de daaropvolgende afsluiting zijn geanalyseerd en in mei 2021 gerapporteerd aan SodM. Dit heeft geleid tot extra onderzoeksvragen en inspecties in put ROW-7 die op dezelfde locatie aanwezig is. In afwachting van dit onderzoek is injectieput ROW-7 gesloten. De overige putten (ROW-4 en ROW-5) zijn door SodM veilig bevonden en worden gebruikt voor waterinjectie.

Wanneer het onderzoek aan ROW-2 gereed is, kan de risicoanalyse voor waterinjectie geactualiseerd worden. Hangende deze analyses is het niet mogelijk om de ondergrondse risico's van de varianten met

elkaar te vergelijken. Pas nadat er meer duidelijkheid is over de oorzaak van de breuk, kan de herafweging afgerond worden.

NAM meldt hierover (www.nam.nl) verder:

“SodM heeft de NAM ook verzocht de monitoring van de andere actieve waterinjectieputten te intensiveren. Ook hier zal de NAM in afstemming met SodM gehoor aan geven. SodM zal daarnaast de waterinjectie op de andere actieve waterinjectieputten ROW-4 en ROW-5 de komende tijd extra controleren zodat deze veilig en verantwoord voortgezet kan worden.”

“SodM bevestigt de conclusie van de NAM dat er geen aanwijzingen zijn dat zich acuut gevaarlijke situaties hebben voorgedaan bij put ROW-2, of dat deze dreigen plaats te vinden bij de overige injectieputten in het Rossum-Weerselo veld.”

3.3 Samenstelling van het productiewater

Het productiewater is samengesteld uit de volgende deelstromen:

- Formatiewater, het van nature aanwezige water in het oliereservoir, dat mee wordt opgepompt;
- Condenswater, de geïnjecteerde en nadien gecondenseerde stoom die bij de winput terecht komt;
- Mijnbouwhulpstoffen, toegevoegd in de put, voor transport van het oliewatermengsel naar de OBI, in de OBI voor het scheidingsproces en in het productiewater om de afvoerleidingen en injectieputten te beschermen;
- Overige waterstromen, zoals olie-waswater uit het scheidingsproces.

Bij de start van de oliewinning is de deelstroom condenswater afwezig. In de loop van de tijd neemt deze echter toe naarmate er meer stoominjectie heeft plaatsgevonden en het condenswater naar de productieput wordt gezogen. Door de toename van de deelstroom condenswater, verandert de samenstelling van het productiewater. Dit is vooral zichtbaar in de afname van het zoutgehalte.

Tabel 3.1. Overzicht gemiddelde waterkwaliteit productiewater in 2020, vergeleken met 2015 en de vergunde waarde

Parameter	Eenheid	Verwachte maximale waarde (vergunning 2010)	Gemiddelde gemeten waarde	
			2015	2020
pH (eenheden)	-	4 – 9	6,5	5,9
Temperatuur	°C	50	33	34
Total Dissolved Solids	mg/l	200.000	44.000	28.300
Total Suspended Solids	mg/l	100	37	29
Natrium (Na+)	mg/l	40.000	12.000	8.100
Magnesium (Mg ²⁺)	mg/l	2.500	420	280
Barium (Ba ²⁺)	mg/l	250	19	12
Arseen (As)	mg/l	0,025	0,01	<0,01
Kwik (Hg)	mg/l	0,005	<0,0001	<0,001
Zwavelwaterstof (H ₂ S) ¹	mg/l	15	1,4	5
IJzer (totaal Fe ²⁺ en Fe ³⁺)	mg/l	50	7,9	10
Kalium (K+)	mg/l	1.000	120	120
Strontium (Sr ²⁺)	mg/l	2500	250	180
Chloride (Cl ⁻)	mg/l	90.000	23.000	16.000
Sulfaat (SO ₄ ²⁻)	mg/l	50	<19	<10
Bicarbonaat (HCO ₃ ⁻)	mg/l	1000	710	210
Koolstofdioxide (CO ₂)	mg/l	500	595 ³	410
Zuurstof (O ₂)	mg/l	0,05	<0,01	<0,01
Olie en vetten	mg/l	100	13	22
Cadmium (Cd)	mg/l	0,25	<0,001	<0,001

Koper (Cu)	mg/l	1	<0,001	<0,01
Monoethylene Glycol (MEG)	mg/l	750	<200	<100
Diethylene Glycol (DEG)	mg/l	750	<200	<100
Triethylene Glycol (TEG)	mg/l	750	<200	<100
Ethylbenzeen (C ₈ H ₁₀)	mg/l	0,5	0,2	0,2
Tolueen (C ₆ H ₅ CH ₃)	mg/l	1	1,2 ³	1,1 ³
Waterreiniger ²	mg/l	100	0,005	Niet gebruikt
Zuurstofbinder ²	mg/l	50	niet gebruikt	Niet gebruikt
Anti-schuimmiddel ²	mg/l	0,13	niet gebruikt	Niet gebruikt
Chroom (Cr)	mg/l	0,25	<0,005	<0,005
Benzeen (C ₆ H ₆)	mg/l	5	1,5	1,3
Lood (Pb)	mg/l	2	<0,01	<0,01
Nikkel (Ni)	mg/l	0,5	<0,01	<0,01
Zink (Zn)	mg/l	7,5	0,02	<0,02
pH- regelaar ²	mg/l	0,28	niet aanwezig in injectiewater	Niet aanwezig in injectiewater
Biocide ²	mg/l	2,4	1,9	2,2
Anti-aanslagvloeistof ²	mg/l	0,24	niet aanwezig in injectiewater	Niet aanwezig in injectiewater
Anti-bariumsulfaataanslagvloeistof ²	mg/l	200	niet gebruikt	Niet gebruikt
Calcium (Ca ²⁺)	mg/l	8000	2000	1.400
Xylenen (C ₆ H ₄ C ₂ H ₆)	mg/l	1	0,5	0,56
Anti-corrosievloeistof ²	mg/l	200	65,6	53
Zwavelwaterstofbinder ²	mg/l	120	13,8	90
Emulsiebreker ²	mg/l	21	0,050	1,08

¹ Gemeten sulfide gehalte omgerekend naar H₂S.

² Concentraties van mijnbouwhulpstoffen zijn berekend op basis van verdeling coëfficiënten tussen olie en water

³ Gemeten concentratie overschrijdt de maximaal verwachte waarde

Te hoge toluen-waarden

Zoals in hoofdstuk 3.1 beschreven reageert het oliereservoir enigszins afwijkend ten opzichte van de oorspronkelijke verwachting tijdens de aanvraag van de vergunningen. Hierdoor is de operationele bandbreedte voor sommige parameters in de vergunning wat krap gedefinieerd. Dit geldt specifiek voor toluen, waarvoor al gedurende de gehele productieperiode blijkt dat deze regelmatig net boven de maximale waarde van de vergunning komt.

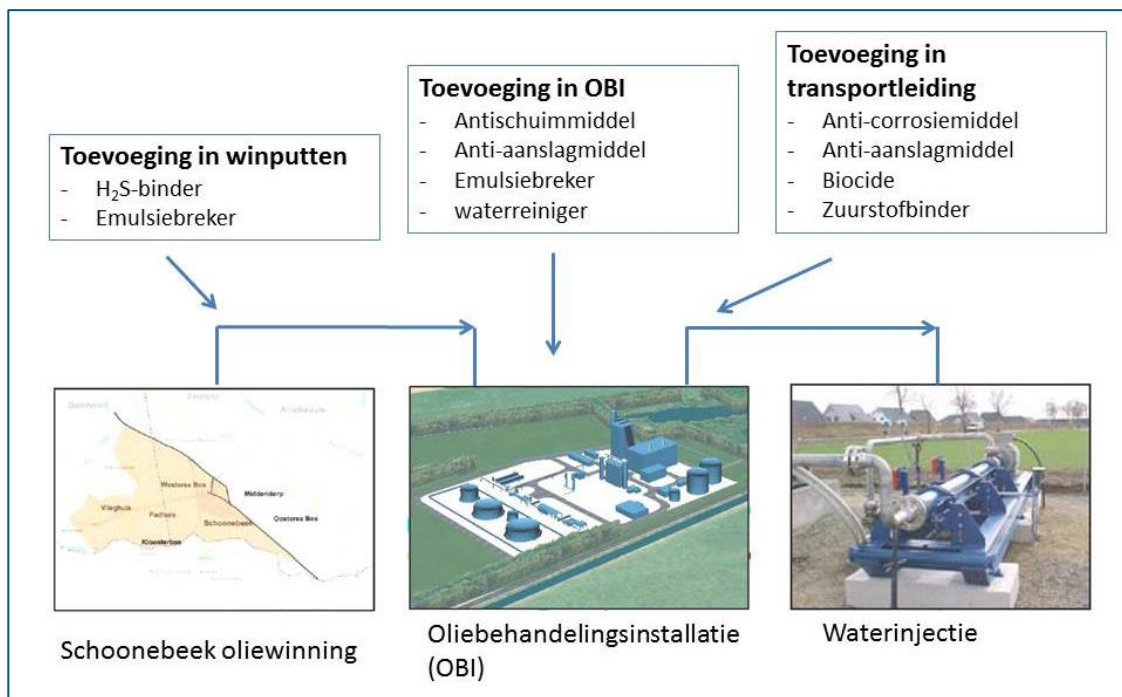
Hoewel deze overschrijding bij deze hoeveelheden ongevaarlijk is, hecht de NAM er sterk aan om strikt binnen de haar verleende vergunningen te werken. NAM heeft besloten eind 2021 de oliewinning opnieuw stop te zetten om te komen tot een aanpassing waardoor het toluengehalte weer onder de maximale waarde in de vergunning komt. Door dit besluit wordt er tijdelijk ook geen productiewater geïnjecteerd in Twente. Naar verwachting is het geconstateerde probleem eind januari opgelost.

Toelichting

Tolueen komt van nature in kleine hoeveelheden voor in olie- en gasvelden (dus ook bijvoorbeeld in het grotendeels lege Rossum gasveld). De gehalten aan toluen in productiewater of gasvelden zijn ongeveer 1 miljoenste van de totale hoeveelheid.

Toelichting mijnbouwhulpstoffen

Het onderstaande schema geeft aan waar de mijnbouwhulpstoffen worden toegevoegd, en welke stoffen het betreft.



Figuur 3.2: Overzicht mogelijke toevoeging van hulpstoffen bij de waterstromen richting waterinjectie in Twente. Onderstaand wordt beschreven welke hulpstoffen daadwerkelijk worden toegepast.

Uit tabel 3.1 blijkt dat een deel van de toegestane mijnbouwhulpstoffen niet worden gebruikt en zodoende niet aanwezig zijn in het productiewater. Onderstaand wordt een toelichting gegeven op de gebruikte mijnbouwhulpstoffen en de reden waarom deze worden toegepast.

Ter bescherming van de buisleidingen in het Schoonebeekveld wordt ter plaatse van de winputten de volgende mijnbouwhulpstof toegevoegd:

- Zwavelwaterstofbinder (H₂S-binder): het opgepompte mengsel van olie, water en gas bevat zwavelwaterstof (H₂S). De zwavelwaterstofbinder verwijdert het H₂S, om schade aan de pijpleidingen door dit corrosieve gas te voorkomen.
- Emulsiebreker: een emulsie is een stabiel mengsel van olie en water. Emulsiebreker heeft als doel de olie van het water te scheiden. Bij de locaties SCH1000 en SCH3100 wordt emulsiebreker geïnjecteerd op de oliewaterleiding naar de hoofdleiding richting de OBI. De emulsiebreker komt vrijwel volledig in de afgescheiden olie terecht en niet in het productiewater.

Ter ondersteuning van de oliewater scheiding bij de OBI worden de volgende mijnbouwhulpstoffen op de OBI toegevoegd:

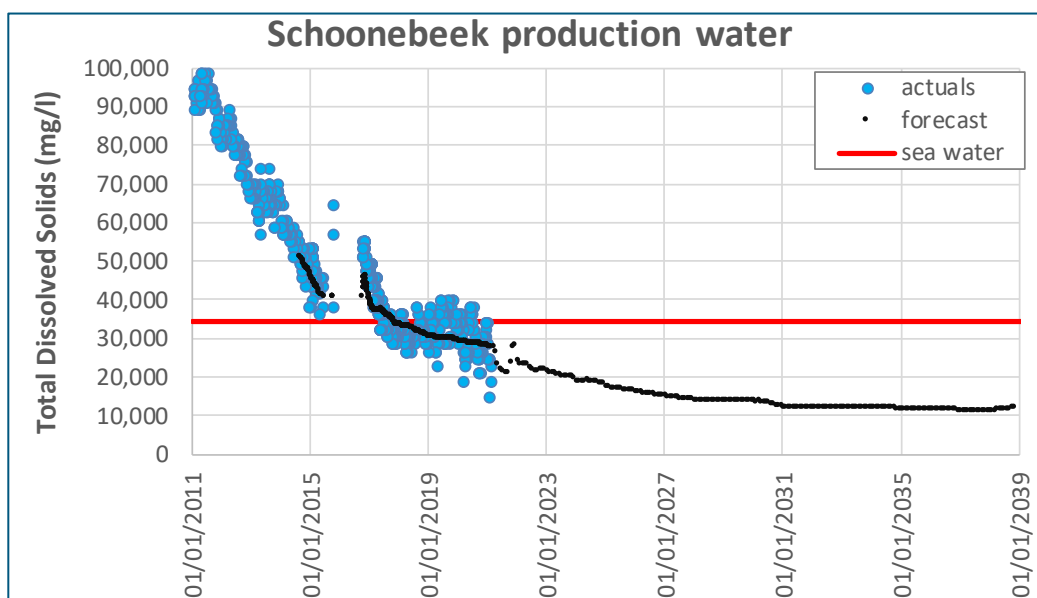
- Emulsiebreker: een emulsie is een stabiel mengsel van olie en water. Emulsiebreker heeft als doel de olie van het water te scheiden. In vaten waar olie en water van elkaar gescheiden worden kan een emulsie het scheidingsproces verstoren. Met een emulsiebreker wordt het olie/water mengsel gedestabiliseerd om zo een goede scheiding te bewerkstelligen.

Ter bescherming van de transportleiding naar de Twentevelden en de injectieputten in Twente worden de volgende mijnbouw hulpstoffen op de OBI continu toegevoegd:

- Anti-corrosievloeistof: verschillende onderdelen van het stoomsysteem en de injectie pijpleidingen dienen beschermd te worden tegen corrosie. De anti-corrosievloeistof hecht aan deze onderdelen en brengt daarmee een beschermende laag aan.
- Biocide: de aanwezigheid van bacteriën geeft aanleiding tot aangroei en corrosie in de waterinjectie pijpleiding. Biocide remt de bacteriegroei.

Zoutgehalte van het productiewater

Het oorspronkelijke zoutgehalte van de Schoonebeek waterproductie is zo'n 85.000 ppm (Total Dissolved Solids), maar door de injectie van gecondenseerd water (stoom) daalt dit gestaag en is thans zo'n 30.000 ppm TDS (Figuur 3.3.).



Figuur 3.3.: Zoutgehalte van het Schoonebeek productiewater⁹.

Andere (periodieke) waterstromen

In de OBI wordt de afgescheiden olie ontdaan van zoutresten door wassing met een geringe hoeveelheid ultra-puur water. Na afscheiding voegt dit waswater zich bij het productiewater.

In de waterinjectieputten in Twente wordt soms gebruik gemaakt van zoutzuur om de injectiviteit van het reservoir te vergroten.

Classificatie van het productiewater

Het injectiewater is een vorm van afvalwater en kan als zodanig worden getoetst aan internationale normen. Daaruit blijkt dat de samenstelling zodanig is dat het formeel als niet-gevaarlijk wordt geclassificeerd:

- Op basis van de zogenaamde Eural-toetsing wordt het injectiewater (met daarin de gemelde concentraties mijnbouw hulpstoffen) geclassificeerd als een 'niet gevaarlijke afvalstof'.

⁹ De Total Dissolved Solids zijn berekend op basis van de gemeten Chlorides gehalten. Laatstgenoemde wordt frequent gemeten, terwijl de TDS minder vaak wordt gemeten. De gebruikte conversie factor van 1.894 is het gemiddelde over de gecombineerde set.

- Toetsing heeft ook plaatsgevonden aan de Europese Verordening voor de classificatie van stoffen, de CLP Verordening (1272/2008/EG). Deze Europese Verordening classificeert het injectiewater als 'niet gevaarlijk'.

Is productiewater giftig?

In de media wordt de term giftig soms gebruikt. Er is geen formele classificatie voor de term giftig. Als algemene term geldt hiervoor dat alles wat gezondheidsproblemen kan opleveren, als giftig kan worden aangeduid. Daarbij wordt dan gemeld dat het sterk afhangt van de hoeveelheid en omstandigheden.

4 Mogelijkheden waterzuiveringstechnieken

Bij het onderzoek naar mogelijke alternatieven voor waterinjectie wordt vooral gekeken naar mogelijkheden van waterzuivering. Het toepassen van waterzuivering kan voorkomen dat waterinjectie nodig is, of het kan de hoeveelheid te injecteren water sterk beperken. De term waterzuivering geeft aan dat er schoon water wordt verkregen. Daarbij moet bedacht worden dat in de praktijk de waterzuivering vooral een waterscheiding is, wat leidt tot schoon water en tot een ingedikt restproduct. Zodoende is het bij de zoektocht naar een effectieve waterzuivering van belang tevens na te gaan in hoeverre het restproduct verwerkbaar is.

Het onderzoek naar geschikte waterzuiveringstechnieken, specifiek voor de samenstelling van het productiewater van de oliewinning Schoonebeek, is gestart in 2005 bij uitwerken van alternatieven voor het MER. Naderhand is bij de herafweging waterinjectie Twente in 2016 een overzicht gemaakt van mogelijk zuiveringstechnieken. Bij de notitie in 2018 is eveneens aandacht besteed aan mogelijke (nieuwe) inzichten van waterzuivering. In de aanloop naar de herafweging 2021 – 2022 is door NAM een brede marktconsultatie uitgevoerd naar mogelijke zuiveringstechnieken.

Bij de marktconsultatie is uitgegaan van de opgave 8.000 m³ productiewater per dag te zuiveren. Dit is de hoeveelheid productiewater in het geval de oliewinning maximaal produceert. In deze herafweging waterinjectie Twente wordt uitgegaan van de huidige hoeveelheid waterinjectie in Twente, wat neer komt op circa 3.000 m³ productiewater per dag.

De bevindingen van het marktonderzoek zijn uitgebreid beschreven in bijlage 1, Rapport marktconsultatie zuiveringstechnieken.

Bij de herafweging 2016 is gebleken dat waterzuivering bij drie verschillende alternatieven een onderdeel van de verwerkingsmethode is:

- Bij het alternatief waarbij in het productiewater vast en vloeibaar geheel gescheiden worden tot een vaste hoeveelheid zout en een zoetwaterstroom. Dit alternatief is aangeduid als kristallisatie, gebaseerd op de laatste stap die extra nodig is nadat de waterstroom sterk is ingedikt tot een brijn met hoge concentraties zouten.
- Bij het alternatief waarin een biologische zuivering plaatsvindt om te komen tot een zoutwaterstroom, die afgevoerd kan worden naar de zee.
- Bij het alternatief indikken, waarbij de waterstroom zoveel mogelijk wordt ingedikt tot een brijn met daarbij schoon zoetwater. De indikking kan de waterstroom reduceren tot 25% of zelfs 10% van het oorspronkelijk volume. De resterende ingedikte brijn wordt daarna alsnog geïnjecteerd. Doordat de ingedikte stroom veel kleiner is dan de oorspronkelijke waterstroom zijn er meer mogelijkheden voor de injectie.

4.1 Marktconsultatie

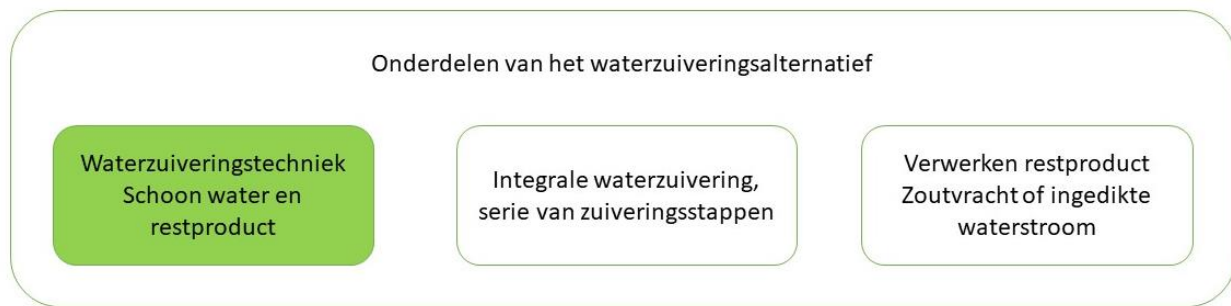
Het marktonderzoek heeft zich gericht op de mogelijkheden zo efficiënt mogelijk tot een indikking van de waterstroom te komen. Als tweede stap is daarna gekeken naar de mogelijkheden van kristallisatie. Het onderzoek heeft minder aandacht besteed aan de biologische zuivering, aangezien bij dit alternatief vooral de afvoer naar zee een belemmering bleek voor de haalbaarheid van het alternatief.

Bij de afwegingen van zuiveringstechnieken, is gekeken naar de hele cyclus van zuiveringsstappen die nodig is om te komen van het aangeleverde productiewater tot schoon zoetwater en een verwerkbaar restproduct. De onderzochte technieken worden zodoende op de eigen kwaliteit beschouwd maar ook op de mate waarin het in combinatie met andere technieken tot het gewenste resultaat leidt.

Voor het alternatief met een vast restproduct geldt dat dit restproduct door de verontreinigingen in het zout niet herbruikbaar is en dus moet worden afgevoerd naar een daarvoor geschikte plaats. Dit geeft kosten aan transport en zorgt er voor dat ergens een vrij groot zoutpakket komt te liggen. Verdere zuivering van het vaste restproduct tot puur zout is mogelijk door de verontreinigingen te verwijderen. Dit zal leiden tot een mogelijk herbruikbare hoeveelheid zout en een kleiner vast restproduct dat alsnog gestort moet worden.

Voor het alternatief met een vloeibaar ingedikte waterstroom geldt dat alsnog waterinjectie nodig is, waarbij het volume aanzienlijk kleiner is en de concentraties aanzienlijk hoger. Verschillende opties voor de verwerking van de ingedikte waterstroom worden behandeld in hoofdstuk 5. Dit hoofdstuk richt zich alleen op de zuiveringstechnieken.

De marktconsultatie is in eerste instantie gericht op kansrijke zuiveringstechnieken, zoals in het onderstaande schema weergegeven.



Figuur 4.1: Schematische onderdelen waterzuiveringsalternatief

In dit hoofdstuk wordt gekeken naar het groen aangegeven blok, waarin de zuiveringstechnieken centraal staan. In het volgende hoofdstuk wordt het meest kansrijke waterzuiveringsalternatief beschreven, bestaande uit een waterzuivering met meerdere stappen, voorzieningen zoals een locatie met leidingen om ingaande en uitgaande waterstromen te verbinden en een oplossing voor de verwerking van het restproduct.

Procedure

Bij de afronding van het onderzoek in 2016 is door het ministerie van Economische Zaken en Klimaat aan NAM gevraagd de ontwikkeling van nieuwe zuiveringstechnieken scherp in beeld te houden en daar waar mogelijk nieuwe, veelbelovende technieken te toetsen op (toekomstige) inzetbaarheid. Er waren geen aanwijzingen dat in 2016 technieken over het hoofd gezien zijn, maar er kunnen in de daaropvolgende jaren nieuwe technieken beschikbaar komen, die bij de volgende herafweging meegenomen dienen te worden.

De afgelopen jaren heeft NAM de volgende stappen ondernomen om nieuwe zuiveringstechnieken in beeld te hebben:

- Een brede uitvraag gedaan naar zowel bekende als naar minder bekende leveranciers (laatstgenoemden via de NAM-website);
- Een bijeenkomst georganiseerd voor alle geïnteresseerde leveranciers bij NAM, waarbij op detail besproken is wat de karakteristieken zijn van het productiewater en de eisen ten aanzien van het te lozen water en de restproducten;
- De input van de leveranciers is verzameld en door een externe partij getoetst op de toepasbaarheid.

De bijeenkomst heeft plaatsgevonden in 2019. Hierbij waren meerdere partijen vertegenwoordigd. Doel was om te komen tot zicht op een toepasbare zuiveringstechniek die voldeed aan de gestelde criteria. Indien daar zicht op is, zou een pilot zinvol zijn.

Overzicht ontvangen zuiveringstechnieken

De ontvangen zuiveringstechnieken zijn gepresenteerd in Tabel 4.1. De technieken zijn gecategoriseerd op type zuivering (bijv. TSS- of olie verwijdering). Ook is per techniek weergegeven welke leverancier de techniek kan leveren.

Tabel 4.1: Overzicht technologieën met bijbehorende mogelijke leverancier en behandelingstype.

Verdamping	Suez	Ontzouten
Ontharding met kalkmelk + ionenwisseling	Suez	Ontzouten/ontharden
ABX™	Nijhuis Saur Industries (Aquafortus Technologies Ltd)	Ontzouten
Keramische ultrafiltratie	Chemtron	Deeltjesverwijdering
Polymeer membraan ultrafiltratie	Pentair	Deeltjesverwijdering
Elektrocoagulatie	Morselt Waternet BV	Deeltjesverwijdering
Advanced Oxidation Technology	Paques	Oxidatie
FerSol	Ferr-tech	Oxidatie
Opticlear Diamond® technology	WaterIQ	Verwijdering van organische verbindingen
BIOX	O3 systems	Verwijdering van organische verbindingen
Bio-organische katalyse	E.H. GRRN Products for the Environment LTD	Verwijdering van organische verbindingen
Ontzouting met Isopropyl Alcohol (IPA)	Advanced Industrial Process B.V.	Ontzouten
Tempa Rossa	Suez (voorheen GE Water)	Totaalconcept; zero liquid discharge

In totaal zijn er 13 waterzuiveringstechnologieën beoordeeld. Er zijn hierbij tevens technologieën geïdentificeerd die ten tijde van de voorgaande studie in 2016 niet in de markt beschikbaar waren.

De aangedragen zuiveringstechnieken zijn beschouwd op de mate waarin ze ontwikkeld zijn en de mate waarin ze leiden tot een betere milieuscore, op de aspecten energieverbruik, gebruik chemicaliën en te verwerken restproduct. Onderstaand wordt op deze twee toetsen ingegaan.

4.2 Toetsing Technology Readiness Levels (TRL) en milieufactoren

Royal HaskoningDHV heeft de aangeleverde technieken beoordeeld op de mate waarin de techniek ontwikkeld is en reeds toegepast wordt. Dit wordt met de term Technology Readiness Level (TRL) aangeduid, waarvoor standaard 9 gradaties zijn gedefinieerd.

TRL is een soort meetlat in negen stappen waarop is af te lezen hoe ver een nieuwe techniek op weg is naar volwassenheid. De betekenis van de waarden is weergegeven in Tabel 4.2. Het laagste niveau TRL 1 betekent dat er fundamenteel onderzoek wordt gedaan naar de techniek en bij het hoogste niveau TRL 9 is de technologie voldoende bewezen in de markt.

Tabel 4.2: Indicatoren per TRL-waarde.

1	Basisprincipe geobserveerd
2	Technologisch concept geformuleerd
3	Experimentele proof of concept
4	Technologie is gevalideerd in het lab
5	Technologie is gevalideerd in relevante omgeving voor de techniek
6	Technologie is gedemonstreerd in relevante omgeving voor de techniek
7	Technologie prototype is gedemonstreerd in operationele omgeving (pilot)
8	Systeem is gekwalificeerd en compleet
9	Technologie is daadwerkelijk bewezen op grote schaal in operationele omgeving

Aan de hand van bovenstaande criteria wordt een eindcijfer gegeven aan de nieuwe technologieën. Technologieën die bewezen zijn krijgen een TRL 9. Deze technologieën zijn zodanig ver ontwikkeld dat NAM ze als alternatief kan meenemen in de heroverweging. Technologieën met een TRL 8 komen in de buurt van volwassenheid en zullen door de NAM in de gaten worden gehouden en bij een volgende overweging worden meegenomen. Technologieën met een TRL van 7 of lager zijn nog in de proeffase en zijn op korte termijn niet toepasbaar.

Toetsing TRL

- De technologieën zijn beoordeeld op hun inzetbaarheid door middel van een Technology Readiness Ranking.
- Er zijn 10 technologieën geclassificeerd met TRL 9. Voor deze technologieën kan op basis van ervaringen bij grootschalige toepassing de werking getoetst worden.
- Er zijn drie technologieën in de bandbreedte van TRL 4 tot en met 7. Hiervoor geldt dat de toetsing van functioneren alleen op theoretische basis, of op kleine laboratorium schaal kan plaatsvinden. Het is niet de verwachting dat deze technologieën al op korte termijn inzetbaar zijn.

4.3 Toetsing milieuscore

Naast de toetsing op de TRL heeft Royal HaskoningDHV tevens een toetsing gedaan op de milieufactoren, energieverbruik, gebruik chemicaliën en verwerking restproduct. Deze toetsing geeft een beeld of het mogelijk is tot een betere milieuscore te komen ten opzichte van de technieken gebruikt in de Herafweging 2016.

Bij het onderzoek in het kader van het MER in 2005 en de Herafweging in 2016 is gebleken dat de zuiveringsopties vooral tot meer milieueffecten leiden. Daarom is in eerste instantie gekeken of er zuiveringsmethodieken zijn die tot minder milieueffecten leiden. Voor de CE-afweging zal naderhand tevens

de mogelijke risico's en kosten in beeld gebracht moeten worden. Dit zal in het volgende deel van de Herafweging worden gerapporteerd.

Toetsing Milieufactoren

Alle zuiveringstechnieken zijn getoetst op gebruik van energie, benodigde chemicaliën en verwerking van het restproduct. Met geen van de technologieën zou er een significante impact zijn geweest ten tijde van de 2016 Herafweging, met uitzondering van één techniek.

Bijlage 1 geeft een overzicht van de milieueffecten bij de verschillende zuiveringstechnieken.

De enige besproken technologie die de uitkomsten van het LCA-rapport uit 2016 kan beïnvloeden is de ABX™ technologie van Nijhuis Saur Industries. Dit betreft een ontziltningstechniek waarvan het energieverbruik naar verwachting aanzienlijk lager ligt dan wat in 2016 is ingeschat. Wanneer deze technologie zich verder ontwikkelt, kan met een uitgebreidere evaluatie de daadwerkelijke impact van deze technologie bepaald worden.

4.4 Bevindingen marktconsultatie

De marktconsultatie geeft aan dat er nieuwe zuiveringstechnieken beschikbaar zijn, die voor de toekomst potentie hebben. Dit geldt specifiek voor de ABX™ technologie van Nijhuis Saur Industries. Om te komen tot duidelijkheid of deze daadwerkelijk inzetbaar zijn voor het productiewater, zal komende tijd nader onderzoek nodig zijn.

Voor de andere technologieën met hoge TRL geldt dat hier vooralsnog geen significant betere milieuscores worden verwacht dan de eerder bekeken technieken.

5 Mogelijkheden waterinjectie

Bij het MER in 2005 is aangegeven dat waterinjectie kan plaatsvinden in de leeg geproduceerde¹⁰ gasvelden. In de nabijheid van Schoonebeek waren toentertijd de gasvelden nog in productie. Daarom is gekozen voor transport van productiewater naar de leeggeproduceerde gasvelden van Twente.

De situatie in 2021 is afwijkend, doordat ook gasvelden nabij Schoonebeek inmiddels grotendeels zijn leeggeproduceerd. Deze kunnen daarom in de herafweging meegenomen worden, zoals ook al in de herafweging 2016 is gebeurd. Daarbij is tot de conclusie gekomen dat er voldoende capaciteit beschikbaar is nabij Schoonebeek om aanvullend op Twente waterinjectie toe te passen, of zelfs voor de gehele waterinjectie.

In het verlengde van de alternatieven, waarbij de waterstroom sterk ingedikt wordt, kan ook gekeken worden naar de mogelijkheden de ingedikte waterstroom te injecteren in de aquifer¹¹ van een deel van het oliereservoir. In dit hoofdstuk wordt deze mogelijkheid verder uitgewerkt. NAM heeft onderzoek gedaan naar de verschillende opties. De bevindingen zijn onderstaand weergegeven.

In hoofdstuk 5.1 wordt de aquifer van het Schoonebeek oliereservoir nader beschreven. Op basis van deze beschrijving wordt gekomen tot een aantal nader te beschouwen varianten in hoofdstuk 5.2. Hoofdstuk 5.3 gaat nader in op de waterstromen, zowel injectie als productie, voor deze varianten. Hoofdstuk 5.4 geeft de haalbaarheid van de varianten weer.

De voorkeursvariant wordt in hoofdstuk 8 uitgewerkt als onderdeel van het Circulair Alternatief.

5.1 Ruimtelijke beschrijving van het Bentheim aquifer

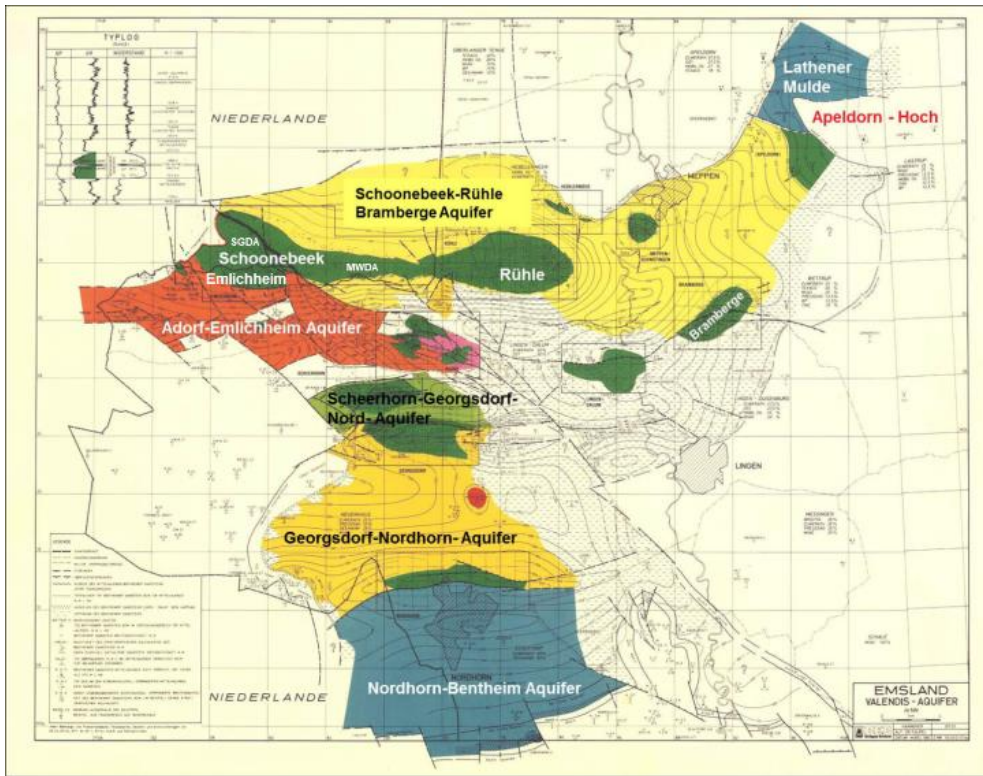
Om een geschikte injectiestrategie te vinden volgt hier een beschrijving van het gesteente, de olie- en waterhoudende delen en de landsgrenzen.

De Schoonebeek olieaccumulatie is gesitueerd in het Bentheim Zandsteen reservoir. Dit is een “shoreface sandstone”, en derhalve regionaal uitgestrekt (**Figuur 5.1**). Binnen het gehele zandsteenvoorkomen bevinden zich meerdere olieaccumulaties; deze olievelden hebben zich over de geologische tijd gevormd, en bevinden zich in de ondiepste delen van de structuur als gevolg van het dichtheidsverschil tussen water en olie. Beneden het olie-water contact is de zandsteenlaag gevuld met (zout) water, waaraan wordt gerefereerd als het aquifer.

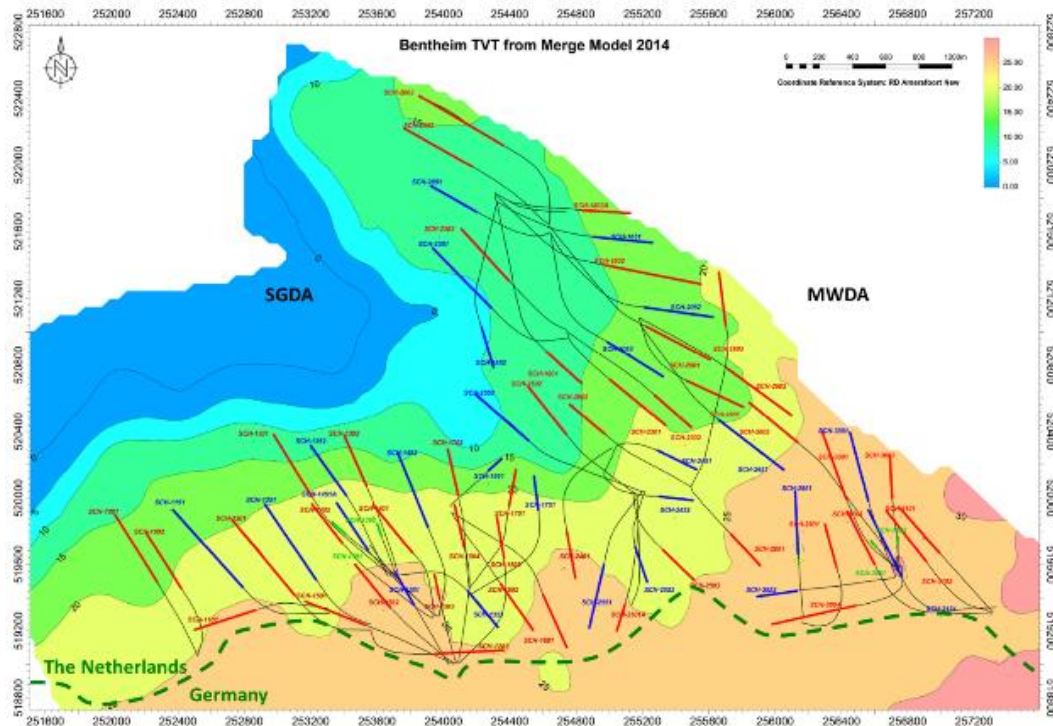
Naar het noorden toe wordt de zandsteenlaag steeds dunner en verdwijnt uiteindelijk, waarmee ook het Schoonebeek olieveld wordt begrensd. Aan de zuidkant wordt het Schoonebeek veld begrensd door de landsgrens met Duitsland; de zandsteen is hier zo'n 25 meter dik. Dezelfde olieaccumulatie strekt zich verder uit naar het zuiden, waar de naam Emlichheim olieveld gebruikt wordt.

¹⁰ Ook wel aangeduid in gedepleteerd

¹¹ Met aquifer wordt een watervoerende laag aangeduid



Figuur 5.1: Regionaal overzicht van de Bentheim zandsteen, met de olie accumulaties in donker groen, en de verschillende aquifer systemen in rood, geel, lichtgroen en blauw.



Figuur 5.2: Bentheim zandsteen dikte kaart voor de SGDA

Een lateraal uitgestrekte breuk loopt NW-SE door de gehele olieaccumulatie. Doordat het verticale verzet van de breuk aanzienlijk groter is dan de dikte van de zandsteenlaag, wordt de Bentheim Zandsteen hier verdeeld in twee hydraulisch geïsoleerde compartimenten (**Figuur 5.1**).

SGDA en Adorf-Emlichheim aquifer

De Schoonebeek olieaccumulatie ten westen van de breuk wordt begrensd aan de noordzijde door reservoir pinch-out (**Figuur 5.2**). Aan de zuidzijde strekt de olieaccumulatie zich uit over de landsgrens met Duitsland, en wordt deze het Emlichheim veld genoemd. Productie in Emlichheim schermst het Schoonebeek veld grotendeels af van het Adorf-Emlichheim aquifer, dat zich voornamelijk aan de Duitse kant van de grens bevindt, slechts een klein deel van de aquifer bevindt zich op Nederlands grondgebied ten westen van de Schoonebeek olie. De Schoonebeek accumulatie is voor primaire depletie afhankelijk van expansie van de koolwaterstoffen (bij verlaging van de druk) en wordt derhalve aangeduid als “Solution Gas Drive Area” (SGDA).

MWDA en Schoonebeek-Rühle Bramberge aquifer

Ook aan de oostkant strekt de Schoonebeek olieaccumulatie zich verder uit dan de landsgrenzen. Hier wordt de accumulatie het Rühle veld genoemd, dat wordt geëxploiteerd door ExxonMobil. De totale olieaccumulatie ten oosten van de breuk is verbonden met de uitgestrekte Schoonebeek-Rühle Bramberge aquifer, en wordt aangeduid als de “Main Water Drive Area”. De aquifer strekt zich uit tot ver in Duitsland en wordt ondieper naar het oosten toe. Met afnemende diepte neemt ook de sterkte van de caprock af; de reservoirdruk wordt begrensd bij het Apeldorn veld. Door waterinjectie in het Rühle veld is dit gehele Schoonebeek-Rühle Bramberge aquifer toegenomen in druk, ook het Nederlandse deel van het zandsteenreservoir. Door de hoge druk is aanvullende waterinjectie in het Nederlandse stuk van het Schoonebeek-Rühle Bramberge aquifer op dit moment niet mogelijk.

Dynamisch gedrag van Schoonebeek SGDA en het Adorf-Emlichheim aquifer

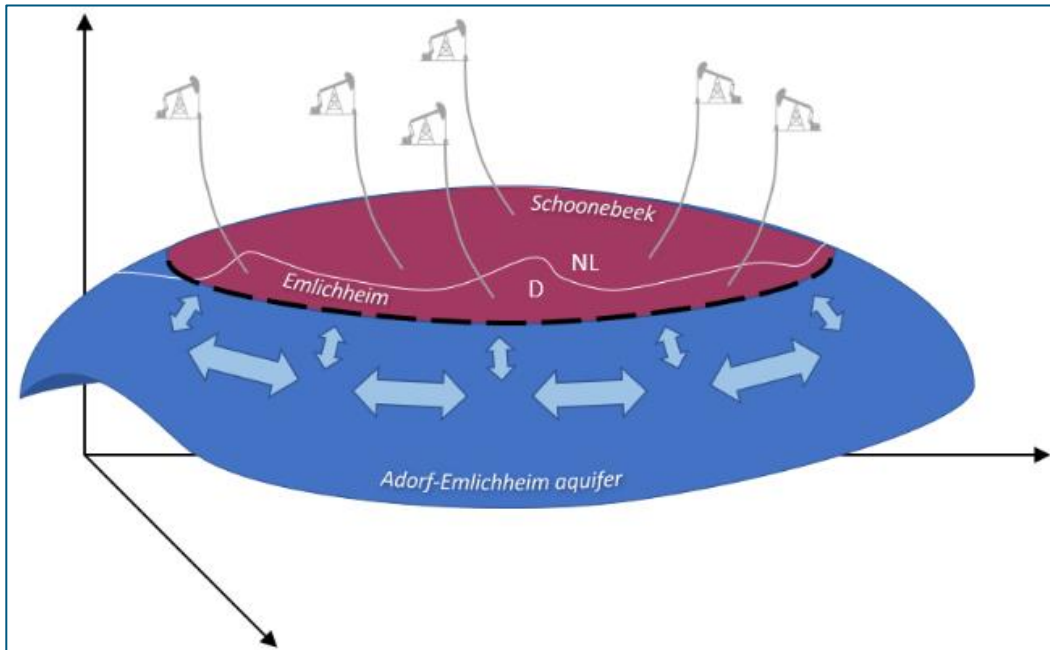
De Schoonebeek SGDA olie accumulatie maakt onderdeel uit van een groter dynamisch systeem¹² (schematische weergave in figuur 5.1), en kan niet worden bekeken in isolatie. Zoals hierboven beschreven strekt de westelijke olie-accumulatie (Schoonebeek SGDA) zich ten zuiden uit over de landsgrens, met een aangrenzende aquifer. Door de oliewinning is de druk in de olie accumulatie afgenomen ten aanzien van de initiële (hydraustatische) situatie. Hierdoor is een aquifer influx ontstaan de olie accumulatie in (de druk verlaging werkt door het aquifer in, waar het water expandeert).

De herontwikkeling van de Schoonebeek SGDA beoogt een relatief lage reservoir druk. Er is sinds 2011 zo'n 4 miljoen m³ meer geproduceerd uit de Schoonebeek SGDA (olie en water) dan geïnjecteerd (stoom, koud water equivalent). In Emlichheim waren gedurende deze periode de injectie en productie nagenoeg in balans.

De onderdruk is deels ondervangen door het ontstaan van stoomkamers: binnen de geopereerde range in reservoirdruk is het volume van water in de gas fase zo'n 30 tot 100 maal groter dan in de vloeistoffase. Toch lijkt er sprake van een netto vloeistof influx van Duitsland naar Nederland. De druk aan Duitse zijde is gezakt en de Duitse operator van Emlichheim rapporteert afnemende vloeistof instroom in zijn productie putten. In sommige putten kan het reservoir de vloeistof minder goed opdrukken omhoog de put in, om het zuigerhuis van de pomp te vullen (de zuiger wordt door de ja-knikkers bewogen). Het kan helpen om extra water te injecteren aan Duitse zijde. Dit water kan uiteindelijk ook weer naar Nederland stromen. Het resulterende dynamisch evenwicht voor het hele systeem is lastig exact te voorspellen. Mede hierdoor kent de grootte van de toekomstige netto vloeistof influx van Duitsland naar Nederland een mate van onzekerheid. Daarom is het mogelijk dat een circulair proces behalve een reststroom ingedikt water ook een netto reststroom aan zoet water genereert, zie **Figuur 8.3** rechterzijde. Een elegante oplossing zou

¹² Zoals te zien in **Figuur 5.1** bevinden zich nog enkele olie accumulaties in het zuid-oosten van het aquifer, maar deze worden hier buiten beschouwing gelaten (van relatief beperkte grootte en ze worden grofweg voidage neutraal geopereerd).

derhalve zijn om een ingedikte waterstroom uit Schoonebeek aan Duitse zijde te injecteren, teneinde deze oppervlakte stroom te minimaliseren/eliminieren.



Figuur 5.3: Schematische weergave van het dynamische systeem Schoonebeek SGDA, Emlicheim, en de aquifer.

5.2 Mogelijke varianten

De ingedikte waterstroom kan worden geïnjecteerd in de aquifer van het olieveld Schoonebeek, in de Bentheimer aquifer. De injectie van het ingedikte productiewater zal leiden tot een hogere druk in de aquifer. Het is echter niet wenselijk dat de druk in de aquifer in de loop van de tijd steeds verder oploopt. Zodoende is het van belang dat er een balans ontstaat tussen de hoeveelheid geïnjecteerd water en de hoeveelheid van het geproduceerde olie-water mengsel.

Door de injectie van ingedikt productiewater, ontstaat er een situatie dat er meer wordt geïnjecteerd dan geproduceerd, waardoor de druk zal oplopen. Dit kan worden gecompenseerd door meer te produceren (met nieuwe waterproductieputten). De extra productie leidt tot meer ingedikt productiewater, maar doordat hier een indikfactor geldt, zal bij voldoende toename van de productie er weer een balans ontstaan. Hiermee zal geleidelijk aan wel steeds meer zout worden terug gevoerd in de aquifer.

Er zijn drie mogelijke varianten voor waterinjectie in de aquifer:

- Variant 1 - Injectie van ingedikt water in de Schoonebeek-Rühle-Bramberge aquifer
- Variant 2 - Injectie van ingedikt water in de Emlicheim-Adorf aquifer
- Variant 3 - Injectie van ingedikt water in het Emlicheim Bentheim zandsteen aquifer

Voor deze drie varianten geldt dat er een balans in de waterstromen gevonden moet worden waardoor er geen drukopbouw in de ondergrond ontstaat.

Variante 1: Injectie van ingedikkt water in het Schoonebeek-Rühle-Bramberge aquifer

Bij deze variant vindt waterinjectie plaats in het aquifer ten noord-oosten van het herontwikkelde deel van het Schoonebeek olie veld, aan de andere kant van een hydraulisch scheidende breuk.

Het volume van dit aquifer (binnen de landsgrenzen) is aanzienlijk. De druk van het aquifer is echter zo'n 10 bar boven de initiële reservoirdruk, met name door over-injectie in de oostelijke extensie van de olie accumulatie (het Rühlermoor veld in Duitsland). Injectie van de (zoute) reststroom in het aquifer zal daarom gepaard moeten gaan met gebalanceerde productie van (minder zout) formatiewater elders uit het aquifer, teneinde verhoging van druk te voorkomen (een zogeheten productie-injectie doublet).

Op basis van modelresultaten lijkt het waarschijnlijk dat er ten minste 40 miljoen m³ kan worden opgeslagen in het Schoonebeek-Rühle-Bramberge aquifer: de gekozen model realisaties laten geen doorbraak zien van het ingedikte zoute water in de nieuw te boren productieputten, gelegen op 4 km afstand van de nieuwe injectie putten. Wel bestaat er binnen de geologische onzekerheid kans op een significante influx vanuit Duitsland, waardoor de injectie tot wel 20% lager kan liggen dan de productie.

Variante 2: Injectie van ingedikkt water in het Adorf-Emlichheim aquifer

Bij deze variant is een doublet geplaatst in het aquifer ten westen van het Schoonebeek olie veld, met injectie van ingedikkt (zout) water en productie van (minder zout) formatiewater. Door de geologische configuratie en de landsgrenzen blijkt dat injectie in de aquifer van Schoonebeek alleen mogelijk is in een klein gebied ten zuidwesten van het Schoonebeek olieveld. Omdat dit gebied zich dicht bij de oliewinningsputten bevindt dient het volume zo klein mogelijk gehouden te worden om negatieve invloed op de oliewinning te voorkomen.

Bij een groter injectievolume zou het injectiewater via de aquifer de grens met Duitsland passeren. Thans is dit juridische niet toegestaan. Het is niet uitgesloten dat het in de toekomst juridisch wel toegestaan wordt. Mogelijk kunnen hierover ook afspraken gemaakt worden met de Operator van het Emlichheim olieveld aan de andere kant van de grens. Variante 2 heeft nu echter alleen betrekking op waterinjectie in het Nederlandse deel van de aquifer.

Variante 3: Injectie van ingedikkt water in het Emlichheim veld

In Variante 3 wordt een aanname gedaan dat het juridisch mogelijk is om injectiewater via een pijpleiding naar Duitsland te exporteren en dat een commerciële overeenkomst gesloten kan worden met de Operator van het Emlichheim olieveld om dit water af te nemen en te injecteren in de Bentheim aquifer. Dit zou tevens de huidige influx vanuit Emlichheim compenseren. Bij brijn injectie op grotere afstand van het Schoonebeek olieveld wordt de kans op zoutwater doorbraak beperkt. In dit concept wordt uitgegaan van een factor 4 indikken. Hiermee wordt het te injecteren volume groter maar het energieverbruik aanzienlijk lager.

De belangrijkste nadelen zijn de juridische haalbaarheid en commerciële haalbaarheid. Het is de vraag of ingedikte brijn injectie bij een andere operator in Duitsland een robuuste lange termijn oplossing kan bieden.

Variante 4 en 5 hebben betrekking op waterinjectie in leeg geproduceerde gasvelden

Voor de ingedikte reststroom bestaat tevens de mogelijkheid het water te injecteren in de leeg geproduceerde gasvelden van Twente en Drenthe. In deze velden is sprake van een onderdruk, zodat injectie kan plaatsvinden totdat de oorspronkelijke druk wordt bereikt. Deze beide opties komen overeen met eerder beschreven alternatief 3 in de Herafweging 2016.

5.3 Herinjectie van ingedikt water in het aquifer

Beperkte efficiëntie van waterverplaatsingsproces

Het ligt in lijn der verwachting dat het aquifer zich niet 100% efficiënt laat vullen met ingedikt water. Het geïnjecteerde water kiest bij voorkeur het pad van de grootste drukgradient, direct richting de productieput. Hierdoor zal het ingedikte zoute water eerder doorbreken, waardoor er een verhoging van het zoutgehalte optreedt in het productiewater. Een complicerende factor voor de verplaatsing van aquifer water door ingedikt water is dat er ook diffusie¹³ plaats zal vinden.

Ter plaatse van de productieput zal zodoende een verlaging van het zoutgehalte optreden door de stoominjectie waarbij zoetwater de productieput bereikt en een verhoging van het zoutgehalte door de herinjectie van de ingedikte zoutwaterstroom.

Voor een inschatting van het netto resultaat van deze processen is gebruik gemaakt van reservoir simulatie modellen.

5.4 Haalbaarheid varianten

De drie varianten voor herinjectie in de aquifer van het oliereservoir zijn getoetst op technisch juridische en commerciële haalbaarheid. Tabel 5.3 laat de resultaten zien van deze afweging. De tabel laat zien dat variant 1 met herinjectie in Schoonebeek Oost mogelijk is, onder voorwaarde dat er geen juridische beperking zijn. Voor variant 2 kan geen balans tussen waterinjectie en productie worden verkregen door snelle doorbraak van het ingedikte water. Variant 3 is afhankelijk van de samenwerking met Duitsland, wat nog niet nader verkend is.

De twee varianten met herinjectie in bijna lege gasvelden komen overeen met een eerder beschreven alternatief in de Herafweging 2016 en zijn beide technisch, juridisch en commercieel haalbaar.

Op basis van deze afwegingen is gekozen variant 1 nader uit te werken in hoofdstuk 8.

Tabel 5.1: Overzicht van mogelijke circulaire concepten met indicatie van haalbaarheid

		Randvoorwaarden		
		Technisch	Juridisch	Commercieel
Variant 1	Injectie van ingedikt water in de Schoonebeek-Rühle-Bramberge aquifer	Haalbaar	Waarschijnlijk Haalbaar	Haalbaar
Variant 2	Injectie van ingedikt water in de Emlichheim-Adorf aquifer	Niet haalbaar	Mogelijk haalbaar	Haalbaar
Variant 3	Injectie van ingedikt water in het Emlichheim Bentheim zandsteen aquifer	Mogelijk haalbaar	Mogelijk haalbaar	Mogelijk haalbaar
Variant 4	Injectie van ingedikt water in het Rossum-Weerselo gasveld (Twente)	Haalbaar	Haalbaar	Haalbaar
Variant 5	Injectie van ingedikt water in Drenthe	Haalbaar	Haalbaar	Haalbaar

Elke opslagvariant die wordt geëvalueerd dient technisch, juridisch en commercieel haalbaar te zijn. Bij de technische haalbaarheid wordt getoetst of het beoogde reservoir (segment) beschikt over de juiste eigenschappen (zowel qua debieten als qua bergingvolume), en of door de waterinjectie de olieproductie

¹³ Bij diffusie mengen de zout- en watermoleculen en neemt het verschil in zoutconcentratie geleidelijk af. Bij advectie stromen de zoutmoleculen met het water mee.

niet (buitenproportioneel) negatief wordt beïnvloed. Commerciële en juridische haalbaarheid omvatten onder andere of er nog een meerjarig ontwikkeltraject doorlopen moet worden met eventueel een derde partij. Indien niet aan deze randvoorwaarden voldaan kan worden, dan is een volwaardige CE-afweging niet mogelijk.

Technisch:

Is er voldoende opslagcapaciteit in het reservoir voor ingedikt water?

Variant 2 is niet haalbaar omdat zelfs bij maximale indikking er voortijdig doorbraak zal optreden van ingedikt water. Variant 3 kan gezien worden als een optimalisatie van variant 1 en deze is mogelijk haalbaar afhankelijk van de behoefte en mogelijkheden van de Duitse Operator.

De andere varianten zijn technisch haalbaar (als er in voldoende mate ingedikt wordt).

Juridisch

Is injecteren in de aquifer (varianten 1 en 2) toegestaan?

Injecteren in de aquifer is thans niet vergund, maar wordt wel vergunbaar geacht.

Is injecteren toegestaan in een reservoir of aquifer dat boven initiële druk ligt (variant 1)?

In vigerende waterinjectievergunningen is dit niet toegestaan. Daarom ligt het in de lijn der verwachtingen dat de druk eerst omlaag zal moeten voordat injectie plaats kan vinden. Aangezien dit (lokaal) binnen afzienbare tijd technisch haalbaar lijkt kan deze variant als waarschijnlijk haalbaar geacht worden. Een vergunningsaanvraag hiertoe zal door het ministerie van EZK beoordeeld worden. Daartoe zal advies gevraagd worden aan SodM.

Is het toegestaan om ingedikt productiewater via de aquifer de grens met Duitsland te laten passeren (variant 2)?

Dit zou een oplossing kunnen zijn voor de technische beperkingen van variant 2. Thans is dit juridisch niet toegestaan, maar het is niet uitgesloten dat dit in de toekomst wel kan. Indien alleen injectie in het (beperkte) Nederlandse deel plaats vindt, is dit binnen de huidige wetgeving mogelijk haalbaar.

Is het toegestaan om ingedikt productiewater over de grens te transporteren met pijpleidingen? Dit is aan de orde bij variant 3.

Er is een onderscheid tussen de EU Kaderrichtlijn Water en de EU Afvalrichtlijn.

- Op grond van de Waterrichtlijn (zoals die in Duitse wetgeving is geïmplementeerd), moet het mogelijk zijn om toestemming te krijgen om water te injecteren als daarvoor een technische noodzaak bestaat (en die bestaat er aan Duitse kant).
- In Duitsland bestaat een vergelijkbaar regime als in Nederland, waarbij geproduceerd water mag worden geïnjecteerd in dezelfde geologische formatie als waaruit het afkomstig is.
- Productiewater dat naar Duitsland wordt getransporteerd moet onder het mijnbouwrecht-regime en binnen de contouren van de Kaderrichtlijn Water (en niet als afval) worden gekwalificeerd. Dit lijkt mogelijk voor onbehandeld productiewater. Wanneer dit water eerst verder ingedikt wordt ontstaat wellicht een andere situatie die in dit stadium moeilijk te beoordelen is.

Gezien het voorgaande wordt transport van ingedikt productiewater als mogelijk haalbaar beoordeeld.

Commercieel:

Is het mogelijk om een afname verplichting contractueel vast te leggen met de operator aan de Duitse zijde voor de resterende duur van de Schoonebeek oliewinning?

Momenteel is dit concept nog niet uitgewerkt met de Duitse Operator (Wintershall-DEA), daarom is niet zeker of dit contractueel voor komende 20 jaar mogelijk is (variant 3).

6 Uitgebreide lijst met opties

Er is bij het Herafweging in 2016 een overzicht opgesteld van alle denkbare opties voor de verwerking van het productiewater uit Schoonebeek. Deze lijst is bij de herafweging 2021 - 2022 als startpunt genomen. Er heeft een externe toetsing plaatsgevonden of er aanvullende opties toegevoegd moeten worden.

Hoofdstuk 6.1 geeft het overzicht van mogelijk opties en hoofdstuk 6.2 geeft de uitkomst van de (externe) toetsing op de compleetheid van de lijst. Hoofdstuk 6.3 beschrijft hoe gekomen wordt vanuit deze uitgebreide lijst tot een clustering waaruit de uit te werken en te toetsen alternatieven geselecteerd worden. De selectiecriteria worden in hoofdstuk 6.4 benoemd.

6.1 Samenstellen van de uitgebreide lijst met opties

Tijdens het opstellen van het MER in 2006 zijn verschillende opties voor de verwerking van productiewater benoemd. Royal HaskoningDHV en NAM hebben daarnaast in 2016 alle mogelijke aanvullende opties verkend. Hiervoor zijn marktpartijen benaderd en zijn betrokkenen uit de regio gevraagd mee te denken. Dit heeft geleid tot een uitgebreide lijst met opties. Een deel van de opties konden gezien worden als varianten, doordat ze sterk op elkaar leken, met kleine verschillen.

Tabel 6.1. Overzicht van de verwerkingsopties voor productiewater, geclusterd naar thema's

Thema 1 - Zuivering en lozing, zonder injectie van reststroom
Zuivering op OBI van zout en hulpstoffen en lozing zoet water op oppervlaktewater. Hergebruik schoon zout.
Zuivering op OBI van zout en hulpstoffen en lozing zoet water op oppervlaktewater. Afvoer vervuild zout.
Retour Nieuwater. Zuivering gevolgd door hergebruik water en afvoer van vervuild zout.
Zuivering op OBI, transport naar rietvelden en lozing zout water bij Eems-gebied
Zuivering op OBI, transport en directe lozing zout water bij Eemsgebied (zonder rietvelden)
Zuivering op OBI, transport naar derde in het noorden voor transport en lozing zout water
Thema 2 – Zuivering met injectie van reststroom in reservoirs
Retour Nieuwater. Zuivering gevolgd door hergebruik 2000 m ³ /d en injectie van 6000 m ³ /d brijn in Drenthe of Twente.
Zuivering op OBI gevolgd door lozing 6000 m ³ /d en injectie van 2000 m ³ /d brijn in Drenthe of Twente
Zuivering op OBI gevolgd door lozing 6000 m ³ /d en injectie van 2000 m ³ /d brijn terug in olieveld Schoonebeek West.
Thema 3 – injectie van het volledige watervolume
Waterinjectie alleen in Twentevelden (Pipe in Pipe)
Waterinjectie alleen in Twentevelden (Pipe in Pipe + nieuwe pijpleiding)
Waterinjectie in het gasveld Schoonebeek Gas
Waterinjectie terug in Olieveld Schoonebeek
Waterinjectie in Twentevelden (Pipe in Pipe + nieuwe pijpleiding), gevolgd door ZO Drenthevelden
Waterinjectie gelijktijdig in Twentevelden (Pipe-in-pipe) en in ZO Drenthevelden
Waterinjectie in de ZO Drenthevelden
Waterinjectie in de Drenthe- en kleine Groningenvelden
Waterinjectie in Borgsweer (Groningenveld)
Thema 4 - Overige opties
Zuivering op OBI, Transport naar Waddenzee
Zuivering op OBI, Transport naar Noordzee, West Nederland

Afname via Afvalbeheerbedrijf (Andaver of ATM in Zeeland of CMF in Velsen)
Zuivering op OBI, transport van schoon zout naar Zoutfabriek in Drenthe, Overijssel of Friesland
Afname via RWZI/AWZI of industriepark (Europark, Emmtec bv) met of zonder voorzuivering
Zuivering op OBI en injectie in Schoonebeek Oost
Zuivering op OBI en injectie in Emlichheim, Duitsland
Transport via Pijpleiding naar Ruhlemoor, Duitsland en injectie in potentieel Exxon waterinjectieproject
Injectie in aquifers
Zoutcavernes

6.2 Toetsing lijst met opties door EMI Twente in 2021

Het selectieproces om van een groot aantal opties via de beschreven thema's te komen tot een beperkt aantal te toetsen alternatieven, is uitgevoerd conform de selectieprocedure in 2016. De selectieprocedure is in 2016 getoetst door een externe partij, de TU Delft. TU Delft bevestigde in 2016 in haar contraexpertise dat hiermee een logische keuze van alternatieven is gemaakt:

“aangezien van elk van de 3 Thema's de beste optie is gekozen. De shortlist bestaat dus uit duidelijk van elkaar verschillende opties.”

NAM heeft EMI Twente¹⁴ gevraagd een kwalitatieve analyse op te stellen van beschikbare technieken voor de behandeling van het productiewater¹⁵. De rapportage is opgenomen in bijlage 2. Hierin zijn drie onderdelen besproken:

- Toetsing van de voorgestelde opties in 2016 en update in 2018
- Ontwikkeling van nieuwe zuiveringstechnologieën (zie hoofdstuk 4)
- Uitwerking van het Circulair alternatief (zie hoofdstuk 8)

Voor dit hoofdstuk zijn de bevindingen van het eerste onderdeel van belang.

Conclusie ten aanzien van de beschreven opties en selecties

De rapportage concludeert:

“Voor zover ons bekend bevat de rapportage van Royal HaskoningDHV uit 2016 alle relevante en haalbare opties die tot dan toe bekend waren voor de zuivering van productiewater van het Schoonebeek veld. De criteria die gebruikt zijn om tot de beste optie te komen binnen elke categorie zijn logisch en verklaarbaar. Daarnaast is de evaluatie van de technieken adequaat gedocumenteerd. Het merendeel van de voorgestelde technologieën als onderdeel van de alternatieven zijn bewezen technologieën, op een enkele uitzondering daar gelaten. De afgelopen jaren zijn er diverse ontwikkelingen geweest, o.a. in het veld van keramische membranen en elektrolyse.”

¹⁴ EMI Twente voert gezamenlijk onderzoek uit, met en voor industriële partijen op het gebied van membraanwetenschap en -technologie. Het beoogt een brug te slaan tussen academisch onderzoek en industriële behoeften. EMI Twente is onderdeel van het Membrane Science and Technology cluster, een cluster van zeven academische onderzoeksgroepen die actief zijn op alle relevante membraangebieden. EMI Twente is actief in vrijwel elk belangrijk relevant membraangebied en heeft een diverse reeks expertises, waaronder de ontwikkeling van polymere, anorganische en hybride membranen, transportverschijnselen en procesontwerp.

¹⁵ EMI Twente, 2021, Verwerking productiewater Schoonebeek, Evaluatie behandelingsstrategieën uit de rapportage van Royal HaskoningDHV, 2016

Aandachtspunten uit het onderzoek

“Na screening van alle rapportages en notities vallen de volgende zaken op:

1. *Energie (elektriciteit en stoom) en productie van chemicaliën en mijnbouw hulpstoffen hebben een grote impact op veel van de categorieën van de levenscyclusanalyse.*
2. *Het ontwikkelen van een proces om zuiver zout te verkrijgen is kostbaar in economische en energetische zin. Bovendien is de markt voor het verkregen zout beperkt en zal het hoogstwaarschijnlijk als vaste stof moeten worden verwijderd.*
3. *Vanuit de principes van circulariteit is het voorgestelde concept van Gert Colenbrander interessant, echter is nadere uitwerking van dit concept nodig om het productiewater als voeding voor de UPWF te gebruiken.”*

Het voorstel van onafhankelijk adviseur Gert Colenbrander, zoals onder punt 3 genoemd, is naderhand verder uitgewerkt als het Circulair Alternatief (zie ook hoofdstuk 8).

Toetsing DyVar technologie door SUSTER¹⁶

SUSTER heeft een toetsing uitgevoerd op de DyVaR technologie, die tijdens de herafweging 2016 naar voren is gebracht als een mogelijke efficiënte techniek voor de waterzuivering (zie bijlage 3). Voor zover bekend zijn er geen nieuwe ontwikkelingen ten aanzien van de DyVaR techniek, zodat de toetsing heeft plaatsgevonden op de bekende informatie uit 2016. SUSTER concludeert:

“De energiekosten van de DyVaR operatie zoals vermeld in het CE Delft LCA rapport uit 2016 blijkt goed overeen te komen met gangbare efficiënties en kosten voor mechanische dampcompressie (MVC).

“Zonder zoutkristallisatie komt de DyVaR techniek overeen met reeds bestaande MVC technieken met hogere TRL. De DyVaR-technologie biedt in onze ogen dan ook geen toegevoegde waarde ten opzichte van deze bestaande technieken wanneer zout niet wordt gekristalliseerd.”

6.3 Beschrijving toetsingscriteria en betekenis scores

Bij de afweging tussen verschillende opties is het van belang dat hierin opties uit verschillende oplossingsrichtingen met elkaar worden vergeleken, om zicht te krijgen op de volle breedte van de keuzes en de gevolgen van de keuzes. Het is daarmee van belang het selectieproces zodanig in te richten dat daadwerkelijk verschillende oplossingsrichtingen getoetst kunnen worden.

Clusteren van de opties in groepen van vergelijkbare concepten en een restgroep

Om vanuit de uitgebreide lijst een beperkte lijst van verschillende oplossingsrichtingen te krijgen, is gebruik gemaakt van clustering naar type oplossing. Met een geforceerde brede spreiding in verschillende clusters wordt voorkomen dat de beste opties allemaal in 1 cluster vallen. Zo wordt het mogelijk om aan de hand van de spreiding de consequenties van totaal verschillende concepten via de CE-afwegingsmethode inzichtelijk te maken.

Op voorhand is duidelijk dat er geen mogelijkheden bekend zijn, waarbij oliewinning plaatsvindt zonder productiewater. Tevens is het duidelijk dat het productiewater na afscheiding van de olie nog teveel stoffen bevat om direct geloosd te worden op oppervlaktewater of zee. Het productiewater zal dus ofwel teruggebracht moeten worden in de ondergrond, ofwel gezuiverd. Een combinatie van beide is uiteraard eveneens mogelijk.

¹⁶ Suster BV, onafhankelijke R&D contractor die samenwerkt met de onderzoeksgroep Duurzame Procestechologie van de Universiteit Twente en voor dit project prof. Boelo Schuur, hoogleraar Scheidingstechnologie binnen deze eenheid, inhuurt als consultant

De verschillende verwerkingsopties zijn daarom op te delen in drie thema's. De drie thema's zijn:

Thema 1: Zuivering met lozing op oppervlaktewater, zonder injectie

Binnen dit thema wordt het productiewater gezuiverd. Er vindt geen injectie plaats. Bij zuivering ontstaat een schone waterstroom en een reststroom van geconcentreerde stoffen. De verschillende opties hebben betrekking op de schone waterstroom, die geloosd kan worden op oppervlaktewater of kan worden hergebruikt voor stoomproductie. De reststroom moet afgevoerd worden voor permanente bovengrondse opslag of is wellicht herbruikbaar.

Thema 2: Zuivering met lozing op zee

Binnen dit thema vindt biologische zuivering plaats van het productiewater waarna het zoute water wordt geloosd op zee.

Thema 3: Zuivering met lozing op oppervlaktewater, met injectie van de reststroom

Binnen dit thema wordt het productiewater gescheiden in een schone waterstroom en een geconcentreerde afvalwaterstroom. De schone waterstroom kan hergebruikt worden voor de stoominjectie of geloosd op het oppervlaktewater. De geconcentreerde afvalwaterstroom heeft een kleiner volume en kan opgeslagen worden in de meest geschikte lege gasvelden.

Thema 4: Injectie van het volledige volume productiewater, eventueel met voorzuivering

Injectie kan plaatsvinden in o.a. de Twentevelden, in de velden in Zuidoost Drenthe, in de overige Drenthe velden of in Borgsweer (Groningenveld). Een combinatie van deze velden is uiteraard ook mogelijk. Hierbij kan gedeeltelijke zuivering plaatsvinden om alle bodemvreemde stoffen (toegevoegde mijnbouw hulpstoffen) uit het injectiewater te verwijderen.

6.4 Selectiecriteria

Er is een lijst met criteria ontwikkeld bij de herafweging 2016, waarmee gekomen wordt tot een korte lijst met kansrijke opties. Bij de criteria wordt benoemd welke aspecten nadrukkelijk bekeken worden en mede bepalend zijn. Opties kunnen hierbij afvallen indien ze technisch niet haalbaar zijn of indien een optie beleidsmatig of wettelijk niet is toegestaan. Verder helpen de criteria om te komen tot een voorkeurslijst.

Veilig en gezond

Voor alle opties geldt als uitgangspunt dat ze veilig moeten kunnen worden uitgevoerd en dat de gezondheid van bewoners in de regio en het milieu niet in gevaar mogen komen. Opties die hier niet aan voldoen vallen direct af.

Technisch – mogelijk uitsluitend criterium

In deze fase van de herafweging, de selectie van alternatieven binnen de uitgebreide lijst voor de beperkte lijst, is de technische toets in sterke mate bepalend of een goed idee ook daadwerkelijk uitvoerbaar is. De opties dienen robuust te zijn, zodat gedurende een lange periode van circa 25 jaar en met mogelijke variatie in de hoeveelheid en samenstelling van het productiewater, de verwerking van het productiewater steeds doorgang kan vinden. Bij de voorgestelde opties wordt gekeken naar:

- Technische haalbaarheid en uitvoerbaarheid;
- Geschiktheid als robuuste oplossing (dat wil zeggen bestand tegen veranderingen in het productieproces, zodat voorkomen kan worden dat de productie opnieuw stilgelegd moet worden om aanpassingen aan de installatie te doen, geen experimentele technologie, wel hoge bedrijfszekerheid en goede procesbeheersing);
- Geschiktheid als langdurige oplossing (geschikt voor het totale watervolume, de gehele periode en er wordt voldaan aan de waterkwaliteitseisen);

- Bij waterinjectie opties, de geschiktheid van reservoirs in de diepe ondergrond.

Planning

De periode tot realisatie van de opties verschilt vanwege onder meer de tijd die benodigd is voor ontwerp, aanbesteding, vergunningaanvragen en bouw. Bij de selectie worden op basis van dit criterium geen opties uitgesloten.

Beleid – mogelijk uitsluitende criterium

De verschillende opties dienen binnen het bestaande wettelijk en beleidsmatig kader te passen. Een niet vergunbare oplossing valt af, aangezien de optie om deze reden niet realiseerbaar is. Daarnaast is het voor sommige onderdelen in een optie nodig gebruik te maken van land van derden, waarvoor toestemming vereist is. Tot slot wordt een inschatting gemaakt hoe een oplossing zich verhoudt tot lokale beleidsambities en of dit tot vergaande aanpassingen in de oplossing of doorlooptijd gaat leiden.

- Vergunbaar (wettelijk en beleidsmatig);
- Aansluitend op lokale beleidsambities;
- Gebruik van terrein en grond mogelijk (ruimtelijke ordening).

Financieel

Aanpassingen kosten geld, zodat financiële haalbaarheid een belangrijk criterium is. Echter, bij de selectie voor de beperkte lijst worden op basis van dit financiële criterium geen opties uitgesloten, mede door de relatief grote onzekerheden die er in deze fase nog zijn ten aanzien van de hoogte van de kosten. Voor de bepaling van de kosten moeten zowel de aanlegfase (kapitaalslasten) als de kosten in de operationele fase (bedrijfsvoering) berekend worden. Daarnaast kan het gebruik van bijna leeg geproduceerde gasvelden en bestaande pijpleidingen er toe leiden dat minder of geen gas kan worden geproduceerd, wat als kostenpost wordt meegerekend. Bij de CE afweging zullen de kosten van de geselecteerde opties in groter detail worden uitgewerkt.

- Kosten (aanlegkosten en operationele kosten);
- Verloren of verminderde olie- en aardgasopbrengsten.

Milieu

Milieueffecten kunnen optreden bij normale bedrijfsvoering en bij calamiteiten. Onder dit specifieke 'Milieu' criterium wordt gekeken naar de normale bedrijfsvoering. Eventuele effecten bij calamiteiten worden besproken bij het criterium 'Risico', onderstaand.

De CE afwegingsmethode maakt gebruik van een LCA (Levenscyclus analyse) waarmee een breed spectrum aan milieuaspecten in beeld wordt gebracht. Daarmee kunnen de verschillende opties onderling vergeleken worden. Bij de toetsing binnen elk van de clusters van de uitgebreide lijst wordt slechts kwalitatief aangegeven welke opties naar verwachting tot meer of minder milieueffecten zullen leiden. Dit is mogelijk omdat er binnen clusters sprake is van vergelijkbare concepten.

- Milieueffecten bij normale bedrijfsvoering (energieverbruik, emissies naar bodem, water en lucht, geluid, effect op natuur, gebruik hulpstoffen, vergravingschade)

Risico

Het criterium risico geeft een indicatie van ongewenste situaties die kunnen optreden. Dit criterium wordt veel verder uitgewerkt bij de beperkte lijst opties in de nog uit te voeren toetsing met de CE-methodiek. Op hoofdlijnen is hier al wel een aanduiding voor te geven. Er wordt zowel gekeken naar risico's op korte termijn (gedurende de operationele fase) als op lange termijn, waarbij voor de lange termijn een periode

tot ruim na afronding van de operationele fase en afsluiting van de putten wordt bedoeld. Er is specifiek gekeken naar mogelijke risico's voor mens en milieu gerelateerd aan:

- Aardbevingen;
- Lekkage pijpleiding;
- Lekkage uit reservoir via afdekkend gesteente of injectieput;
- Vervuiling / lekkage reststoffen uit stortplaats;
- Ongelukken tijdens transport;
- Activiteiten in kwetsbare gebieden (o.a. Natura2000-gebieden);
- Verontreiniging oppervlaktewater / zee.

7 Selectie van te toetsen alternatieven

In hoofdstuk 6 is een lijst met alle mogelijke opties beschreven. De opties zijn vervolgens geclusterd naar thema's. Per thema wordt gekeken welke optie het meest kansrijk is. Dat wordt dan als alternatief uitgewerkt. Een alternatief kan weer meerdere varianten hebben.

In dit hoofdstuk worden per thema de meest kansrijke opties bepaald. Daarvoor zijn de opties getoetst op de eerder beschreven criteria. De selectie zelf heeft eerder plaatsgevonden bij de Herafweging 2016 en de resultaten zijn hier overgenomen (zie bijlage 4). Onderstaand wordt per thema's beschreven welke optie als alternatief wordt uitgewerkt en getoetst.

7.1 Thema 1 – Zuiveren en lozen in biosfeer

Thema 1 – Zuivering van productiewater en lozing in de biosfeer (oppervlakte water / zee), zonder injectie van reststroom

Dit thema heeft betrekking op de verschillende opties waarbij het productiewater niet meer in de diepe ondergrond wordt geïnjecteerd, maar wordt (voor)gezuiverd en daarna geloosd of hergebruikt.

Binnen dit thema wordt onderscheid gemaakt in twee typen oplossingen:

- Opties om water te zuiveren en schoon zoet water te lozen op oppervlaktewater of te hergebruiken.
- Opties om water te zuiveren van mijnbouw hulpstoffen en enkele andere omgevingsvreemde stoffen en het schone zoute water daarna te lozen op de zee;

Lozing van schoon zoet water op oppervlaktewater of hergebruik met zout als restproduct

Hier zijn eveneens drie opties waarbij het productiewater geheel gezuiverd wordt, met als resultaat schoon zoet water en een grote hoeveelheid zout restmateriaal:

1. De waterzuivering kan worden gecombineerd met de bestaande waterzuivering voor ultra-puur water van NieuWater in Emmen. Het productiewater kan dan als puur water weer gebruikt worden voor stoomproductie, waarmee een retourstroom ontstaat naar het reservoir. Het aanpassen van de huidige waterzuivering is echter technisch moeilijk, omdat deze is geoptimaliseerd in de samenwerking met de bestaande Rioolwaterzuiveringsinstallatie (RWZI).
2. Nieuwbouw ter plaatse van de OBI is makkelijker te realiseren dan een combinatie met de bestaande zuivering door NieuWater. Met betrekking tot een dergelijke nieuwbouw zijn er 2 opties, afhankelijk van het restproduct:
 - a. Zuivering van het restproduct tot schoon, gemengd zout;
 - b. Geen zuivering van het restproduct met oplevering van vervuild zout.

Lozing van schoon zout water op zee

Er zijn drie opties waarbij waterlozing op zee plaatsvindt. Het productiewater zal gezuiverd worden en als zout water via een transportleiding naar een lozingspunt in het noorden worden gebracht. Lozing kan plaatsvinden op verschillende locaties, zoals de Eemshaven of op de Eems.

Optie : Afvoer productiewater naar open zee

Als variant voor de lozing van schoon zout water op de Eems, kan het productiewater worden afgevoerd naar open zee. Deze optie is interessant indien niet kan worden voldaan aan de lozingseisen van Rijkswaterstaat met betrekking tot de lozing op de Eems, maar wel aan de waterkwaliteitseisen voor lozing op zee. Het is mogelijk een nieuwe watertransportleiding aan te leggen naar een binnenhaven,

zoals bijvoorbeeld Ems bij Meppen. Hier vandaan kan het productiewater worden verladen op een binnenvaart tanker en afgevoerd naar zee.

7.2 Thema 2 – Zuiveren en injectie geconcentreerde waterstroom

Thema 2 – Zuivering en lozing van schoon zoet water op oppervlaktewater, dan wel hergebruik voor stoominjectie, met injectie van geconcentreerde reststroom

In dit thema zijn de verschillende opties opgenomen waar het productiewater wordt gescheiden in verschillende stromen. Er ontstaat een schone waterstroom, die, na verdere zuiveringsstappen in de Ultra-Puur Water fabriek van NieuWater, kan worden hergebruikt voor stoominjectie of meteen geloosd wordt op het oppervlaktewater. Er wordt gekeken naar zuivering van toegevoegde stoffen tot het huidige vergunningsniveau of tot het technisch laagst haalbare niveau. Daarbij ontstaat een geconcentreerde reststroom met kleiner volume, die wordt geïnjecteerd in geschikte velden.

Er zijn drie opties benoemd, met verschillen in de mate en wijze van waterzuivering.

1. Er is een optie bekeken waarbij de waterzuivering plaatsvindt bij NieuWater, in combinatie met de bestaande zuivering.
2. Er zijn verder twee opties gedefinieerd waarbij een nieuwe waterzuivering gebouwd wordt ter plaatse van de OBI.
 - a. Een optie waarbij een beperkte reststroom met hogere concentraties (brijn) wordt geïnjecteerd in een van de bestaande waterinjectielocaties.
 - b. Een optie waarbij een beperkte reststroom met hogere concentraties (brijn) weer in het Schoonebeek oliereservoir kan worden teruggebracht. Het blijkt dat dit om veel redenen technisch een erg moeilijke oplossing is, mede omdat als gevolg hiervan de druk in het oliereservoir snel toeneemt (zie hoofdstuk 8).

Nieuwe technieken

Een mogelijke nieuwe biologische zuiveringstechniek maakt gebruik van een combinatie van planten, schimmels en bacteriën. Hiervoor zijn echter nog grootschalige testen nodig om aan te tonen dat de juiste combinatie effectief kan zijn voor de specifieke samenstelling van het productiewater en stabiel kan worden bedreven.

7.3 Thema 3 – Waterinjectie

Thema 3 – injectie van het volledige water volume, eventueel met beperkte zuivering

Bij alle opties wordt ook gekeken naar zuivering van toegevoegde stoffen tot het huidige vergunningsniveau of tot het technisch laagst haalbare niveau. Het zout blijft achter in het injectiewater, waardoor het niet bruikbaar is voor stoomproductie. Binnen dit thema wordt onderscheid gemaakt in drie clusters.

Injectie op andere locaties buiten de Twente-locaties

In dit cluster worden opties besproken waarbij injectie buiten Twente plaatsvindt. Potentieel realiseerbare opties voor waterinjectie bevinden zich in oude, kleine gasvelden in Drenthe en Groningen. In Drenthe wordt onderscheid gemaakt tussen de velden in de directe omgeving van Schoonebeek (Zuidoost Drenthe) en de overige Drenthevelden. Bij de Groningenvelden is ook nog speciaal gekeken naar de mogelijkheid om aan te sluiten bij de bestaande waterinjectie in Borgsweer, dat een onderdeel is van het grote Groningen veld.

7.4 Thema 4 – Overige opties

Thema 4 – Overige opties

Dit zijn de opties waarvan in een vroeg stadium duidelijk werd dat deze hoogstwaarschijnlijk niet haalbaar zijn. Dat komt mede doordat een deel van de opties afhankelijk is van samenwerking met derden, partijen die uiteindelijk geen mogelijkheden zien of nadrukkelijk geen samenwerking wensen.

Samenwerking Duitsland – mogelijk op termijn kansrijk

Bij de samenwerking met Duitsland staat nog een vraagteken. Het Schoonebeek olieveld bevindt zich voor een groot deel op Duits grondgebied. Ook in Duitsland wordt olie gewonnen en wordt productiewater verwerkt en geïnjecteerd in de diepe ondergrond. Er zijn verkennende gesprekken om na te gaan of productiewater vanuit Nederland inzetbaar is in Duitsland. Dit kan mogelijk interessant zijn voor de bedrijfsvoering van de producenten in Duitsland. De gesprekken hebben onder meer betrekking op:

- Vergunning-technische condities, waaronder productiewater (als afvalwater) over de grens naar Duitsland mag worden getransporteerd;
- Leveringscondities tussen de betrokken bedrijven, met betrekking tot afhankelijkheden en commerciële afspraken.

Samenwerking derden – vooralsnog niet kansrijk

Er zijn gesprekken gevoerd met meerdere partijen over mogelijke verwerking van productiewater door derden, waaronder vertegenwoordigers van de zout producerende en verwerkende industrie. Voor de verwerking door deze industrie zijn twee opties verkend;

- Overdracht van het ongezuiverde of gezuiverde productiewater met als doel dit in te voeden in de zoutwinningsketen en er een bruikbaar product van te maken, zoals keukenzout of strooizout
- Het indikken van productiewater tot vast zout en dit in te brengen in oude zoutcavernes om deze te stabiliseren.

De verkenning heeft er toe geleid dat vanuit de industrie de onderstaande randvoorwaarden zijn gesteld.

Overdracht van productiewater als pekelsout voor zoutproductie

De zoutindustrie wint momenteel pekelsout uit een zoutlaag (Overijssel) of zoutpilaar (Groningen) waarbij het zout in deze voorkomens zeer zuiver en van hoge kwaliteit is. Dit pekelsout vergt weinig tot geen bewerking om er bijvoorbeeld tafelsout van een hoge kwaliteit van te maken. Het gevolg hiervan is dat alleen productiewater dat aan een vergelijkbare kwaliteit voldoet, zonder risico van verontreiniging, bruikbaar kan zijn. Daarbij komt dat het zoute productiewater van Schoonebeek nog veel minder zout is dan het eigen pekelsout uit de cavernes, wat de efficiëntie van zoutproductie sterk vermindert. Indien dit niet mogelijk is, zal verzadiging in cavernes moeten plaatsvinden. Ook vanwege de grote hoeveelheid productiewater zal er een afhankelijkheid ontstaan tussen het aanleveren van productiewater en het verwerken bij de industrie, wat als een aanvullend risico wordt gezien. Door deze omstandigheden ziet de industrie de beschikbaarheid van zout productiewater uit Schoonebeek niet als een interessante optie.

Gebruik als strooizout

Van de totale jaarlijkse hoeveelheid geproduceerd zout in Nederland, ongeveer 4 tot 5 miljoen ton zout, wordt ongeveer 100 duizend ton per jaar aan industrieel strooizout benut. Het productiewater van Schoonebeek bevat initieel ook ongeveer 70 duizend ton per jaar. In verband met effecten op het milieu heeft Rijkswaterstaat strenge kwaliteitseisen opgesteld voor strooizout. Het strooizout dient voor 97% uit zuivere NaCl te bestaan. Met behulp van meerdere zuiveringsstappen kan 65% van het geproduceerde zout tot NaCl worden gezuiverd. Hierbij dient rekening gehouden te worden met de kans op ongewenste kwaliteitsvariëaties. Dit leidt tot aanvullende zoutopslag en een strikte kwaliteitscorrectie. De huidige

strooizoutproducenten kunnen in de huidige situatie aan de vraag voldoen, waardoor eigenlijk geen marktvraag is naar extra Schoonebeek strooizout. Het ongebruikte zout is verder niet verkoopbaar en zal dan moeten worden opgeslagen.

Indikken Schoonebeek water tot vast zout en gebruik voor stabilisatie van cavernes

Sommige van de oude zoutcavernes in Twente zijn instabiel of dreigen op langere termijn instabiel te worden. Met instabiliteit van een caveerne wordt bedoeld dat het bovenliggende gesteente in de caveerne kan storten, waarbij de instortingszone zich geleidelijk naar boven verplaatst. Zodra de instortingen het maaiveld bereikt hebben, kan dit leiden tot verzakkingen of zelfs zinkgaten.

Er is in de regio groot belang om instorting van oude cavernes te voorkomen. Stabilisatie van de caveerne met een alternatieve vulstof is beter voor het milieu en de omgeving mits er bij het vullen geen nieuwe onaanvaardbare milieueffecten optreden. De vulstof die voldoet moet dan in de caveerne worden gebracht, waar het zodanig aangebracht wordt dat het een zekere sterkte gaat krijgen en het gewicht van het bovenliggende gesteente kan dragen. De reeds aanwezige pekkel heeft dat dragende vermogen niet en bij instorting wordt pekkel tussen de brokstukken door uit de caveerne geperst.

Het zoute productiewater van Schoonebeek is vergelijkbaar met onverzadigde pekkel en heeft net als pekkel geen enkele sterkte of dragend vermogen. Hiervoor moet het Schoonebeek zout tot kristallen omgevormd worden. De kristallen moeten in de caveerne gebracht kunnen worden en de vereiste dragende functie krijgen, voordat dit als een succesvol alternatief kan worden gezien. De draagkracht van Schoonebeek kristalzout in cavernes is nog niet aangetoond.

7.5 Vaststellen alternatieven per thema

Uitwerking van geselecteerde opties in alternatieven

In het kader van de Herafweging 2021 – 2022 is uitgegaan van dezelfde selectie van alternatieven als bij de Herafweging 2016, met aanpassingen in de geselecteerde alternatieven, gebaseerd op voortschrijdende inzichten. Onderstaand wordt dit toegelicht.

Thema 1 – zuiveren en lozen in biosfeer leidt tot twee alternatieven, die beide zijn uitgewerkt. De alternatieven komen overeen met de gekozen alternatieven in 2016, echter met aanpassing van de waterkwaliteit. Zoals uit tabel 3.1 blijkt, zal rekening moeten worden gehouden met vooral enigszins aangepast zoutgehalte (van 44.000 mg/l in 2015 naar 28.300 mg/l in 2020).

- Alternatief 1 – waterzuivering tot schoon zoet water en een vast restproduct (conform 2016)
- Alternatief 2 – waterzuivering tot schoon zout water en lozing op zee (conform 2016)

Thema 2 – zuiveren en injectie geconcentreerde waterstroom. Hierbij wordt de optie gekozen waarbij de ingedikte reststroom wordt herinjecteerd in de aquifer van het oliereservoir. Het onderzoek zoals gepresenteerd in hoofdstuk 5 geeft aan hoe dit technisch mogelijk kan worden gemaakt.

- Alternatief 3 – waterzuivering tot schoon zoet water en een geconcentreerde reststroom (een aangepast alternatief, het Circulair alternatief, zie hoofdstuk 8)

Thema 3 – waterinjectie in Drenthevelden. De selectie is hier aangepast waarbij de waterinjectie volledig in Drenthe zal plaatsvinden, nabij Schoonebeek. De bevindingen met betrekking tot het gebruik van mijnbouwhulpstoffen, is wederom onderdeel van dit alternatief.

- Alternatief 4 – Waterinjectie in Drenthe met varianten (aangepast mijnbouwhulpstoffen, putselectie)

Thema 4 – overige opties. Bij deze opties geldt dat vooral het overleg over mogelijke samenwerking met de olieproducenten in Duitsland nog onvoldoende waarborg heeft opgeleverd om tot een toetsbaar alternatief te leiden.

- Geen alternatief

8 Uitwerking Circulair alternatief

Thema 2, waterzuivering tot een stroom schoon zoetwater en een ingedikte reststroom, is de afgelopen jaren geïdentificeerd als een thema waar met technische optimalisaties tot een beter alternatief kan worden gekomen. Daarbij wordt gekeken naar drie aspecten, de benodigde waterzuivering, het benutten van schoon water en het lokaal herinjecteren van de ingedikte waterstroom.

Ten aanzien van de waterzuivering blijkt inmiddels dat de membraantechnologie verder ontwikkeld is, zodat deze technologie nu kan worden ingezet als onderdeel van het Circulair Alternatief.

Circulair alternatief – onderdeel waterzuivering

Een eerste versie van de waterzuivering is uitgewerkt door Gert Colenbrander op verzoek van de lokale belangengroep Stichting Stop Afvalwater Twente. Daarbij is een waterzuiveringsoptie geselecteerd dat zo goed mogelijk in staat is onderdeel uit te maken van een integraal toepasbaar alternatief. De waterzuivering van het alternatief is nader uitgewerkt door de waterzuiveringsexperts van EMI Twente en Suster en geoptimaliseerd door Royal HaskoningDHV. De waterzuivering levert naast schoon water voor hergebruik (stoominjectie) een sterk ingedikte reststroom op, die alsnog verwerkt moet worden.

Voor de waterzuivering is uiteraard een locatie nodig, installaties, pijpleidingen voor de aanvoer en afvoer van waterstromen en faciliteiten voor onder meer benodigde elektriciteit. Deze aspecten zijn door NAM uitgewerkt, zodanig dat het geheel aansluit op de bestaande componenten van de oliewinning.

Circulair alternatief – benutten schoon zoetwater voor circulaire water gebruik

Bij de huidige methode van oliewinning wordt netto water onttrokken aan het oppervlaktewatersysteem. Voor het produceren van stoom wordt gebruik gemaakt van ultrapuur water afkomstig van het effluent van de waterzuivering Emmen. Dit water wordt in de vorm van stoom in het oliereservoir geïnjecteerd. Vervolgens wordt het netto grotendeels weer geproduceerd (opgemengd met het zoute formatiewater) en daarna in de Twentevelden geïnjecteerd. Hiermee wordt jaarlijks circa 1 miljoen m³ oppervlaktewater aan het watersysteem onttrokken. In perioden van hoge neerslag is dat een gunstige ontwikkeling, maar in tijden van droogten is het minder gunstig. Dit aspect is in de ontwerpfase afgestemd met het waterschap en beoordeeld in het MER van 2006. De conclusie was indertijd dat een dergelijke aanpassing van het watersysteem geen significante negatieve gevolgen heeft.

Inmiddels is de vraag geopperd of het toch niet mogelijk is een alternatief te ontwikkelen waarbij het productiewater wordt gezuiverd en vervolgens als bron kan dienen om stoom van te produceren. Dit alternatief wordt aangeduid als het Circulair alternatief, waarbij geen of vrijwel geen water hoeft te worden toegevoegd uit het oppervlaktewatersysteem.

Circulair alternatief – onderdeel verwerking reststroom

De resterende reststroom dient verwerkt te worden. Doordat de reststroom maar 25% of zelfs 10% van het oorspronkelijke debiet bedraagt, zijn er meer mogelijkheden denkbaar dan bij het volledige waterproductiedebiet. Er is onderzoek gedaan naar de mogelijkheid de reststroom te injecteren in delen van het Schoonebeek olieveld, onderliggende gasvelden of levering aan de oliewinning aan de Duitse kant van het olieveld. Dit heeft geleid tot de nadere uitwerking van de mogelijkheden om water in de aquifer naast het oliereservoir toe te passen, zoals beschreven in hoofdstuk 5.

Onderstaand wordt het Circulair alternatief beschreven voor deze drie elementen, waarmee een integraal alternatief ontstaat dat in de herafweging kan worden getoetst naast onder meer de huidige waterinjectie in Twente.

8.1 Selectie waterzuivering

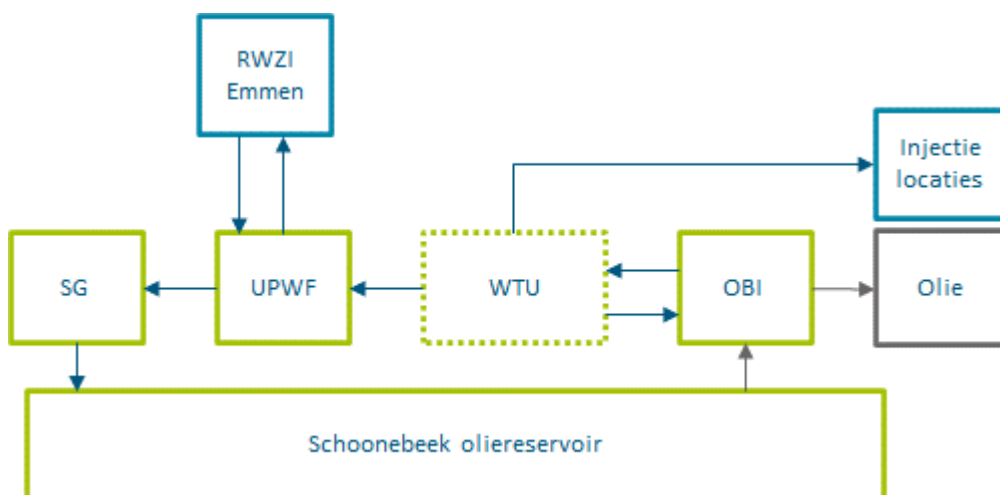
Bijlage 1 beschrijft het onderzoek naar optimalisatie van de waterzuivering. De hier gepresenteerde waterzuivering is stapsgewijs ontwikkeld, met de volgende inbreng:

- Gert Colenbrander heeft in 2020 een voorstel gedaan voor een circulair concept, waarbij het productiewater wordt behandeld in de ultrapuurwaterfabriek van NieuWater.
- De onderzoeksgroepen Instituut EMI Twente en professor Boelo Schuur via Suster B.V. zijn gevraagd om het concept van Gert Colenbrander te beoordelen en hier advies op te geven. In haar rapport in bijlage 2 geeft EMI Twente de optimalisaties van het waterzuiveringsconcept weer.
- Royal HaskoningDHV heeft het concept nader uitgewerkt in twee circulaire waterzuiveringsconcepten met verschillende varianten. De varianten zijn beoordeeld op technische haalbaarheid en de investerings- en operationele kosten op hoofdlijnen.

Waterzuivering koppelen aan de huidige waterfabriek

In de huidige situatie wordt effluent vanuit de rioolwaterzuiveringsinstallatie (RWZI) bij de ultrapuurwaterfabriek (UPWF) gezuiverd en geschikt gemaakt voor stoomproductie en wordt het productiewater in de diepe ondergrond gebracht. Het circulaire concept is erop gericht het proces circulair te maken door het productiewater geschikt te maken als bron voor de stoomproductie. Dit vindt plaats door het productiewater te ontdoen van zoutcomponenten en vervolgens bij de UPWF aan te bieden om tot ultrapuur water te zuiveren en het zo geschikt te maken voor stoomproductie.

De uitdaging voor implementatie van de concepten ligt bij de UPWF. De fabriek is ingericht om gezuiverd effluent van de RWZI Emmen op te werken. Om het productiewater dat vrijkomt vanuit de oliebehandelingsinstallatie (OBI) geschikt te maken voor de UPWF, is een extra voorbehandeling nodig omdat het productiewater te zout is om rechtstreeks in de UPWF te voeren. Daarvoor zal een Water Treatment Unit (WTU) geplaatst moeten worden. Een algemeen procesdiagram van opwerking van productiewater tot een hoogwaardig water is weergegeven in Figuur 8.1.



Figuur 8.1: Voorgesteld circulair concept

RWZI: rioolwaterzuiveringsinstallatie, SG: stoomgeneratie, UPWF: ultrapuurwaterfabriek, WTU: voorbehandelingsinstallatie, OBI: oliebehandelingsinstallatie

Voor de voorbehandelingsinstallatie (WTU) zijn in deze studie twee concepten en een aantal varianten uitgewerkt. Het basisprincipe is om in de WTU een zoetwaterstroom en een zoutwaterstroom te genereren:

- Van het zoete water wordt stoom gemaakt na verdere opwerking in de UPWF. De UPWF werkt het zoete water verder op tot ketelvoedingswater dat vervolgens kan worden gebruikt voor stoomgeneratie (SG) ten behoeve van de oliewinning.
- De geconcentreerde zoutwaterstroom wordt de reststroom (ook wel 'brijn') genoemd. Daarbij is een concentratiefactor 10 de maximaal haalbare concentratiefactor (tegen verzadiging) die in de ondergrond geïnjecteerd kan worden. Optimalisatie zal uitmaken welke indikfactor overall het meest energie efficiënt is.

Voor de WTU zijn de volgende twee conceptgroepen onderzocht:

- Conceptgroep 1: Het productiewater wordt geconcentreerd met behulp van membranen. Er is gekozen voor membranen als basistechniek, omdat deze minder energie verbruiken dan thermische technieken. In het scheidingsproces ontstaat zoet water en een geconcentreerde zoutwaterstroom (brijn). Met behulp van membranen kan een concentratiefactor van circa 4 tot 7,5 worden bereikt.
- Conceptgroep 2: Het productiewater wordt verder geconcentreerd tot een concentratiefactor 10, waardoor de volumestroom van de brijn verder afneemt. Er zijn 2 conceptvarianten uitgewerkt.

Tabel 8.1: Zuiveringsstappen per variant

Concept ID	Omschrijving
1A	IGF → WSF → cUF → EDR → GAC → LPRO
1B	IGF → WSF → Pellet Reactor (complete Ca verwijdering) → cUF → GAC → LPRO
1C	IGF → WSF → Pellet Reactor (complete Ca verwijdering) → cUF → GAC → HPRO
1D	IGF → WSF → Pellet Reactor (complete Ca verwijdering) → cUF → GAC → EDR
1E	IGF → WSF → Pellet Reactor (partiele Ca verwijdering) → cUF → GAC → EDR
1F	IGF → WSF → Pellet Reactor (partiele Ca verwijdering) → cUF → GAC → HPRO
2A	IGF → WSF → cUF → EDR → GAC → LPRO → MVR
2F	IGF → WSF → Pellet Reactor (partiele Ca verwijdering) → cUF → GAC → HPRO → MVR

Conceptgroep 1

Het zuiveringsproces van de verschillende circulaire concepten bestaat uit een aantal processtappen, waarbij de volgende stoffen worden verwijderd:

- Gedispergeerde oliën
- Onopgeloste bestanddelen
- Opgeloste koolwaterstoffen
- Opgeloste zouten

De eerste drie processtappen om gedispergeerde olie en onopgeloste bestanddelen te verwijderen zijn in alle concepten en varianten gelijk aan het concept dat beschreven is door EMI Twente. Dit zijn de procesunits; induced gas flotation (IGF), het walnut shell filter (WSF) en de keramische ultrafiltratie (cUF).

De concepten zijn varianten van elkaar waarbij verschillende technologieën worden toegepast. Sommige concepten zijn verdere optimalisaties van de eerder benoemde zuiveringsprincipes. Enerzijds om de

concentratiefactor te kunnen verhogen waardoor de gevormde brijnstroom kleiner is. Anderzijds om een betere werking van voorgestelde technologieën te kunnen bereiken.

Om tot hogere concentratiefactoren te komen, wordt er in een aantal varianten een extra concentratiestap toegepast. De volgorde van de stappen wordt bepaald door de benodigde voorbehandeling en de optimalisatie van energie- en chemicaliënverbruik.

Conceptgroep 2

Van twee concepten is een nadere uitwerking gemaakt waarbij gestreefd wordt naar een concentratiefactor van 10. De hogere indikkingsgraad wordt bereikt met Mechanical Vapour Recompression (MVR). Doordat de volumestroom van de brijn hiermee verder afneemt is het wellicht mogelijk om de brijnstroom te injecteren in het Schoonebeek oliereservoir en het water opnieuw te benutten.

8.2 Benutten schoon zoetwater

Selectie locatie, installaties, pijpleidingen en faciliteiten

De waterzuivering dient gebouwd te worden op een geschikte locatie, nabij de andere voorzieningen van de Schoonebeek oliewinning. Er is een directe aansluiting nodig op de OBI voor de aanvoer van het productiewater, dat ontstaat na de afscheiding van olie in de OBI. Er is daarnaast een directe verbinding nodig met de huidige waterfabriek, waar het schone water naar toe wordt afgevoerd, en tot ultra puur water voor stoominjectie wordt gezuiverd. De reststroom zal worden terug gevoerd naar de OBI, om van daaruit verwerkt te worden.

Nieuwe locatie voor de Water Treatment Unit (WTU)

Op de huidige locatie van de OBI is onvoldoende ruimte om een waterzuiveringsinstallatie te plaatsen. Er is in de nabijheid echter nog wel een voormalig NAM-terrein dat kan worden gebruikt. Het voormalig EVI/ROV terrein bevindt zich net ten westen van de OBI, zie Figuur 8.2.

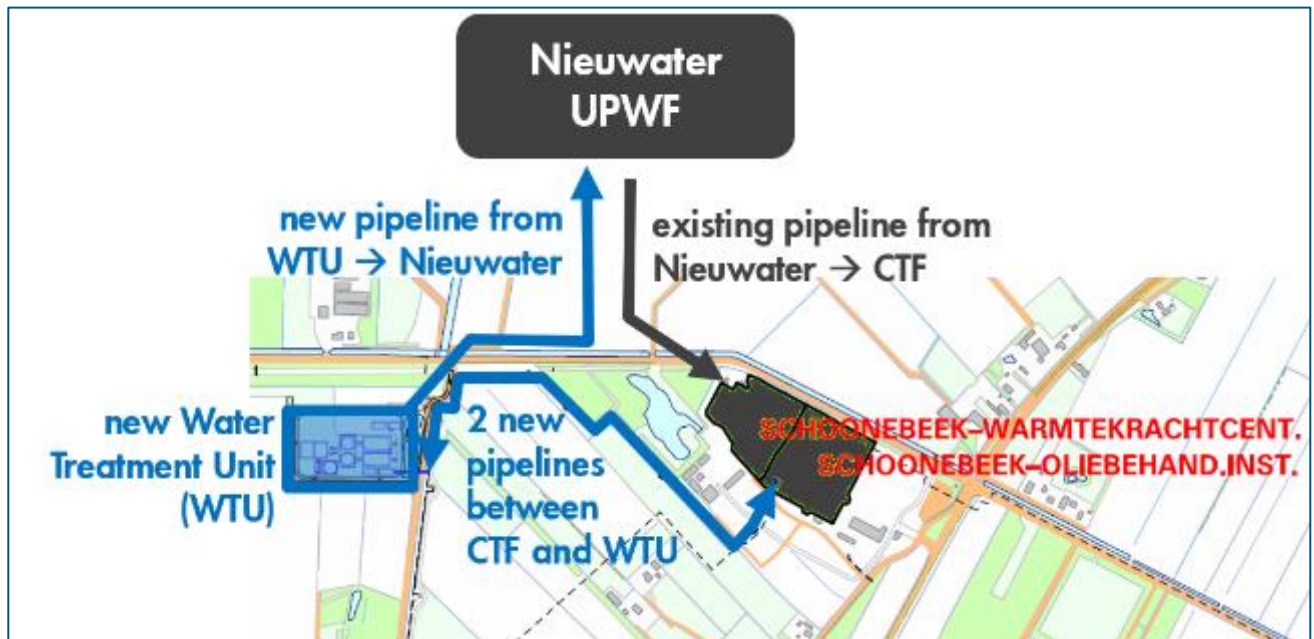
Pijpleidingen

Er worden drie nieuwe ondergrondse pijpleidingen voorzien:

- Het productie water van de OBI wordt via een nieuwe pijpleiding naar de WTU verpompt.
- De ingedikte reststroom gaat via een nieuwe pijpleiding terug naar de OBI (leiding wordt parallel aan de productiewaterleiding gelegd).
- Het grootste deel van het zoete water (wat nodig is om stoom van te maken) wordt dan via een nieuwe leiding van de WTU naar de Nieuwater UPWF verpompt.

Elektriciteitsvoorziening

Een nieuwe elektrische kabel wordt aangelegd vanaf de OBI naar de WTU met een capaciteit van ongeveer 2 tot 3 MW. Op de OBI is voldoende capaciteit beschikbaar voor het additionele vermogen.



Figuur 8.2: Schematisch overzicht van bovengrondse infrastructuur.

Afvoer overtollig zoet water

Waarschijnlijk kan niet al het zoete water geherinjecteerd worden als stoom, vanwege additonele influx van water uit het Emlichheim veld.

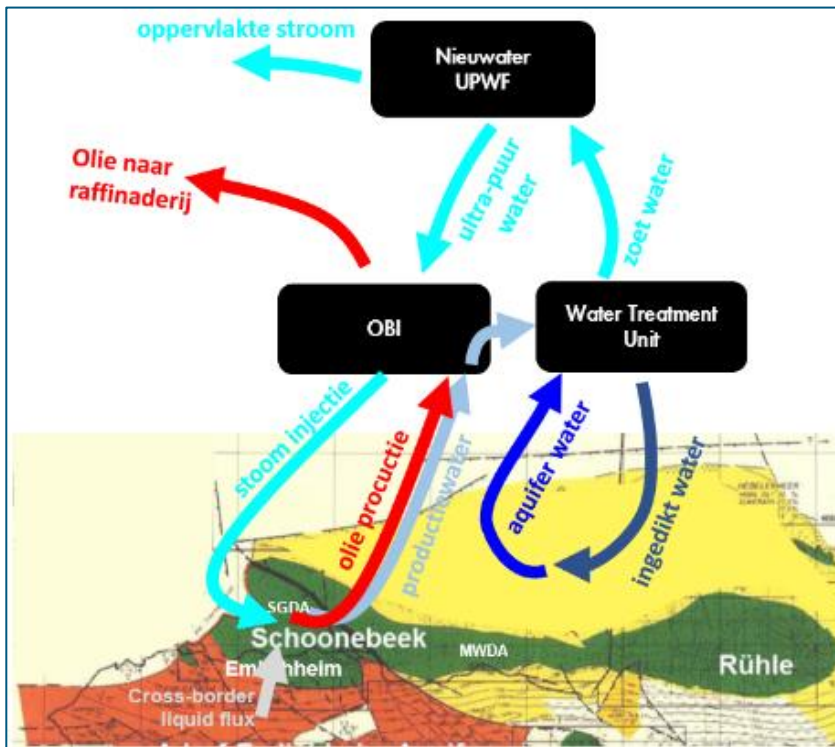
Het overige deel van het zoete water zal worden afgevoerd naar een watergang. De precieze ligging van deze afvoerleiding zal bij verdere detaillering worden vastgesteld. Het lozingspunt zal in overleg met het waterschap worden vastgesteld, zodat het ontvangende watersysteem zo min mogelijk verstoord raakt. Vooral nog kan worden aangehouden dat het gezuiverde water richting Stieltjeskanaal afgevoerd kan worden. Om aan de specificaties van oppervlaktelozing te voldoen, is zuivering van stoffen nodig die als voedsel voor bacterien in het oppervlaktewater kunnen dienen. Dit kan het beste met een RWZI type installatie.

8.3 Selectie verwerking reststroom

Voor de verwerking van de reststroom zijn verschillende opties voor waterinjectie onderzocht. Daarbij is uitgegaan van een beperkt debiet door de indikking bij de waterzuivering. De indikking van het productiewater tot een reststroom leidt tot een debiet van circa 750 tot 300 m³ per dag (respectievelijk 25% en 10% van de te verwachten 3.000 m³ productiewater bij de huidige oliewinning).

Er zijn drie mogelijke varianten voor de verwerking van de reststroom in de Schoonebeek aquifer beschreven (zie hoofdstuk 5). De variant 1, zoals beschreven in hoofdstuk 5.2, met waterinjectie in Schoonebeek Oost blijkt het meest geschikt voor nader uitwerking in dit alternatief.

Bij waterinjectie in het oostelijk deel van het Schoonebeek oliereservoir (MWDA), neemt de druk in dit deel van het reservoir toe. Om tot een balans in het oostelijk deel te komen, zal er evenveel water uit onttrokken moeten worden. Het onttrokken water heeft een lager zoutgehalte dan de geïnjecteerde waterstroom, waardoor het zoutgehalte zal toenemen in het reservoir. Het onttrokken water uit het oostelijk deel wordt gemengd met het productiewater uit het westelijk deel en gezamenlijk ingedikt tot de waterstroom die weer in het oostelijk deel wordt geïnjecteerd. Figuur 8.3 laat het mechanisme zien.



Figuur 8.3: Schematisch overzicht van mogelijke volume stromen

Deze variant maakt het mogelijk in combinatie met een waterzuivering te komen tot een alternatief waarbij de waterstromen plaatsvinden binnen het Schoonebeekveld, en geen waterinjectie in leeggeproduceerde gasvelden nodig is. Hiervoor zijn nieuwe pijpleidingen nodig en putten om in de aquifer te injecteren en uit te produceren.

9 Uitwerken alternatieven

De uitwerking van alternatieven heeft veel overeenkomsten met de getoetste alternatieven in 2016. Er is voor de referentiesituatie een duidelijk verschil, door de enigszins gewijzigde waterkwaliteit, maar vooral doordat het te verwerken debiet nu overeenkomst met het huidige te verwerken debiet bij waterinjectie Twente.

Maatgevende hoeveelheid productiewater per dag

Tijdens de herafweging in 2016 is uitgegaan van de totale waterstroom productiewater van 8.000 m³ per dag. De afgelopen jaren is dit beperkt tot 3.000 m³, afgevoerd naar Twente. Deze herafweging gaat zodoende over de vraag hoe de 3.000 m³ productiewater die nu naar Twente wordt afgevoerd optimaal verwerkt kan worden.

Uit de uitgebreide lijst zijn alternatieven geselecteerd, die in meer detail worden uitgewerkt en getoetst. Bij de uitwerking is het mogelijk varianten per alternatief toe te voegen. Nadat alle alternatieven en varianten getoetst zijn, wordt nog bekeken of een slimme combinatie te maken is van deze alternatieven en varianten om tot een definitieve en beste oplossing te komen.

- Alternatief 1: Vast zout – zout kristallisatie
- Alternatief 2: Zout water naar de zee
- Alternatief 3: Indikken tot compacte bijnstroom met circulair alternatief
- Alternatief 4: Waterinjectie Drenthe
- Referentiesituatie 5: Huidige situatie injectie in Twente

Bij de eerste twee alternatieven vindt geen waterinjectie plaats. Dat betekent dat de waterinjectie in Twente zal worden beëindigd. Bij het derde alternatief wordt de waterstroom ingedikt en daarmee de hoeveelheid waterinjectie beperkt, tot circa 25% of zelfs 10% van het geplande volume. Het vierde en vijfde alternatief gaan beide uit van voortzetting van waterinjectie, in Drenthe of Twente.

In dit hoofdstuk zijn de 4 alternatieven en de referentiesituatie beschreven. Deze worden naderhand getoetst aan de hand van de CE afwegingsmethodiek. Bij ieder alternatief wordt tevens gekeken naar optimalisaties of kleine aanpassingen. Alleen de aanpassingen bij Alternatief 4 zijn verder uitgewerkt als varianten. De bevindingen van deze varianten zijn ook bruikbaar voor de andere alternatieven.

9.1 Alternatief 1: Vast zout middels kristallisatie (conform 2016)

Zuivering productiewater, gevolgd door lozing van schoon water op het oppervlaktewater en met schoon zout als restproduct

Nabij het terrein van de OBI in Schoonebeek wordt een nieuwe waterzuiveringsinstallatie gebouwd. Hierbij wordt het productiewater volledig gezuiverd, waarbij zowel de hulpstoffen als het zout uit het water worden gehaald. Het resterende water wordt geloosd op het oppervlaktewater in de omgeving van de OBI. Naast het water, ontstaan bij het proces twee afvalstromen, namelijk een grote hoeveelheid vast zout en een reststroom vanuit de waterzuivering. Om te voorkomen dat H₂S-binder in het zout terecht komt, zullen de leidingen bij Schoonebeek vervangen worden door H₂S-resistente (bestendige) leidingen.

Restproduct bestaat vooral uit gemengd vast zoutproduct

Na de waterzuivering ontstaat een vast zoutproduct. Dit vormt een mengsel van voornamelijk NaCl en CaCl₂ zouten. Voor een zoutproduct waar naast NaCl ook nog andere zouten in aanwezig zijn wordt de term "gemengd zout" gebruikt.

Navraag bij marktpartijen leert dat er op voorhand geen nuttige toepassingen bekend zijn voor dit zoutproduct. Dit zou in de toekomst mogelijk wel zo kunnen zijn, maar in het alternatief wordt er van uitgegaan dat het zoutproduct zal moeten worden gestort.

Kansen voor hergebruik nemen toe, indien het productiewater wordt gezuiverd tot puur zout, dat wil zeggen zuiver NaCl. Dit vergt een aanvullende zuiveringsstap. Het resterende zout zou als strooizout gebruikt kunnen worden, hoewel de markt momenteel aangeeft dat daar weinig behoefte aan is. De aanvullende zuiveringsstap wordt als optimalisatie bij dit alternatief gezien. In het alternatief zelf wordt uitgegaan van opslag van het zoutproduct als meest robuuste oplossing.

Onderdelen alternatief 1 : Vast zoutproduct middels kristallisatie

Het basisalternatief 1 "vast zoutproduct" bestaat zodoende uit de volgende onderdelen:

- Zuiveringsstappen van het productiewater;
- Afvoer zoet water naar een nabijgelegen watergang;
- Afvoer of hergebruik van de restproducten.

Onderstaand worden deze drie onderdelen nader uitgewerkt.

Zuiveringstechnieken

Bij de waterzuivering staat het indampen van het zout centraal. Daarmee ontstaat een schone waterstroom en een vast zoutproduct. Om er voor te zorgen dat het zoutproduct zo min mogelijk verontreinigingen bevat (bij voorkeur alleen een mengsel van NaCl en CaCl₂ zouten), worden eerst de andere stoffen uit het productiewater gezuiverd. Van de verschillende mogelijke waterzuiveringen op basis van indampen is gekozen voor een zuivering volgens het principe Mechanical Vapour Recompression (MVR).

Afweging membraantechniek (omgekeerde osmose)

In de olie- en gaswereld wordt de toepassing van MVR als bewezen techniek gezien. Bij ontzilting van zeewater, waarbij eveneens grote hoeveelheden zout uit het water wordt gehaald, wordt vaak gebruik gemaakt van membraantechnieken.

Het Schoonebeekwater vergt een zeer uitgebreide voorzuivering. De aanwezigheid van een aantal stoffen, zoals Calcium, Magnesium, H₂S, BTEX en nutriënten brengt een risico van membraanvervuiling met zich mee. Membraantechnologie wordt inmiddels wel toepasbaar geacht als onderdeel van de waterzuivering bij het indikken van het productiewater (zie Circulair Alternatief).

Waterzuiveringsstappen

Voor de volledige waterzuivering bij dit alternatief zijn de volgende stappen voorzien:

Voorbehandeling

Het productiewater bij de waterzuivering is rechtstreeks afkomstig uit de Oliebehandelingsinstallatie (OBI). Na de OBI bevinden zich nog olieachtige stoffen in het productiewater. Met een IGF (induced gas flotation) wordt de opdrijvende olie verwijderd. De verwijderde olieachtige stoffen worden teruggevoerd naar de OBI. Met de NSF (nutshell filtration) wordt eventueel opgelost olie verwijderd door adsorptie. Verzadigd materiaal wordt verversd. De verwijderde olieachtige stoffen worden teruggevoerd naar de OBI. Deze combinatie van technieken zorgt er voor dat deze olieachtige stoffen zoveel mogelijk uit het water worden gehaald, tot onder 5 mg/l.

Na aanzuring van het water met HCl worden gasvormige elementen, vooral CO₂ (circa 75%), H₂S en BTEX, uit het water verwijderd middels ontgassing. Deze gassen (ook wel stripgassen genoemd) worden teruggevoerd naar de OBI, waar ze worden verbrand. Indien het H₂S-gehalte zo hoog is dat verbranding zou leiden tot een te hoge SO₂ uitstoot, dan wordt het stripgas voor verbranding ontdaan van H₂S.

Toepassing MVR

MVR is een thermodynamisch efficiënte wijze van verdamping. Het maakt gebruik van een warmtepomp in de vorm van een compressor, die er continu voor zorgt dat de warmte tussen de verdampingsstap en de condensatiestap in het systeem uitgewisseld wordt. Deze warmte wordt overgedragen. MVR wordt vaak ingezet voor behandeling van productiewater dat vrijkomt bij oliewinning en bij ontzouting van zeewater.

Het zoute water wordt met mechanische damprecompressie ingedampt tot een geconcentreerde brijn om in een tweede stap met lage druk stoom te worden gedroogd tot gekristalliseerd zout. Bij deze stap zijn er mogelijkheden om warmte uit de OBI of vanuit de stoomproductie uit te wisselen en zo te benutten. Dit kan tot een energiereductie van 30% leiden en geldt als een optimalisatiemogelijkheid.

Radioactieve stoffen komen in het productiewater voor in niet meldingsplichtige concentraties van natuurlijke radio-isotopen. Niet-vluchtige componenten, waaronder zouten, zware metalen, enkele organische verbindingen en niet-vluchtige componenten van gebruikte hulpstoffen, blijven achter in de geconcentreerde brijn en zullen ook in het zout terecht komen.

Verdamping van water en vluchtige componenten

Vanuit de MVR ontstaan twee stromen die apart behandeld worden, geconcentreerd brijn en destillaat. Het geconcentreerde brijn wordt verder ingedampt (kristallisatie) tot vast zout met behulp van een centrifuge en een ontwateringsstap. Dit resulteert in vast gemengd zout, bestaande uit voornamelijk NaCl (79%) en CaCl₂ (14%).

Het destillaat wordt met stoomstrippen ontdaan van ammoniak, waarna overgebleven verontreinigingen door reactie met ClO₂ (H₂S verwijdering) en adsorptie aan actieve kool (organische verbindingen) worden verwijderd. Gestripte ammoniak wordt afgevangen als (NH₄)₂SO₄, een product dat bijvoorbeeld ook uit afgassen van varkensstallen wordt teruggewonnen en kan worden afgezet als kunstmest. Er wordt een verdunde oplossing van ammoniumsulfaat gevormd. Uitgangspunt is dat deze stroom zuiver genoeg is om te worden hergebruikt als kunstmest.

- NH₃ strippen (en terugwinning als ammonium sulfaat). Het ammoniak lost na de destillatie weer op in het gecondenseerde water. Het ammoniakniveau zal moeten worden verlaagd tot onder 10 mg/l. Verwijdering van NH₃ vindt plaats middels strippen met stoom.

- Sulfide verwijdering; opgeloste sulfide wordt chemisch geoxideerd met een oxidant (ClO_2). De reactieproducten sulfaat- en chloride zijn onschadelijk.
- BTEX verwijdering, hoewel BTEX in de eerste stappen al grotendeels is verwijderd, zal een gedeelte weer in het water oplossen. Deze vluchtige organische componenten worden verwijderd door adsorptie aan actieve kool (GAC). Er wordt in eerste instantie van uit gegaan dat de gebruikte actieve kool extern wordt geregenereerd.

Eventuele hulpstoffen worden uit het water verwijderd en komen dan in het zout terecht. Het zout bevat geen H_2S -binder, biocide of corrosie remmer, omdat deze in dit alternatief niet worden toegepast. Om gebruik van H_2S -binder te voorkomen worden de olietransportleidingen tussen de winputten en de OBI vervangen door H_2S -resistent materiaal.

Optimalisatie zuiver zoutproduct

Om tot een zuiver zout (NaCl) en kalk product te komen, is er bij de waterzuivering een aanvullende stap nodig. Dit is mogelijk door een ontharding te plaatsen voor de MVR, waarbij voor de kristallisatie stap andere zouten (o.a. Ca, Ba, Mg, Sr) uit het water worden verwijderd. Hiermee ontstaat een zoutproduct met circa 97% NaCl en 3% water. De technische haalbaarheid van dit proces moet nog verder worden onderzocht.

Afvoer water naar watergang

De hoeveelheid te lozen gezuiverd water bedraagt maximaal circa 8.000 m^3 per dag. De benodigde hoeveelheid effluent bij de Waterfabriek bedraagt circa 10.000 m^3 per dag. De precieze ligging van deze afvoerleiding zal bij verdere detaillering worden vastgesteld. Het lozingspunt zal in overleg met het waterschap worden vastgesteld, zodat het ontvangende watersysteem zo min mogelijk verstoord raakt. Vooralsnog kan worden aangehouden dat het gezuiverde water richting Stieltjeskanaal afgevoerd kan worden.

Afvoer reststoffen en varianten voor zout

De reststoffen bestaan uit twee groepen, gezuiverd vast zoutproduct en een kleine spuistroom van ingedikd concentraat met reststoffen (organische componenten, zoals oliehoudend slib en ammoniumsulfaat). Deze kleine spuistroom dient per tanker of vrachtwagen te worden afgevoerd en verwerkt door commerciële partijen.

De hoeveelheid gemengd zoutproduct bedraagt aanvankelijk in de orde van grootte van 200 ton per dag. In de loop van de jaren neemt de hoeveelheid zout af tot circa 60 ton per dag. Op basis van de huidige verwachtingen wordt er tot het einde van de oliewinning gemiddeld circa 95 ton per dag totaal zout (TDS) met het productiewater aangevoerd. Om een indicatie te krijgen van de benodigde hoeveelheid transport, kan worden uitgegaan van circa 7 vrachtwagens voor de afvoer van 200 ton.

Voor het storten van dit zout is veel ruimte nodig. De dichtheid van het zout zal afhangen van korrelgrootte ('normaal' strooizout (NaCl) is circa 800 kg/m^3 , compleet vast zout circa 2.150 kg/m^3). Op basis van een geschatte dichtheid van 1.500 kg/m^3 komt 200 ton per dag neer op een berg van 130 m^3 zout. Uitgaande van een gemiddelde van 95 ton zout per dag gedurende de gehele periode, is het totaal zoutvolume 0,6 miljoen m^3 . Dit zijn 6 velden van 100 bij 100 meter, waar elk een berg zout ligt van 10 meter hoog. Over de gehele oliewinningsperiode is dit een aanzienlijke hoeveelheid zout, waarvoor een bestemming moet worden gevonden.

Hergebruik zout – optimalisatie variant

Zoals hierboven beschreven, ontstaat na de waterzuivering een gemengd vast zoutproduct bestaand uit voornamelijk NaCl en Ca-zouten. Omdat blijkt dat voor dit gemengde product op voorhand geen nuttige toepassingen bekend zijn, is bekeken of dat met een andere zuivering mogelijk wel een herbruikbaar en verkoopbaar zoutproduct kan worden gemaakt.

Kansen voor hergebruik nemen toe, indien de zuiveringsfabriek wordt uitgebreid met een onthardingsstap waar alle ongewenste zouten, zoals calciumzouten (20%), uit het productiewater worden gehaald. Hierbij resteert nog wel een onverkoopbaar product met strontium-zouten (ongeveer 15%) die alsnog verwerkt en opgeslagen moeten worden. Een deel van de calciumzouten (kalk) en het op deze wijze gezuiverde NaCl (keukenzout) (65%), zijn dan in theorie verkoopbaar. De kalk kent hergebruik in de bouw en het keukenzout zou als strooizout gebruikt kunnen worden.

De TU Delft merkt in haar contraexpertise over selectie van meest kansrijke alternatieven op:

“Het zou natuurlijk een mooie hergebruik optie zijn als de rijksoverheid garant staat voor de afname van de totale zoutproductie.”

Dit is echter vooralsnog niet het geval en de rijksoverheid heeft niet aangegeven dit te overwegen, zodat het alternatief hierop niet kan worden gebaseerd.

Deze variant op kristallisatie met een herbruikbaar product kent een aantal voor- en nadelen ten opzichte van de basisvariant.

De voordelen ten opzichte van het basisalternatief 1 zijn:

- Potentieel sterke beperking van het te storten volume (tot 15%);
- Vanwege de onthardingsstap is mogelijk membraantechnologie toepasbaar in plaats van de genoemde MVR. Dit geeft waarschijnlijk een significante reductie in energieverbruik;
- Mogelijke verkoop van kalk en strooizout;

De nadelen ten opzichte van het basisalternatief 1 zijn:

- Opnieuw fors hogere investeringskosten vanwege de extra onthardingsstap en de daarmee gemoeide installaties;
- Hogere storingsgevoeligheid van de installatie met daardoor grotere kans op ongewenste kwaliteitsvariëaties, waarbij geldt dat de kwaliteit van het geleverde strooizout in Nederland moet voldoen aan strenge regels. De kwaliteitseisen leiden bij deze variëaties tot extra investeringen in buffers en opslagfaciliteiten waarmee de kwaliteit kan worden gecorrigeerd;
- Toetreding van NAM tot een seizoensgebonden competitieve zoutmarkt met een gerede kans dat afzet van het zout onderbrekingen kent.

Met name de laatste factor maakt het daadwerkelijk hergebruik van de kalk of zouten onzeker. Indien de oliewinning van Schoonebeek regelmatig en gecontroleerd moet verlopen, dan zal ook de verkoop en fysieke afname / transport van kalk en strooizout ongestoord moeten verlopen. Onderbrekingen in de afname geeft weer een noodzaak voor forse extra opslagfaciliteiten waar een tijdelijk overschot kan worden gehouden. Aangezien de jaarlijkse Schoonebeek zoutproductie de omvang van de jaarlijkse strooizoutbehoefte in Nederland gaat benaderen, wordt grootschalige opslag zeer waarschijnlijk.

Op basis van het bovenstaande wordt de aanvullende zuiveringsstap als optimalisatie bij dit alternatief gezien. De optimalisatie heeft nog te veel technische en commerciële risico's om als haalbaar alternatief te worden beschouwd.

9.2 Alternatief 2: Zout water naar de zee (conform 2016)

Beperkte zuivering productiewater met afvoer van schoon zout water naar zee en een vast restproduct

Voor een aantal bedrijven en industrieën in Noord Nederland bestaat de gebruikelijke verwerking van afvalwater uit een zuiveringsstap gevolgd door de afvoer van gezuiverd zout afvalwater naar de zee. In Noord-Nederland bevinden zich twee zoutwaterafvoerleidingen. De meest oostelijke is de Veenkoloniale Afvalwaterleiding (aangeduid als VKA-leiding). Deze leiding begint bij Veendam en voert afvalwater naar een lozingspunt bij Spijk, waar een uitlaat in de Eems aanwezig is. Ter hoogte van Scheemda takt een tweede leiding aan. Hiermee wordt door vier bedrijven gezuiverd zout afvalwater afgevoerd. De capaciteit van de transportleiding bedraagt circa 2.000 m³ per uur, waarvan momenteel circa 1.000 m³ per uur wordt benut. In dit alternatief sluit de NAM aan op deze bestaande leiding, waarbij circa 125 m³ per uur productiewater wordt toegevoegd (ongeveer 3.000 m³ per dag). Hiervoor is het wel nodig om het productiewater te zuiveren tot schoon zout water en een transportleiding vanaf Schoonebeek naar Veendam aan te leggen.

Nabij het terrein van de OBI wordt een nieuwe waterzuiveringsinstallatie gebouwd. Het productiewater wordt op de OBI zover gezuiverd, dat schoon zout water over blijft. Hierbij wordt gebruik gemaakt van een biologische zuivering, met aanvullende zuiveringsstappen. Het zoute afvalwater wordt getransporteerd via een buisleiding naar een geschikt lozingspunt in de Eems in het noorden. Dit alternatief is alleen realiseerbaar, indien het mogelijk is het productiewater binnen de lozingseisen te zuiveren. Bij aansluiting op de VKA is sprake van indirecte lozing, aangezien het gezuiverde productiewater op de transportleiding samen komt met het water vanuit andere partijen. De gezamenlijke waterstroom wordt uiteindelijk afgevoerd naar het lozingspunt in de Eems. Bij de waterzuivering in de OBI ontstaat een reststroom met de overige componenten van het productiewater en zuiveringschemicaliën.

Het is de verwachting dat de beoogde biologische zuivering geen H₂S-binder uit het zoute water kan halen. Om te voorkomen dat de zoutwater stroom hiermee verontreinigd is, moet dus worden voorkomen dat H₂S-binder wordt toegepast. Dit betekent dat de leidingen van Schoonebeek vervangen moeten worden door leidingen met H₂S-resistent materiaal.

Vaststellen lozingseisen

Binnen het kader van de wet- en regelgeving en beleid geldt in deze situatie (indirecte lozing) dat het Wabo-bevoegd gezag voorwaarden stelt in een vergunning, waaronder waarschijnlijk lozingseisen. Rijkswaterstaat is wettelijk adviseur richting het bevoegd gezag.

Onderdelen alternatief 2: zout water naar de zee

Het alternatief 2: "zout water" bestaat zodoende uit de volgende onderdelen:

- Zuiveringsstappen van het productiewater
- Afvoer zout water naar zee (Eems)
- Afvoer van de restproducten

Onderstaand worden deze onderdelen nader uitgewerkt.

Zuiveringsstappen van het productiewater met biologische zuivering

Bij de waterzuivering staat een biologische zuivering centraal. Daarmee ontstaat een waterstroom en een reststroom. Om er voor te zorgen dat het zoute water geloosd mag worden op de Eems, worden eerst de andere stoffen uit het productiewater verwijderd. Er is gekozen voor een biologische zuivering, aangezien de verwijdering van stikstof (ammonium) en andere organische stoffen centraal staan.

Lozingsnormen zijn bepalend voor zuiveringstechnieken

Er zijn nog geen normen voor indirecte lozing vastgesteld, maar op basis van het huidige beleid en de samenstelling van het productiewater, richt de zuivering zich vooral op de volgende componenten:

- Strontium, Barium;
- Ammonium, Sulfide;
- Olie, Fenol, PAK's, BTEX, met name Benzeen.

Strontium en barium komen in relatief hoge concentraties van nature in het productiewater voor. In het effluent is de concentratie van strontium in de orde van een factor 100 hoger dan de concentraties in de grote rivieren. Per jaar zal met het productiewater naar schatting 485 ton strontium en 37 ton barium uit de ondergrond worden gehaald. Dit is tussen 1% en 10% van wat er met de drie grote rivieren jaarlijks Nederland binnenkomt.

Voorzuivering

Bij de waterzuivering worden eerst olieachtige stoffen uit het water gehaald, zoals bij Alternatief 1, en teruggevoerd naar de OBI. Vervolgens wordt CaCO_3 deels verwijderd door reactie van opgeloste $\text{CO}_2/\text{HCO}_3^-/\text{CO}_2^-$ met calciumionen na toevoeging van natronloog (ontharding). De gevormde kalksteen is naar verwachting zuiver genoeg om voor hergebruik in aanmerking te komen.

Biologische zuivering

Na de ontharding wordt H_2S geoxideerd en wordt stikstof verwijderd met twee biologische processen.

- Biologische sulfide oxidatie met lucht.
- Biologische stikstof verwijdering (nitrificatie/denitrificatie) en verwijdering van organische afbreekbare stoffen.

Daarbij ontstaan twee kleine reststromen:

- Een kleine hoeveelheid zwavelhoudend en bariumsulfaat houdend slib dat mogelijk radioactief materiaal bevat.
- Een biologisch slib met een beperkte hoeveelheid kalksteen. Dit slib kan eventueel worden afgezet voor vergisting.

Aktieve kool filtratie

Als laatste stap wordt actieve kool filtratie toegepast voor de verwijdering van mogelijk resterende organische componenten. Er wordt in eerste instantie van uit gegaan dat de gebruikte actieve kool extern wordt geregenereerd.

In dit alternatief komen radioactieve stoffen mogelijk als sulfaten in het zwavelhoudende slib terecht of worden deels in de kalksteen afgescheiden. De in de kalksteen neergeslagen hoeveelheid is zo laag dat het materiaal niet meldingsplichtig is. Het zwavelhoudende slib is mogelijk echter wel vergunningsplichtig. Organische componenten als azijnzuur worden grotendeels biologisch afgebroken in de biologische afvalwaterzuivering.

Afvoer zout water naar zee (Eems)

Voor de afvoer vanaf de waterzuivering bij Schoonebeek naar het lozingspunt op de Eems dient gebruik gemaakt te worden van een transportleiding. Inventarisatie heeft duidelijk gemaakt dat er in de richting van het noorden een bestaande veenkoloniale afvalwaterleiding (VKA) is, die momenteel door verschillende bedrijven gebruikt wordt. Bij dit alternatief wordt een transportleiding aangelegd tot een aansluitingspunt aan de VKA in de buurt van Veendam.

De nieuw aan te leggen watertransportleiding komt vanaf Schoonebeek langs Emmen door het oostelijk deel van Drenthe naar Veendam. Dit is een leiding met GRE materiaal, waardoor de leiding corrosiebestendig is. De totale lengte van dit segment is circa 55 km.

VKA-leiding

Een belangrijk onderdeel van dit alternatief is het aansluiten op de bestaande VKA-leiding. Deze leiding is in de jaren '70 aangelegd, nadat de bestaande industrie in het gebied bij de productie van suiker, aardappelen en strokarton verontreiniging van het lokale watersysteem veroorzaakte. De leiding bestaat uit asbest-cement materiaal. In de loop van de jaren hebben zich nog andere industrieën gemeld en zijn er voorschriften voor het zuiveren van te lozen water opgesteld. Tegenwoordig vindt alleen lozing van gezuiverd water plaats.

Het beheer van de VKA-leiding berust bij het waterschap Hunze en Aa's. Het afvoeren van afvalwater van industrie is echter geen kerntaak van het waterschap, zoals recentelijk door een rechter is bevestigd. De exploitatie van de VKA-leiding is voor het waterschap verliesgevend, doordat de bijdragen van de verschillende bedrijven onvoldoende zijn voor dekking van de operationele kosten (energie bij gemalen en onderhoud) en geen geld kan worden gereserveerd voor een toekomstige vervanging. In de huidige situatie is daarmee een discussie ontstaan over beheer en financiering tussen het waterschap en de aangesloten bedrijven (Nedmag, PPG, Avebe, Kisuma, Regina). De mogelijkheid bestaat dat vanuit de Eemshaven in het noorden eveneens koelwater via het noordelijk deel van de VKA-leiding afgevoerd gaat worden.

Indien de NAM aansluit op de bestaande VKA-leiding is er sprake van indirecte lozing. Via een Wabovergunning worden de normen gesteld waarbinnen de waterkwaliteit van het productiewater zal moeten blijven. Dit heeft betrekking op biologische zuivering, eisen aan de pH-waarde om scaling te voorkomen en in bredere zin alle chemicaliën.

Combinatie van waterstromen

Samen met de zoutwaterstroom van de NAM kan ook de lozing van water door andere bedrijven doorgang blijven vinden. Zodoende kan de VKA beter benut worden en kunnen de exploitatielasten en onderhoud van de leiding verdeeld worden. Op deze wijze kan het schone zoute water worden afgevoerd naar het noorden, waar het nabij Spijk in de Eems wordt geloosd.

Lozing schoon zout water op de Eems

Dit alternatief is alleen realiseerbaar indien het gezuiverde zoute water op de Eems kan worden geloosd en de condities waarbinnen lozing mogelijk is vast te stellen.

De Eems is onderdeel van een kwetsbaar gebied, grenzend aan de Dollard en de Waddenzee, beide beschermde natuurgebieden. Voor de Eems zelf geldt dat onderzoek wordt gedaan naar verbetering van de kwaliteit van het water. Het is de bedoeling dat het gebied een Habitat-gebied wordt, met als doelstelling geen verslechtering of wellicht een verbetering. Dit geeft condities aan de samenstelling, hoeveelheid en temperatuur van het te lozen water.

In beginsel zijn er meerdere lozingspunten mogelijk. De VKA leiding eindigt bij een bestaand lozingspunt bij Spijk. Hier wordt primair naar gekeken als mogelijk punt om het gezuiverde productiewater te lozen. De exploitant van de leiding heeft al een vergunning voor de lozing op dit punt, waarbinnen het gezuiverde productiewater kan worden toegevoegd. Het lozingspunt zelf bevindt zich circa 50 tot 100 meter vanaf de dijk via een buisleiding op de bodem van de Eems naar het midden van de vaargeul op circa 7 m diepte. Hierdoor wordt vermeden dat lozing plaats vindt in een vogelbeschermingsgebied. Bij het lozingspunt bevindt zich een diffuser. Het is van belang dat het geloosde water zo snel mogelijk wordt gemengd. Dit gebeurt als gevolg van sterke eb en vloed stroming en met behulp van een diffuser. Rijkswaterstaat meldt dat deze diffusor niet meer (geheel) in werking is. De werking en plaats kon onlangs door het waterschap niet worden bevestigd. Uitgangspunt is nu dat er geen diffusor meer aanwezig is. Dit is misschien wel nodig bij een toekomstige lozing.

Er zijn alternatieve lozingspunten mogelijk, zoals in het havengebied, van Delfzijl of bij Eemshaven. In de haven van Delfzijl gelden geen beschermende (Nb-wet) voorwaarden, zodat onder reguliere voorwaarden (waterwetgeving en beleid) de lozing wellicht mogelijk is. In de haven is de vermenging echter veel kleiner. Bij de Eemshaven geldt dat er een sterkere getijdenstroming is, waardoor het geloosde water sneller zal vermengen.

Als conditie voor het lozen geldt dat eerst moet worden aangetoond dat er geen andere mogelijkheden zijn in de buurt (afvalwater eerst lokaal terugbrengen in het milieu) waar de waterstroom vandaan komt (Wabo voorkeursvolgorde). Vervolgens moet duidelijk zijn dat wordt getracht het aantal stoffen te minimaliseren (emissiebeleid), door gebruik van Beste Beschikbare Technieken (BBT). Dan vindt er een immisietoets plaats waarbij onder andere gekeken wordt naar de Kader Richtlijn Water normen voor het gebied. Deze geven de gewenste ontwikkeling en doelstellingen van het gebied aan. Ook moet worden getoetst aan de doelstellingen die Rijkswaterstaat in haar beheerplan Beheer- en Ontwikkelplan voor de Rijkswateren (BPRW) heeft weergegeven. Tevens wordt getoetst aan de normen van het RIVM, via onder andere de "zeer zorgwekkende stoffen lijst", de waterwet (naast het beschreven waterkwaliteitsaspect ook op waterkwantiteit, (o.a. effect op vaargeulen,) en het gebruik van het waterstaatswerk. Op ruimtelijk gebied is de PKB (planologische kernbeslissing) Waddenzee van toepassing en zal ook hier aan moeten worden getoetst.

Afvoer van de restproducten

Bij dit alternatief worden verschillende restproducten geproduceerd:

Olie en gesuspendeerde vaste stoffen worden teruggevoerd naar OBI. Na afscheiding van olie en water zal een kleine stroom van oliehoudend slib per vrachtwagen worden afgevoerd en verwerkt door commerciële partijen.

Het gevormde calciumcarbonaat kan naar verwachting worden hergebruikt, bijvoorbeeld als bouwstof. Een afnemer voor dit materiaal moet nog worden gezocht.

Bij de biologische zuiveringsprocessen wordt zuiveringsslib gevormd (biologisch slib met een fractie kalksteen). Het zuiveringsslib van de sulfaatverwijderingsstap bevat mogelijk radioactief materiaal van natuurlijke oorsprong en zal in dat geval afzonderlijk verwerkt moeten worden (stort of opslag). Het zuiveringsslib van de biologische zuivering kan als normaal zuiveringsslib worden verwerkt (vergisting of verbranding).

9.3 Alternatief 3: Circulaire aanpak (aangepast)

Indikken van het productiewater, waarbij een deel als gezuiverd schoon zoet water wordt hergebruikt voor stoomproductie en een deel, met verhoogde concentraties, wordt geïnjecteerd

In hoofdstuk 8 zijn deze drie onderdelen nader uitgewerkt.

9.4 Alternatief 4: Waterinjectie Drenthe (aangepast)

Alternatief 4 heeft betrekking op waterinjectie in de Drenthevelden. Hierbij wordt aanvullend onderzocht in welke mate de mijnbouwhulpstoffen gereduceerd kunnen worden. Dit wordt in beeld gebracht middels vier varianten.

Beperkte zuivering en injectie in Drenthe velden

Bij het opstellen van het MER in 2006 is vastgesteld dat er voor injectie van productiewater een voorkeur is voor het gebruik maken van reservoirs nabij Schoonebeek. In de directe omgeving van Schoonebeek bevindt zich een groot aantal gasvelden. In 2006 werd hieruit nog aardgas gewonnen, wat niet mogelijk is in combinatie met wateropslag. Hierdoor zijn deze gasvelden toen afgevallen. Inmiddels is het aardgas uit een deel van de gasvelden gewonnen en over enkele jaren zijn hierdoor meerdere leeg geproduceerde gasvelden beschikbaar voor toepassing van waterinjectie. In dit alternatief wordt optimaal gebruik gemaakt van de nieuw beschikbaar gekomen gasvelden in de omgeving van Schoonebeek.

Dit alternatief gaat er van uit dat bij de winputten ter bescherming van de leidingen H₂S-binder aan het oliewatermengsel wordt toegevoegd. Er zijn voor het alternatief een aantal varianten uitgewerkt, waarbij minder mijnbouwhulpstoffen worden toegevoegd en een gedeeltelijke zuivering. Voor die varianten is het naar verwachting noodzakelijk transportleidingen te vervangen.

Drenthevelden, selectie van putten en injectielocaties nabij Schoonebeek

De velden in de omgeving van Schoonebeek worden aangeduid als de Drenthevelden. Ze bevinden zich in het zuiden van Drenthe. De beschikbare velden zijn hiervoor geïnventariseerd, wat heeft geleid tot een beperkte groep meest kansrijke velden.

Inventarisatie van de Drenthevelden geeft aan dat er mogelijkheden zijn voor de opslag van productiewater in de velden:

- Schoonebeek Gas 6 putten
- Coevorden 19 putten (gedeeltelijk Drenthe en gedeeltelijk Overijssel)
- Oosterhesselen 4 putten
- Dalen 10 putten

In totaal zijn er 39 putten beschikbaar in deze 4 velden. Er is een voorlopige toetsing uitgevoerd om te bepalen welke putten mogelijk in aanmerking kunnen komen als injectieputten. Daarbij is getoetst op:

- Put integriteit, zoals een goede cementering, wanddikte van de put, annulus check, historische gegevens over controlemetingen, toets of er via de putwand injectiewater langs zoutlagen kan stromen,
- Risico van zoutoplossing nabij de put, waarbij wordt nagegaan in hoeverre er een anhydrietlaag aanwezig is tussen het reservoir en de zoutlagen, welke richting de waterstroming uitgaat vanaf de injectieput en in hoeverre daar direct contact met een zoutlaag kan optreden.
- Risico van seismische activiteiten, hierbij is gekeken naar mogelijke reactivatie van aanwezige breukzones ten gevolge van waterinjectie, thermische veranderingen in het gesteente, eerder

opgetreden aardbevingen gedurende de gaswinning, de maximale grootte van mogelijke aardbevingen en de mogelijke gevolgen van aardbevingen. Voor de putten wordt specifiek gekeken naar de afstand tot breukzones en de magnitude van opgetreden aardbevingen.

- Risico van aanslag op de putwand, dit risico blijkt voor de onderzochte putten zeer laag.
- Injectiviteit van de put.

Bij de ligging van de velden en injectielocaties is rekening gehouden met de mogelijke aanwezigheid van kwetsbare gebieden, zoals natuurgebieden en grondwaterbeschermingsgebieden. De locaties bevinden zich buiten kwetsbare gebieden en ook de putten blijven hier buiten.

m.e.r.-procedure waterinjectie nabij Schoonebeek

Er zijn voldoende de leeggeproduceerde velden en putten nabij Schoonebeek beschikbaar zijn. Voor de eventuele benutting van deze velden is in 2020 gestart met een onderzoek en een m.e.r.-procedure. Deze procedure had specifiek betrekking op de benutting van de gasvelden Schoonebeek Gas, Oosterhesselen en Dalen. Recent is dit m.e.r.-traject voor de gasvelden Dalen en Oosterhesselen stopgezet. Het Schoonebeek gasveld blijft een geschikte kandidaat om Schoonebeek productiewater in op te slaan. Na afronding van de herafweging Twente, kan deze m.e.r.-procedure eventueel worden herstart voor het Schoonebeek gasveld.

Onderdelen alternatief 4 : Waterinjectie Drenthe

Het alternatief 4: "waterinjectie" bestaat zodoende uit de volgende onderdelen:

- Zuivering van het productiewater (bij een variant)
- Afvoer water naar injectielocaties
- Injectie van productiewater in Drenthevelden
- Afvoer van de restproducten

Onderstaand worden deze onderdelen nader uitgewerkt.

Reductie (mijnbouwhulp)stoffen in het productiewater

Alternatief 4 bestaat uit meerdere varianten, waarbij in toenemende mate stoffen uit het productiewater worden verwijderd.

- Variant 4.1 betreft het alternatief zelf gebaseerd op de huidige werkwijze, waarbij onder meer H₂S-binder in de oliewinning wordt gebruikt en biocide aan het productiewater wordt toegevoegd. De overige varianten geven de mogelijkheden weer van reductie van deze en andere stoffen.
- Bij variant 4.2 wordt de toevoeging van biocide aan het productiewater geminimaliseerd. De biocide wordt toegevoegd om stalen leidingen te beschermen. Voor de afvoer van productiewater naar Drenthe-velden kan bacteriologische aantasting ontstaan van de bestaande buisleidingen naar de injectielocaties. Door deze te vervangen door GRE leidingen, kan het gebruik van biociden geminimaliseerd worden.
- Bij variant 4.3 vindt verdere verbetering van de waterkwaliteit plaats, door de toevoeging van H₂S-binder te minimaliseren. H₂S kan de leidingen bij het Schoonebeek olieveld aantasten, zodat voor deze variant ook deze leidingen vervangen moeten worden. Hiermee ontstaat productiewater, met vrijwel alleen nog corrosie-remmer als mijnbouwhulpstof.
- Bij variant 4.4 wordt aanvullend op bovenstaande aanpassingen, tevens verhoogde waarden van CO₂ en BTEX in het productiewater verlaagd. Hiervoor vindt ontgassing plaats in combinatie met chemische sulfide oxidatie.

Tabel 9.1. Overzicht reductie mijnbouw hulpstoffen bij de varianten van Alternatief 4. Daarbij is de gemiddelde verwachte waarde opgegeven.

Mijnbouwhulpstoffen	eenheid	Variante 4.1	Variante 4.2	Variante 4.3	Variante 4.4
Anti-corrosievloeistof	ton/jaar	175	175	175	175
Biocide	ton/jaar	1.168			
Anti-(bariumsulfaat) aanslagvloeistof	ton/jaar	88	88	88	88
Zuurstofbinder	ton/jaar	26	26	26	26
Waterreiniger	ton/jaar	19	19	19	19
Emulsiebreker	ton/jaar	12	12	12	12
Antischuimmiddel	ton/jaar				
H ₂ S-binder	ton/jaar	350	350		
	Totaal	1.838	670	320	320

De bovengenoemde varianten vragen de volgende aanpassingen:

- Vervangen van de transportleiding naar de Drenthevelden (variant 4.2, variant 4.3 en variant 4.4)
- Vervangen van de leidingen in het Schoonebeek olieveld (variant 4.3 en variant 4.4)
- Aanleg zuiveringsfaciliteiten (variant 4.4):
 - Ontgassing: BTEX (Benzeen, Tolueen, Ethyl Benzeen en Xylenen), H₂S en CO₂ worden na dosering van een zuur en stripping met stoom of aardgas afgevoerd als stripgas. Dit stripgas wordt mogelijk eerst ontdaan van H₂S, waarna het resterende BTEX en CO₂ houdende gas in de stoomketel worden verbrand.
 - Chemische sulfide oxidatie van sulfide met ClO₂. (Het resulterende verhoogd sulfaat gehalte leidt niet tot meer biocide gebruik omdat resistente materialen zijn gebruikt.)

Afvoer productiewater naar injectielocaties

Voor waterinjectie wordt uitgegaan van een debiet van circa 3.000 m³ per dag, naar de Drenthevelden afgevoerd. Bij de varianten 4.2, 4.3 en 4.4 worden nieuwe transportleidingen aangelegd naar de Drenthevelden. Deze volgen zoveel mogelijk bestaande leidingtracés. De ligging wordt getoetst aan de aanwezigheid van kwetsbare gebieden (natuur en drinkwater) en daar waar nodig voorzien van beschermende maatregelen.

Monitoring van de transportleidingen vindt plaats conform de huidige transportleidingen, middels pigging en visuele inspectie. Een leidingbreuk wordt hiermee snel herkend, een kleine lekkage wordt zichtbaar door verkleuring van het gebied in de directe omgeving van de transportleiding.

Waterinjectie

De putten en putlocaties in Drenthe zullen hiervoor aangepast moeten worden. Na goedkeuring van de putintegriteit en aanpassingen door SodM kunnen deze putten voor waterinjectie benut worden. Bij de Drenthevelden wordt nagegaan of aanvullende geofoons geplaatst moeten worden.

Afvoer van de restproducten

Alleen bij de variant met waterzuivering (4.4) zal een restproduct ontstaan, in de vorm van stripgas. Dit stripgas wordt mogelijk eerst ontdaan van H₂S, waarna het resterende BTEX en CO₂-houdende gas in een stoomketel op de OBI wordt verbrand.

9.5 Huidige situatie injectie in Twente (update)

Huidige vergunning: Geen zuivering en afvoer naar bestaande Twentevelden met gelimiteerde transportcapaciteit

Als referentiesituatie wordt voortzetting van de huidige situatie meegenomen in de afweging. Hierbij vindt waterinjectie plaats in het Rossum-Weerselo veld, volgens de huidige vergunning.

Beperkingen in de huidige bedrijfsvoering

Vanaf 2015 zijn alleen putten ROW-2, ROW-4, ROW-5 en ROW-7 benut voor waterinjectie. Op jaarbasis vindt injectie plaats van circa 1 miljoen m³. Inmiddels is de put ROW-2 geabandonneerd en loopt er een onderzoek naar de oorzaak van de breuk van de buitenbuis. In afwachting van dit onderzoek is de injectieput ROW-7 gesloten. De overige putten (ROW-4 en ROW-5) zijn door SodM veilig bevonden en worden gebruikt voor waterinjectie. In de referentiesituatie wordt aangenomen dat injectie plaatsvindt in de putten ROW-4, ROW-5 en ROW-7.

Geen waterzuivering

Bij de referentiesituatie vindt er na de waterscheiding bij de OBI geen waterzuivering plaats. De samenstelling van het productiewater is inclusief de mijnbouwhulpstoffen, maar zonder of met minimaal gebruik van biociden. Er worden geen waterstromen meer toegevoegd aan het productiewater.

Watertransport volledige hoeveelheid productiewater

In de referentiesituatie vindt waterafvoer plaats via de pijp in pijp constructie (maximaal circa 3.000 m³ per dag) naar waterinjectielocaties van het Rossum Weerselo veld. Bij de referentiesituatie vindt alleen waterinjectie plaats bij Rossum Weerselo.

Er is eind 2021 een zogenaamd boosterstation bij De Hulte geplaatst. Hiermee kan de transportcapaciteit van de pijp in pijp leiding vergroot worden.

Bijlagen

- 1) Marktconsultatie zuiveringstechnieken productiewater, 2022, Royal HaskoningDHV**

RAPPORT

Marktconsultatie zuiveringstechnieken productiewater

Toetsing TRL en milieufactoren

Klant: NAM

Referentie: BF5299-RHD-ZZ-XX-RP-Z-0001

Status: Definitief/001

Datum: 28-1-2022

HASKONINGDHV NEDERLAND B.V.

Laan 1914 no.35
3818 EX Amersfoort
Water & Maritime
Trade register number: 56515154

+31 88 348 20 00 **T**
+31 33 463 36 52 **F**
info@rhdhv.com **E**
royalhaskoningdhv.com **W**

Titel document: Marktconsultatie zuiveringstechnieken productiewater

Sub titel: Toetsing TRL en milieufactoren
Referentie: BF5299-RHD-ZZ-XX-RP-Z-0001
Status: 001/Definitief
Datum: 28-1-2022
Projectnaam: NAM waterinjectie Twente
Projectnummer: BF5299
Auteur(s):

Opgesteld door:

Gecontroleerd door:

Datum:

Goedgekeurd door:

Datum:

Classificatie

Projectgerelateerd

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

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

Contents

1	Aanleiding	3
2	Resultaten marktconsultatie	5
2.1	Uitvraag waterzuiveringstechnologieën	5
2.2	Vaststellen van TRL van de verschillende technologieën	7
2.3	Vaststellen milieufactoren	9
3	Conclusies	11
	BIJLAGE 1: Toetsing aangeleverde zuiveringstechnieken	12

1 Aanleiding

In Schoonebeek wint de Nederlandse Aardolie Maatschappij (NAM) aardolie. Bij de winning van aardolie komt productiewater vrij. NAM injecteert dit productiewater in leeg geproduceerde gasreservoirs in Twente. De milieuvergunning stelt kwaliteitseisen aan het proces waarmee het productiewater verwerkt wordt. Ook wordt in de milieuvergunning voorgeschreven dat er elke zes jaar een evaluatie van het verwerkingsproces moet plaatsvinden. Doel van de evaluatie is om na te gaan of waterinjectie nog steeds de beste verwerkingsoptie is voor het productiewater, of dat er mogelijk andere manieren zijn om het productiewater te verwerken of in te zetten.

Herafweging¹ 2016

De eerste evaluatie heeft plaatsgevonden in 2016. Ten behoeve van de evaluatie in 2016 (zie “Integraal eindrapport Herafweging verwerking productiewater Schoonebeek, 12 december 2016”) zijn er vier verschillende typen oplossingen met elkaar vergeleken. Deze oplossingen kunnen als volgt gekarakteriseerd worden;

- Alternatief 1: volledige zuivering van het productiewater (restafval zout);
- Alternatief 2: deels zuiveren en zout water lozen;
- Alternatief 3: injecteren van ingedikt productiewater (25% van totale hoeveelheid productiewater; geen residu);
- Alternatief 4: waterinjectie in gasvelden in Twente en Drenthe.

De Minister van Economische Zaken heeft toentertijd een besluit genomen over het vervolg, en heeft de NAM verzocht het zuiveringsalternatief (Alternatief 1) nader uit te werken. Daarnaast heeft de Minister gevraagd waterinjectie in Twente- en Drenthevelden (Alternatief 4) mee te nemen. De beoordeling van Alternatieven 1 en 4 (en varianten) heeft plaatsgevonden met behulp van de CE-afwegingsmethodiek (een nadere beschouwing van de beoordelingsmethodiek is terug te vinden in de rapportage “Integraal eindrapport Herafweging verwerking productiewater Schoonebeek, 12 december 2016”). Deze bestaat uit twee stappen: de toetsing van randvoorwaarden voor het productiewater en de geselecteerde reservoirs, en een doelmatigheidstoets.

Onderdeel van deze doelmatigheidstoets was een Levenscyclusanalyse (LCA) waarmee een inschatting van milieueffecten wordt gemaakt. Daarnaast is er getoetst op kosten en risico's voor het zuiveren van het productiewater. Voor Alternatief 1 gold dat deze aanzienlijk waren, maar de voornaamste conclusie was dat de impact op het milieu te groot bleek. (Te) hoog energieverbruik van een aantal benodigde processtappen, maar ook gebruik van chemicaliën, en het restproduct dat overblijft na zuivering van het productiewater speelden een rol. Dit scenario werd in 2016 daarom niet als plausibele oplossingsrichting beoordeeld. Op basis van deze uitwerking werd er geconcludeerd dat waterinjectie (Alternatief 4) of een variant daarop de beste methode voor het verwerken van het productiewater was. Het ministerie van Economische Zaken heeft deze conclusie onderschreven.

Vervolg – uitvraag en toetsing leveranciers

Bij de afronding van het onderzoek in 2016 is door het ministerie van Economische Zaken aan NAM gevraagd de ontwikkeling van nieuwe zuiveringstechnieken scherp in beeld te houden en daar waar mogelijk nieuwe, veelbelovende technieken te toetsen op (toekomstige) inzetbaarheid. Er waren geen aanwijzingen dat in 2016 technieken over het hoofd gezien zijn, maar er kunnen in de daaropvolgende jaren nieuwe technieken beschikbaar komen, die bij de volgende herafweging meegenomen dienen te worden.

¹ De Herafweging wordt ook wel aangeduid als herevaluatie. Met beide termen wordt hetzelfde proces bedoeld.

De afgelopen jaren heeft NAM de volgende stappen ondernomen om nieuwe zuiveringstechnieken in beeld te hebben:

- Een brede uitvraag gedaan naar zowel bekende als naar minder bekende leveranciers (laatstgenoemden via de NAM-website);
- Een bijeenkomst georganiseerd voor alle geïnteresseerde leveranciers bij NAM, waarbij op detail besproken is wat de karakteristieken zijn van het productiewater en de eisen ten aanzien van het te lozen water en de restproducten;
- De input van de leveranciers is verzameld en door een externe partij getoetst op de toepasbaarheid.

De bijeenkomst heeft plaatsgevonden in 2019. Hierbij waren meerdere partijen vertegenwoordigd. Dit heeft geleid tot inzichten in de ontwikkelingen, maar er werd nog geen direct toepasbare zuiveringstechniek aangewezen. Daarmee is er ook nog geen concrete vraag voor het uitvoeren van een pilot.

NAM heeft recentelijk de markt nogmaals geconsulteerd met betrekking tot de ontwikkeling van (nieuwe) technologieën op het gebied van het zuiveren van productiewater. Ook de partijen die hebben deelgenomen aan de eerdergenoemde bijeenkomst zijn opnieuw benaderd om te achterhalen of hun statements naar aanleiding van die bijeenkomst veranderd zijn, en of de toen besproken technologieën in de tussentijd verder ontwikkeld zijn. De uitkomst van deze consultatie worden in deze rapportage toegelicht.

Leeswijzer

Royal HaskoningDHV is gevraagd te onderzoeken in hoeverre er uit de marktconsultatie operationeel volwassen technologieën naar voren zijn gekomen die de praktische en technisch uitvoer zijn.

Hoofdstuk 2.1 beschrijft de marktbenadering.

In hoofdstuk 2.2 van dit rapport worden de door de markt voorgestelde technieken geëvalueerd aan de hand van de 'Technology Readiness Level' methodiek (TRL). Met deze methode kan beschreven worden welke technieken operationeel volwassen zijn en direct toegepast kunnen worden, en welke technieken nog verdere ontwikkeling behoeven. Deze methode wordt regulier toegepast voor industriële systeemkeuzes en de bevindingen met betrekking tot de in dit rapport genoemde technologieën worden toegelicht in Bijlage 1.

In hoofdstuk 2.3 wordt ingegaan op de te verwachten milieueffecten voor deze zuiveringstechnieken. Dit wordt vergeleken met de bevindingen uit de eerdere afweging in 2016, met als doel na te gaan of er zuiveringstechnieken zijn die beter scoren dan in de eerdere afweging.

De conclusies van deze marktconsultatie staan beschreven in hoofdstuk 3.

2 Resultaten marktconsultatie

2.1 Uitvraag waterzuiveringstechnologieën

In het verlengde van de herafweging in 2016 heeft NAM onderzoek gedaan naar mogelijke waterzuiveringstechnieken.

Een waterzuiveringstechniek alleen is uiteindelijk niet voldoende, het zal een geheel moeten vormen met het gehele oliewinningsproces. Dat betekent dat eventuele restproducten verwijderd moeten kunnen worden en dat het schoon water ofwel geloosd ofwel hergebruikt moet worden. Daarnaast moeten omringende faciliteiten geregeld worden, zoals een locatie voor de waterzuivering, en leidingen om productiewater aan te voeren en de restproducten af te voeren. Indien er een ingedikt eindproduct is zal dit moeten worden geïnjecteerd of anderszins verwerkt. Bij kristallisatie tot een zoutproduct, zal er verwerking geregeld moeten worden. Daarnaast zal de voorziening van elektriciteit op de waterzuiveringslocatie geregeld moeten worden. Echter, de kern van alternatieve oplossingen is in eerste instantie een efficiënte waterzuivering. Zodra deze is gevonden, kunnen de aansluiting op het oliewinningsproces en de bijbehorende faciliteiten in beeld worden gebracht.

In dit hoofdstuk wordt beschreven hoe NAM de afgelopen jaar heeft getracht nieuwe waterzuiveringsmethodieken in de markt te ontdekken en hoe deze vervolgens zijn getoetst.

Uitvraag naar waterzuiveringsleveranciers en -ontwikkelaars

In 2018 is nagegaan of er al nieuwe ontwikkelingen zijn in de waterzuiveringsmarkt, waardoor de conclusies van de Herafweging 2016 herzien moeten worden. In een tussenrapportage concludeert Royal HaskoningDHV dat op dit moment (2018) nog geen zuiveringstechniek voorhanden is die meer milieuvriendelijk is dan de huidige manier van waterverwerking. Deze afweging vond plaats relatief kort na de publicatie van de Herafweging. De ontwikkeling van nieuwe zuiveringstechnieken kost over het algemeen meerdere jaren tijd, zodat het onderzoek wellicht wat te kort na de Herafweging plaatsvond.

NAM heeft in de periode na 2018 actief de markt van waterzuiveringsleveranciers benaderd. Dit heeft er toe geleid dat een lijst met mogelijke leveranciers en technieken is ontstaan. Dit heeft geleid tot een lijst met negen potentiële leveranciers. In de loop van de tijd is deze lijst verder uitgebreid.

Op 29 mei 2019 heeft NAM vanaf deze opgebouwde lijst met leveranciers de geïnteresseerden uitgenodigd voor een bijeenkomst bij NAM. De bijeenkomst vond plaats op 3 juli 2019, waarbij geïnteresseerden toelichting hebben gekregen op de specifieke eigenschappen van het productiewater, en de inpassing van een technologie in de totale olieproductie Schoonebeek. Op basis hiervan konden de partijen hun voorstellen en technieken verder aanscherpen.

De opgave

Tijdens de bijeenkomst is duidelijk gemaakt dat de zuiveringstechnieken zoals bekend in 2016 bij de weging van alternatieven slechter scoorden dan het waterinjectie alternatief. Belangrijkste milieufactoren zijn daarbij het verbruik van energie, het gebruik van chemicaliën, en het restproduct waarvoor nog een oplossing gevonden moet worden. De opgave is zodoende een zuiveringstechniek te vinden die beter scoort op deze aspecten en daardoor bij een weging met het waterinjectie alternatief beter scoort.

Eind 2019 was het duidelijk dat er nog geen technieken beschikbaar waren die significant beter scoren dan de getoetste technieken in de Herafweging 2016.

Start Herafweging – 2021 - 2022

Als onderdeel van de nieuwe Herafweging (formeel in 2022, maar op verzoek van de Tweede Kamer al in 2021 gestart), zijn alle partijen in maart 2021 opnieuw benaderd met de vraag welke nieuwe ontwikkelingen interessant kunnen zijn als mogelijk toekomstige waterzuiveringstechniek. De geïnteresseerden zijn gevraagd nieuwe ontwikkelingen kort te beschrijven inclusief een korte technische toelichting van het verwijderingsproces.

Overzicht ontvangen zuiveringstechnieken

De ontvangen zuiveringstechnieken zijn gepresenteerd in Tabel 1. De technieken zijn gecategoriseerd op type zuivering (bijv. TSS- of olieverwijdering). Ook is per techniek weergegeven welke leverancier de techniek kan leveren.

Tabel 1: Overzicht technologieën met bijbehorende mogelijke leverancier en behandelingstype.

	Naam techniek	Voorbeeld van een leverancier	Categorie
1	Verdamping	Suez	Ontzouten
2	Ontharding met kalkmelk + ionenwisseling	Suez	Ontzouten/ontharden
3	ABX™	Nijhuis Saur Industries (Aquafortus technologies Ltd)	Ontzouten
4	Keramische ultrafiltratie	Chemtron	Deeltjesverwijdering
5	Polymeer membraan ultrafiltratie	Pentair	Deeltjesverwijdering
6	Elektrocoagulatie	Morselt Watertechniek BV	Deeltjesverwijdering
7	Advanced Oxidation Technology	Paques	Oxidatie
8	FerSol	Ferr-tech	Oxidatie
9	Opticlear Diamond® technology	WaterIQ	Verwijdering van organische verbindingen
10	BIOX	O3 systems	Verwijdering van organische verbindingen
11	Bio-organische katalyse	E.H. GRRN Products for the Environment LTD	Verwijdering van organische verbindingen
12	Ontzouting met Isopropyl Alcohol (IPA)	Advanced Industrial Process B.V.	Ontzouten
13	Tempa Rossa	Suez (voorheen GE Water)	Totaalconcept; zero liquid discharge

Toetsing Technology Readiness Levels (TRL) en milieufactoren

Oorspronkelijk was het de bedoeling de technieken voor te leggen aan de onderzoeksgroep EMI gelieerd aan de Universiteit Twente (UT), zodat EMI zou beoordelen of deze verwijderingsmethode opgenomen moet worden in het tweede evaluatierapport. Naderhand heeft EMI aangegeven deze toetsing niet uit te kunnen voeren, zodat dit nu is gedaan door Royal HaskoningDHV.

Royal HaskoningDHV heeft de aangeleverde technieken beoordeeld op de mate waarin de techniek ontwikkeld is en reeds toegepast wordt. Dit wordt met de term Technology Readiness Level (TRL) aangeduid, waarvoor standaard een 9 gradaties zijn gedefinieerd.

TRL is een soort meetlat in negen stappen waarop je kunt aflezen hoe ver een nieuwe techniek op weg is naar volwassenheid. De betekenis van de waarden is weergegeven in Tabel 2. Het laagste niveau TRL 1 betekent dat er fundamenteel onderzoek wordt gedaan naar de techniek en bij het hoogste niveau TRL 9 is de technologie voldoende bewezen in de markt.

Tabel 2: Indicatoren per TRL-waarde.

TRL waarde	Indicatoren
1	Basisprincipe geobserveerd
2	Technologisch concept geformuleerd
3	Experimentele proof of concept
4	Technologie is gevalideerd in het lab
5	Technologie is gevalideerd in relevante omgeving voor de techniek
6	Technologie is gedemonstreerd in relevante omgeving voor de techniek
7	Technologie prototype is gedemonstreerd in operationele omgeving (pilot)
8	Systeem is gekwalificeerd en compleet
9	Technologie is daadwerkelijk bewezen op grote schaal in operationele omgeving

Aan de hand van bovenstaande criteria wordt een eindcijfer gegeven aan de nieuwe technologieën. Technologieën die bewezen zijn krijgen een TRL 9. Deze technologieën zijn zodanig ver ontwikkeld dat NAM ze als alternatief kan meenemen in de heroverweging. Indien tot implementatie besloten wordt moet eerst nog een pilot uitgevoerd worden zodat ontwerpparameters vastgesteld kunnen worden. Technologieën met een TRL 8 komen in de buurt van volwassenheid en zullen door de NAM in de gaten worden gehouden en bij een volgende overweging worden meegenomen. Technologieën met een TRL van 7 of lager zijn nog in de proeffase en zijn op korte termijn niet toepasbaar.

Naast de toetsing op de TRL heeft Royal HaskoningDHV tevens een toetsing gedaan op de milieufactoren, energieverbruik, gebruik chemicaliën en verwerking restproduct. Deze toetsing geeft een beeld of het mogelijk is tot een betere milieuscore te komen ten opzichte van de technieken gebruikt in de Herafweging 2016.

2.2 Vaststellen van TRL van de verschillende technologieën

Van de dertien ontvangen zuiveringstechnieken uit Tabel 1 zijn in Tabel 3 twaalf geëvalueerde technieken gepresenteerd met hun respectievelijke Technology Readiness Level (TRL). De TRL-beoordelaars hebben elke technologie uitsluitend beoordeeld op basis van de informatie die door de technologieleveranciers aan NAM is verstrekt.

Tabel 3: TRL-waarde per geëvalueerde technologie.

Optie	Naam techniek	TRL-waarde
1	Keramische ultrafiltratie	9
2	Polymeer membraan ultrafiltratie	9
3	Elektrocoagulatie	9
4	Verdamping	9
5	Ontharding met kalkmelk	9
6	Advanced Oxidation Technology	9
7	BIOX	9

8	Bio-organische katalyse	9
9	Opticlear Diamond® technology	8-9
10	FerSol	5-7
11	ABX™	5-7
12	Ontzouting met IPA)	4-7

Uit Tabel 3 blijkt dat het merendeel van de technieken als TRL 9 gekwalificeerd zijn en op grote schaal worden toegepast. Dat betekent dat het zinvol is na te gaan hoe effectief de toepassing is voor de specifieke samenstelling van het productiewater uit de oliewinningwinning Schoonebeek.

Optie 1 tot en met 5

Keramische ultrafiltratie, polymere membraan ultrafiltratie, elektrocoagulatie, verdamping, en ontharding met kalkmelk zijn algemene commerciële technieken binnen de olie- en gasindustrie. Van deze vijf technieken heeft alleen elektrocoagulatie onvoldoende toegevoegde waarde voor de behandeling van het productiewater en wordt derhalve als niet geschikt voor behandeling van het productiewater beschouwd. De andere vier technologieën zijn afzonderlijk niet voldoende om het productiewater te zuiveren tot de geëiste kwaliteit, maar in combinatie met andere technologieën zijn het wel geschikte opties.

Optie 6 tot en met 11

Advanced Oxidation Technology, BIOX, bio-organische katalyse, Opticlear Diamond® technology, FerSol, en ABX™ zijn nieuwe technologieën die in de afgelopen jaren verder zijn doorontwikkeld tot commerciële technieken. Deze technieken zijn nog niet op grote schaal in de olie- en gasindustrie bewezen.

Optie 12

De verschillende technieken en technologieën zoals genoemd in Tabel 1 bieden nog geen totaal zuiveringsconcept, daarvoor moeten er nog combinaties worden gezocht. Advanced Industrial Processes B.V. biedt een totaalconcept aan waar optie 12 onderdeel van is. Dit concept kent drie fasen van verwijdering: traditionele olieafscheiding en aromatenverwijdering met poreuze polymeren gevolgd door verwijdering van zwavelverbindingen en tweewaardige ionen, en een laatste fase waarin eenwaardige ionen verwijderd worden met IPA (optie 12). IPA wordt teruggewonnen via pervaporatie. Deze ontzoutingstechniek is op laboratoriumschaal bewezen en wordt nog niet grootschalig toegepast.

Tempa Rossa (optie 13 uit tabel 1)

Tempa Rossa is een concreet voorbeeld van een totaalconcept. Het betreft een olieproductielocatie in Italië, waar het gelijknamige concept operationeel wordt toegepast. Dit concept hoeft derhalve voor wat betreft technische uitvoerbaarheid niet getoetst te worden. In dit rapport wordt dit concept (hieronder verder toegelicht) dan ook vooral aangedragen als praktijkvoorbeeld.

De Tempa Rossa productiesite bestaat uit verschillende fabrieken en heeft verschillende proceseenheden voor de behandeling en stabilisatie van 50.000 vaten ruwe olie per dag. De productiewaterbehandeling van Tempa Rossa is gebaseerd op Zero Liquid Discharge (ZLD). Deze productiewaterzuivering is gerealiseerd door Suez (voorheen GE Water) rond 2019 op basis van de tot dan toe best beschikbare technieken (BBT). De capaciteit van de productiewaterzuivering bedraagt ca 2.000 m³ per dag. Ter vergelijking, de productiewaterzuivering van NAM bedraagt thans circa 3.000 m³/d met een beoogde capaciteit van circa 8.000 m³/d.

De gerealiseerde productiewaterzuivering van Tempa Rossa bevat een aantal processtappen:

- Om het grootste deel van de nog aanwezige koolwaterstoffen in het productiewater te verwijderen, vindt er eerst een induced gas flotation (IGF) stap plaats, gevolgd door een filtratiestap. Deze filtratiestap bestaat uit een walnutshell filter (WSF);
- Het filterresidu, dat rijk is aan koolwaterstoffen, wordt naar een sloptank geleid waarna opnieuw olie/water scheiding plaatsvindt;
- Het hart van de productiewaterzuivering bestaat uit een serie van verdampers en crystallizers die het filtraat behandelen. De zouten die opgelost waren in het filtraat worden als vaste stof verwijderd en afgevoerd, en waar mogelijk elders nuttig toegepast. Het gezuiverde water dat vrijkomt tijdens deze stappen kan vervolgens weer worden ingezet in het productieproces.

2.3 Vaststellen milieufactoren

Uit de LCA uitgevoerd in 2016 is gebleken dat bij de milieuvergelijking van waterzuiveringstechnieken met andere verwerkingstechnieken, drie factoren onderscheidend waren:

- Energieverbruik;
- Gebruik van chemicaliën;
- Verwerking restproduct.

Het is van belang dat de zuiveringstechniek op deze aspecten aanzienlijk beter scoort dan de getoetste technieken in 2016, om zo te komen tot een vergelijkbare of betere score dan waterinjectie.

Onderling tussen de waterzuiveringstechnieken blijkt vooral het benodigde energieverbruik onderscheidend.

Tabel 4 biedt een overzicht van de nieuwe lijst met technologieën, en beschrijft per technologie of er een impact is ten aanzien van de 2016 evaluatie.

Van alle geëvalueerde technologieën zou alleen ABX™ een significante impact hebben op de uitkomst van de studie in 2016. ABX™ is een ontziltingstechniek, waarbij het verwijderde zout gekristalliseerd wordt. Volgens de ontwikkelaars van deze techniek zou het energieverbruik 80%-90% minder zijn dan voor conventionele ontziltingstechnieken. Daarmee zou deze technologie een grote, positieve impact hebben op de evaluatie uit 2016. Op het moment van deze rapportage is er nog onvoldoende informatie aanwezig over deze technologie (TRL score van 5-7). Wanneer deze technologie zich verder ontwikkelt, zal er een uitgebreider onderzoek plaats moeten vinden om de daadwerkelijke impact van deze technologie vast te kunnen stellen.

Tabel 4: Impact van technologieën op studie 2016.

Naam techniek	Impact op studie 2016 [Ja/Nee]	Waarom wel/geen impact
Keramische ultrafiltratie	Nee	In 2016 is deze techniek ook meegenomen in de evaluatie. Aangezien deze techniek voornamelijk bedoeld is voor deeltjesverwijdering, zal deze techniek weinig impact hebben op het overall energieverbruik en dus ook op de uitkomst van de studie in 2016.
Polymeer membraan ultrafiltratie	Nee	Aangezien deze techniek voornamelijk bedoeld is voor deeltjesverwijdering, zal deze techniek weinig impact hebben op het overall energieverbruik en dus ook op de uitkomst van de studie in 2016.

Naam techniek	Impact op studie 2016 [Ja/Nee]	Waarom wel/geen impact
Elektrocoagulatie	Nee	Elektrocoagulatie draagt bij aan de verwijdering van vaste deeltjes, gedispergeerde olie en zware metalen. Uit de LCA-rapportage, met de verschillende waterbehandelingsconcepten, blijkt dat het energieverbruik de evaluatie domineert. Het energieverbruik wordt gedomineerd door de ontziltings- en kristallisatiestappen. Een mogelijke verbetering als gevolg van de introductie van elektrocoagulatie zal daarom geen significant effect hebben.
Verdamping	Nee	Verdamping is in 2016 meegenomen in de evaluatie en zelfs meegenomen als processtap in verschillende waterzuiveringsconcepten. Sinds 2016 is deze techniek niet verder doorontwikkeld en zal daarom geen impact hebben op de studie in 2016.
Ontharding met kalkmelk + ontzouting via ionenwisseling	Nee	Tijdens ontharding worden Calcium en Magnesium verwijderd uit afvalwater. Deze twee elementen zijn slechts goed voor een klein gedeelte van productiewater compositie (ong. 1%). Chemicaliënverbruik en slibafzet zullen een negatieve impact hebben op de LCA. Na de ontharding volgt ontzouting door middel van ionenwisseling. Het thans geproduceerde water kan gebruikt worden in de stoomproductie voor het oliewinningsproces.
ABX™	Ja	ABX™ wordt toegepast voor het ontzouten van afvalwater. Volgens de eigenaar van deze techniek kan een 80%-90% energiereductie behaald worden in vergelijking met het energieverbruik voor andere ontziltings- of kristallisatietechnieken. In de studie van 2016 is naar voren gekomen dat het energieverbruik de uitkomsten de LCA domineerden, met name het energieverbruik voor ontzouten en kristallisatie. In 2016 was deze techniek niet meegenomen en kan dus een significante impact hebben op de studie in 2016. Op het moment van deze rapportage, is er nog onvoldoende informatie aanwezig over deze technologie. Wanneer deze technologie zich verder ontwikkelt, zal er een uitgebreidere evaluatie plaats moeten vinden om de daadwerkelijke impact van deze technologie vast te kunnen stellen.
Advanced Oxidation Technology	Nee	Deze techniek wordt toegepast voor het oxideren van organische verbindingen. De behandeling van water met deze technologie is zeer laag in energieverbruik en in vergelijking met het energieverbruik benodigd voor ontzilting of kristallisatie zelfs verwaarloosbaar.
FerSol	Nee	In de studie van 2016 is naar voren gekomen dat het energieverbruik de uitkomsten de LCA domineerden, met name het energie verbruik voor ontzouten en kristallisatie. Deze technologie richt zich vooral op de verwijdering van opgeloste organische stoffen, vaste deeltjes, gedispergeerde oliën en zware metalen waarbij de energievraag een stuk lager ligt. Op basis hiervan kan worden aangenomen dat de conclusie van 2016 niet zal veranderen.
Opticlear Diamond® technology	Nee	In de studie van 2016 is naar voren gekomen dat het energieverbruik de uitkomsten de LCA domineerden, met name het energieverbruik voor ontzouten en kristallisatie. Deze technologie richt zich vooral op de verwijdering van opgeloste organische stoffen, vaste deeltjes, gedispergeerde oliën en zware metalen waarbij de energievraag een stuk lager ligt. Op basis hiervan kan worden aangenomen dat de conclusie van 2016 niet zal veranderen.
BIOX	Nee	Deze techniek wordt toegepast voor het oxideren van organische verbindingen. De behandeling van water met deze technologie is zeer laag in energieverbruik en vergeleken met het energieverbruik voor ontzilting of kristallisatie zelfs verwaarloosbaar.
Bio-organische katalyse	Nee	In dit proces wordt een bio-organische katalysator gedoseerd in het water waardoor voornamelijk vetten en oliën worden afgebroken. Deze techniek zal weinig impact hebben op het totale energieverbruik van het overall proces en daarom geen significante impact hebben op de studie in 2016.
Ontzouting met IPA	Nee	In de studie van 2016 is naar voren gekomen dat het energieverbruik de uitkomsten de LCA domineerden, met name het energieverbruik voor ontzouten en kristallisatie. Op het moment van deze rapportage, is deze techniek alleen nog gevalideerd op het lab (TRL 4). Wanneer deze technologie zich verder ontwikkelt, zal er een uitgebreidere evaluatie plaats moeten vinden om de daadwerkelijke impact van deze technologie vast te kunnen stellen. Er kan op dit moment worden aangenomen dat de conclusie van 2016 niet zal veranderen.

3 Conclusies

NAM heeft een nieuwe inventarisatie gedaan van water zuiveringstechnieken, om recente ontwikkelingen in technologie in beeld te brengen. Royal HaskoningDHV heeft op verzoek van NAM de door leveranciers ingebrachte zuiveringstechnieken getoetst op TRL en op milieufactoren. Daaruit volgt:

Algemeen

- In totaal zijn er 13 waterzuiveringstechnologieën beoordeeld.
- Er zijn hierbij tevens technologieën geïdentificeerd die ten tijde van de voorgaande studie in 2016 niet in de markt beschikbaar waren.
- De marktconsultatie is primair gericht op verbeteren de optie waarbij het productiewater wordt gezuiverd met daarbij een vast restproduct (kristallisatie). Naast de focus op deze toepassing is ook gekeken of de inzendingen verdere verbeteringen bieden van het indikalternatief.
- Indien als gevolg van de Herafweging besloten wordt om een zuivering technologie te implementeren wordt hiervoor eerst een pilot uitgevoerd, zodat de ontwerpparameters vastgesteld kunnen worden.

Toetsing TRL

- De technologieën zijn beoordeeld op hun inzetbaarheid door middel van een Technology Readiness Ranking.
- Er zijn 10 technologieën geclassificeerd met TRL 9. Voor deze technologieën kan op basis van ervaringen bij grootschalige toepassing de werking getoetst worden.
- Er zijn drie technologieën in de bandbreedte van TRL 4 tot en met 7. Hiervoor geldt dat de toetsing van functioneren alleen op theoretische basis, of op kleine laboratorium schaal kan plaatsvinden. Het is niet de verwachting dat deze technologieën al op korte termijn inzetbaar zijn.

Toetsing Milieufactoren

- Alle zuiveringstechnieken zijn getoetst op gebruik van energie, benodigde chemicaliën, en verwerking van het restproduct. Met geen van de technologieën zou er een significante impact zijn geweest ten tijde van de 2016 Herafweging, met uitzondering van één techniek.
- De enige besproken technologie die de uitkomsten van het LCA-rapport uit 2016 kan beïnvloeden is de ABX™ technologie van Nijhuis Saur Industries. Dit betreft een ontziltningstechniek waarvan het energieverbruik naar verwachting aanzienlijk lager ligt dan wat in 2016 is ingeschat. Wanneer deze technologie zich verder ontwikkelt, kan met een uitgebreidere evaluatie de daadwerkelijke impact van deze technologie bepaald worden.

Suggestie voor in Herafweging 2021 / 2022 af te wegen alternatief voor waterzuivering

- De ABX™ technologie van Nijhuis Saur Industries zal nader besproken worden bij de alternatieven afweging in de Herafweging 2021 / 2022.
- In het kader van de Herafweging 2021 / 2022 zal het best beschikbare zuiveringsalternatief worden getoetst. Onderdeel van dit alternatief is een waterzuivering waarbij het productiewater zoveel mogelijk wordt ingedikt. De bevindingen uit dit onderzoek zijn gebruikt bij de afwegingen van zuiveringstechnieken van het Circulair Alternatief.

BIJLAGE 1: Toetsing aangeleverde zuiveringstechnieken

Ceramic Ultrafiltration (cUF)

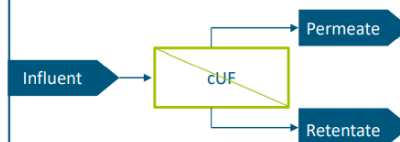


- Proposed by: Chemtron
- Pre-treatment: removal of bulk dispersed oil
- Function in overall process: suspended solids removal, limited dispersed oil removal (polishing)

Process Description

cUF is a pressure-driven barrier for solids. The influent stream is forced (by pressure) against a ceramic membrane through which particles with a size larger than the pore-size of the membrane cannot pass. The liquid that passes the membrane, the permeate, will therefore only contain solutes (such as salts) not rejected by the membrane, while the remaining material will be concentrated in the retentate.

Process overview



Process characteristics

- Suspended matter is concentrated in the retentate and cannot pass the membrane.
- The permeate still contains solutes (e.g. salts).
- In time the membrane will build up a fouling layer, depending on the composition of the influent stream. Therefore, the membrane will have to be cleaned/replaced periodically.
- The membrane performance is dependent on pore size and porosity of the used ceramic.

Technical development since “Herafweging verwerking productie-water Schoonebeek” 2016

This technology was considered in the 2016 evaluation and was incorporated in several concepts. Since then, the technology has matured but not significantly to warrant a different conclusion to the evaluation in 2016.

The life-cycle assessment of the water treatment concepts developed in 2016 indicated that energy use dominates the evaluation. The energy is dominated by the desalination and crystallisation steps. Considering that cUF contributes marginally to the energy use, improvements in the technology is not expected to have significant impact on the conclusions of the life-cycle assessment.

Technology Maturity

Technology Readiness Level (TRL): 9

Applied within petrochemical industry for suspended solids and dispersed oil removal (polishing).

Polymeric Ultrafiltration (pUF)

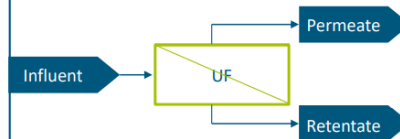


- Proposed by: Pentair
- Pre-treatment: removal of bulk dispersed oil
- Function in overall process: suspended solids removal, limited dispersed oil removal (polishing)

Process Description

Ultrafiltration is a process in which solids and some insoluble components can be separated from water. Two streams will leave the ultrafiltration unit, concentrate (solids and insoluble components) and the permeate. For ultrafiltration 2 types of membranes are available, ceramic membranes and polymer membranes. Polymer membranes are in general lower cost than ceramic membranes. However, the polymer can be damaged by chemicals in the water and also be damaged by mechanical stress.

Process overview



Process characteristics

- Suspended matter is concentrated in the retentate and cannot pass the membrane.
- The permeate still contains solutes (e.g. salts).
- In time the membrane will build up a fouling layer, depending on the composition of the influent stream. Therefore, the membrane will have to be cleaned/replaced periodically.
- The membrane performance is dependent on pore size and porosity of the used polymer membrane.

Technical development since “Herafweging verwerking productie-water Schoonebeek” 2016

This technology was considered in the 2016 study. However, the ceramic ultrafiltration was preferred above the polymer membrane variant. Since then, the technology has matured but not significantly to warrant a different conclusion to the evaluation in 2016.

The life-cycle assessment of the water treatment concepts developed in 2016 indicated that energy use dominates the evaluation. The energy is dominated by the desalination and crystallisation steps. Considering that pUF contributes marginally to the energy use, improvements in the technology is not expected to have significant impact on the conclusions of the life-cycle assessment.

Technology Maturity

Technology Readiness Level (TRL): 9

Applied within petrochemical industry for suspended solids and dispersed oil removal (polishing).

Electro-coagulation

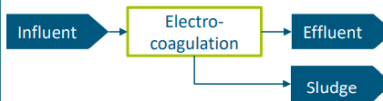


- Proposed by: Morselt Watertechniek BV (Redbox)
- Pre-treatment: removal of bulk dispersed oil
- Function in overall process: suspended solids removal, dispersed oil removal, heavy metals removal

Process Description

In this process an anode and cathode plate are put under electricity. Due to the electricity the plates are oxidized to Fe_3^+ and the water to OH^- . These ions will form different complexes e.g., $Fe(OH)_2^+$. These complexes will attract pollution in the water, creating floculants. The floculants will then be separated from the water.

Process overview



Process characteristics

- Electricity is used to flocculate TSS in the wastewater
- The anode, cathode might be prone to scaling or film formation on the electrodes. This will significantly reduce the flocculation potential.
- Sludge produced require disposal.

Technical development since “Herafweging verwerking productie-water Schoonebeek” 2016

Electro-coagulation contributes to the removal of primary solids, dispersed oil and heavy metals. The life-cycle assessment of the water treatment concepts developed in 2016 indicated that energy use dominate the evaluation. The energy is dominated by the desalination and crystallisation steps. Therefore, the possible improvement as a result of the introduction of electro-coagulation will not have a significant impact.

Technology Maturity

Technology Readiness Level (TRL): 9

Already in operated at full-scale in some industries.

Evaporation



- Proposed by: Suez
- Pre-treatment: removal of bulk dispersed oil
- Function in overall process: desalination, concentration

Process Description

By heating up wastewater, water will start to evaporate. The evaporated water will be steam that can be reused in other process or condensed back to very pure water. In the latter water will usually be stored until later use on-site.

Process overview



Process characteristics

- To heat up the water, steam or electricity can be used.
- The waste stream coming from the evaporators is concentrated brine.
- The process is sensitive for silica and this mitigated by the use of chemical.

Technical development since “Herafweging verwerking productie-water Schoonebeek” 2016

This technology was considered in the 2016 evaluation and was incorporated in several water treatment concepts. Since then, the technology has matured but not significantly to warrant a different conclusion to the evaluation in 2016.

Technology Maturity

Technology Readiness Level (TRL): 9

Commonly used to obtain desalinated water from waste, to concentrate, or to recover products (salts)

References in oil and gas: Sucor Firebag P2 (Canada), Connacher (Canada), Athabasca Oil Company (Canada)

Tempa Rossa

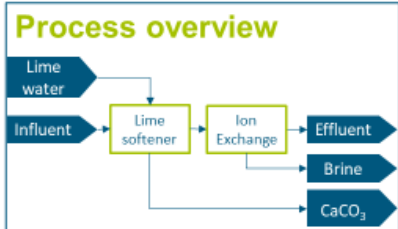
Lime Softening



- Proposed by: Suez
- Pre-treatment: removal of bulk dispersed oil
- Function in overall process: desalination (partial)

Process Description

Lime in the form of limewater, calcium hydroxide is added to the water. The addition of lime causes an increase in pH, resulting in calcium carbonate precipitation (decrease the alkalinity). Additionally, silica can be removed from the water via co-precipitation and some organics may be removed via coagulants.



- Process characteristics**
- This process has a cold and warm variant. The temperature influences the removal rate of TSS hardness, alkalinity and silica
 - The process mainly target's water hardness (calcium and magnesium). Complete desalination is not achieved.
 - Process can produce significant quantity of sludge.

Technical development since "Herafweging verwerking productie-water Schoonebeek" 2016

The life-cycle assessment of the water treatment concepts developed in 2016 indicated that energy use dominate the evaluation. The energy is dominated by the desalination and crystallisation steps. Considering that this technology addresses hardness (mainly calcium and magnesium) and that hardness constitutes a small fraction of the produced water composition (aprox. 1%). Chemical consumption and sludge disposal will have a negative impact on the LCA. The lime softener is followed by ion exchange, to desalinate the water further. The treated water from the ion exchange can be utilized for steam production in the oil winning process.

Technology Maturity

Technology Readiness Level (TRL): 9

Well known technology that is commonly used in industry to reduce hardness and silica. Mainly hot lime softening is applied in.

Reference in oil and gas: Imperial Oil – Cold lake (Canada).

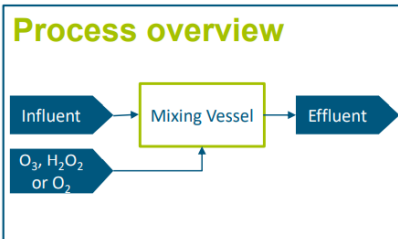
Advanced Oxidation Technology



- Proposed by: Paques
- Pretreatment: Solid and bulk dispersed oil removal
- Function in overall process: dissolved organics removal

Process Description

Water is oxidized with a primary oxidant, such as ozone, hydrogen peroxide or oxygen. The oxidizing agents will oxidize organic and some inorganic compounds. After oxidizing, these compounds can be further processed, since they will be in form which in general is less toxic to the environment and more biodegradable.



- Process characteristics**
- Requires an oxidizing agent
 - Does not remove any salts
 - Converts organics to their oxidized form, can be CO₂.
 - Relatively easy process, in which only one chemical is dosed.
 - May result in undesirable reaction by-products.

Technical development since "Herafweging verwerking productie-water Schoonebeek" 2016

The life-cycle assessment of the water treatment concepts developed in 2016 indicated that energy use dominate the evaluation. The energy is dominated by the desalination and crystallisation steps. Considering that this technology addresses dissolved organics and that energy required to remove dissolved organics is negligible compared to the desalination and crystallisation, this technology will not alter the conclusion of 2016. Furthermore, the chemicals dosage and sludge disposal require will contribute negatively to the life-cycle impact.

Technology Maturity

Technology Readiness Level (TRL): 9

Oxidation is a well-known technique for disinfection and sometimes oxidizing metals.

BIOX

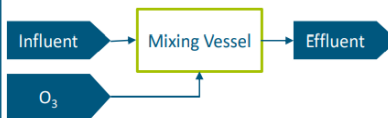


- Proposed by: O3 systems
- Function in overall process: dissolved organics removal

Process Description

In the BIOX-process ozone is injected into the wastewater. The ozone causes organic compounds to be oxidized (van be for some organic compounds that they are broken apart). Also, any metals in the water will be oxidized. Downstream of the BIOX-process the oxidized can be removed if needed. A bonus of injecting ozone is that is also disinfects the water.

Process overview



Process characteristics

- Does not remove any salts
- Converts organics to their oxidized form, can be CO₂.
- Relatively easy process, in which only one chemical is dosed.
- May result in undesirable reaction by-products
- Besides the BIOX process being applied on the wastewater, the same principle can also be applied directly into the soil.

Technical development since “Herafweging verwerking productiewater Schoonebeek” 2016

The life-cycle assessment of the water treatment concepts developed in 2016 indicated that energy use dominate the evaluation. The energy is dominated by the desalination and crystallisation steps. Considering that this technology addresses dissolved organics and that energy required to remove dissolved organics is negligible compared to the desalination and crystallisation, this technology will not alter the conclusion of 2016. Furthermore, the chemicals dosage and sludge disposal require will contribute negatively to the life-cycle impact.

Technology Maturity

Technology Readiness Level (TRL): 9

Oxidation is a well-known technique for disinfection and sometimes oxidizing metals.

Several references in which the BIOX process is applied, however, none in the oil and gas industry

Bio-Organic Catalysts



- Proposed by: E.H. GRRN Products for the Environment LTD. (have pilot results in agricultural setting)
- Function in overall process: dissolved organics removal

Process Description

In this process a Bio-Organic Catalyst (BOC) is dosed to enhance biological degradation of organics in the water. It cleave (hydrolysis) the molecular bonds of fats, oils and greases (FOGs) to glycerol and fatty acids.

Process overview



Process characteristics

- Simple process in which only a BOC is added.
- BOCs only breakdown components but does not remove these from the water. For this another treatment is needed.

Technical development since “Herafweging verwerking productiewater Schoonebeek” 2016

The life-cycle assessment of the water treatment concepts developed in 2016 indicated that energy use dominate the evaluation. The energy is dominated by the desalination and crystallisation steps. Considering that this technology addresses dissolved organics and that energy required to remove dissolved organics is negligible compared to the desalination and crystallisation, this technology will not alter the conclusion of 2016. Furthermore, the chemicals dosage and sludge disposal require will contribute negatively to the life-cycle impact.

Technology Maturity

Technology Readiness Level (TRL): 9

- Reference are in agriculture, cooling towers, and oil spills remediation.

Opticlear Diamond® technology

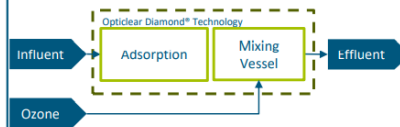


- Proposed by: WaterIQ
- Additional requirements: ceramic carrier material with a specific coating (WaterIQ specific)
- Function in overall process: dissolved organics removal, heavy metals removal

Process Description

A 2-step process in which the first step consists of adsorption and the second step an oxidation step. During the first step substances are adsorbed on coated ceramic carrier material. The coating on the carrier material can be specifically selected for the type of substances that need to be removed. Afterwards oxidants are injected into a second chamber containing ceramic carrier material equipped with a catalyst. The catalyst will speed up the oxidation process and limits energy consumption.

Process overview



Process characteristics

- 2-step process: adsorption followed by oxidation.
- Each step is performed in a separate chamber.
- Will reduce organic content in water and destroy pathogens
- Will not remove any salts

Technical development since “Herafweging verwerking productie-water Schoonebeek” 2016

The life-cycle assessment of the water treatment concepts developed in 2016 indicated that energy use dominates the evaluation. The energy is dominated by the desalination and crystallisation steps. Considering that this technology addresses dissolved organics heavy metal as well as that energy required to perform these function is small compared to the desalination and crystallisation, this technology will not alter the conclusion of 2016. Furthermore, the chemicals dosage and sludge disposal require will contribute negatively to the life-cycle impact

Technology Maturity

Technology Readiness Level (TRL): 8-9

Main reference are in horticulture sector focused on destruction of pesticide.

FerSol™

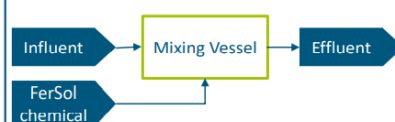


- Proposed by: Ferr-tech
- Additional requirements: FerSol chemical
- Function in overall process: dissolved organics removal, suspended solids removal, dispersed oil removal, heavy metals removal

Process Description

In the FerSol technology the liquid form of Sodium Ferrate(VI) is dosed in wastewater. The dissolved Ferrate will Oxidize and Disinfect the water. At that point the Ferrate(VI) will also occur in the form of Ferrate(V). In the last stage Iron(III)hydroxide will act as coagulant to remove any sludge left in the water.

Process overview



Process characteristics

- By adding Ferrate to the water, a 3 in 1 process is performed: Oxidation, disinfection and lastly coagulation.
- After the coagulation step, any sludge still has to be removed from the water
- Concern about potential reaction by products (requires testing).

Technical development since “Herafweging verwerking productie-water Schoonebeek” 2016

The life-cycle assessment of the water treatment concepts developed in 2016 indicated that energy use dominates the evaluation. The energy is dominated by the desalination and crystallisation steps. Considering that this technology addresses dissolved organics, suspended solids, dispersed oil and heavy metals as well as that energy required for these function is small compared to the desalination and crystallisation, this technology will not alter the conclusion of 2016.

Technology Maturity

TRL: 5 - 7

- Relatively new technology on the market.
- Potential of Ferrate as oxidizing agent has been researched widely, and is already applied in few industries
- Still needs some research before applying on-site

ABX™

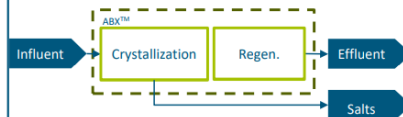


- Proposed by: Nijhuis (Aquafortus Technologies Ltd)
- Pretreatment: Dispersed oil removal
- Additional requirements: Specific patented materials are needed, the Aquafortus Absorbent and Aquafortus Regenerant
- Function in overall process: desalination, crystallisation

Process Description

Two-stage solvent exchange process in which the Aquafortus Absorbent acts as a transfer medium for water. In the first stage the brine is mixed with the absorbent. At this point the salts in the brine are crystallize out. Afterwards the water is set in contact with the Regenerant. Here the regenerant will extract the water from the absorbent. Finally, to recover the water from the regenerant a membrane is used (reverse osmosis membrane)

Process overview



Process characteristics

- When brine comes in contact with the Aquafortus absorbent the salts crystallize out
- Technology is targeted to treat brines with TDS concentrations > 50000 ppm
- Within the ABX™ system a membrane is used to keep the regenerant in the system. However, over time these membranes might need replacement.
- Potential replenishment of absorbent and regeneration medium.
- Claims to recover up to 98% of the pure water.
- Pre-treatment needs are unclear but assumed that dispersed oil will have to be removed.

Technical development since “Herafweging verwerking productie-water Schoonebeek” 2016

The life-cycle assessment of the water treatment concepts developed in 2016 indicated that energy use dominate the evaluation. The energy is dominated by the desalination and crystallisation steps. The provider of this technology claim 80% – 90% reduction in energy compared to the desalination and crystallisation technologies evaluated in 2016. This may have a material impact on the conclusions of 2016. It is noted that this technology relies on specialty chemicals that may alter the life-cycle impact associated with chemical.

Note that at the time of this evaluation, limited information was available about this technology. Therefore, a more detailed evaluation is required to determine actual impact.

Technology Maturity

Technology Readiness Level (TRL): 5 - 7

- New technology, has been patented in 2018
- ABX™ has been tested at one location in the oil and gas sector. No other application are known at the time of this evaluation.

Desalination with Isopropyl Alcohol (IPA)

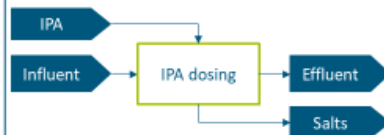


- Proposed by: Advanced Industrial Process B.V.
- Function in overall process: oil and non-polar compounds removal

Process Description

By addition of isopropyl alcohol (IPA), the water will be disinfected and can simultaneously act as solvent for many non-polar compounds. Advanced Industrial Process B.V. is developing a technique in which IPA can be utilized to desalinate water. After desalination, the used IPA can be recovered via pervaporation.

Process overview



Process characteristics

- Removes monovalent salts
- Added IPA to the solution can be recovered by pervaporation.
- After pervaporation the IPA will need some treatment before re-using.
- This technology can be preceded by the removal of divalent salts and oil.

Technical development since “Herafweging verwerking productie-water Schoonebeek” 2016

The life-cycle assessment of the water treatment concepts developed in 2016 indicated that energy use dominate the evaluation. The energy is dominated by the desalination and crystallisation steps. At the moment, this technique is only validated in the lab. When the technology matures, a more extensive evaluation will take place to determine the actual impact on the studies in 2016. Currently, it cannot be assumed that the conclusion of 2016 would change.

Technology Maturity

Technology Readiness Level (TRL): 4 - 7

No large-scale references/pilots mentioned by the supplier or on their website.

Bijlage

- 2) Evaluatie verwerkingstechnologieën
productiewater Schoonebeek, 2021,
EMI Twente**

Evaluatie verwerkingstechnologieën productiewater Schoonebeek

Update 2021

30 Maart 2021

emi
twente

Report details

Title	Evaluatie verwerkingstechnologieën productiewater Schoonebeek
Client	NAM
Project lead	Paulina Sosa
Author(s)	Paulina Sosa, Patrick de Wit, Heleen Sombekke, Harmen Zwijnenberg
Report number	R210330-NAM-DEF
No. pages	20
Date	30-03-2021

Colophon

EMI Twente
Drienerlolaan 5
Postbus 217
7500 AE Enschede
T +31 53 489 5387

EMI Twente is onderdeel van het Membrane Science and Technology cluster van de Universiteit Twente en werkt voornamelijk voor en met industriële klanten.

Table of contents

Report details	2
Colophon	2
1 Introductie	4
2 Evaluatie rapportages	5
2.1 RoyalHaskoningDHV, Herafweging verwerking productiewater Schoonebeek, 2016.....	5
2.2 Evaluatie NAM vervolgonderzoek 2017-2019: RHDHV notitie 2018.....	7
3 Ontwikkeling van technologieën	9
3.1 Huidige status benoemde technologieën	9
3.1.1 Keramische membranen	9
3.1.2 Elektrodialyse	9
3.1.3 Helofytenfilters.....	10
3.1.4 MaxH2O Desalter	11
3.2 Aanvullende technologie: bipolaire elektrodialyse.....	12
4 Nieuwe verwerkingsconcepten	13
4.1 Gert Colenbrander concept - circulair verwerkingsproces.....	13
4.2 Uitgewerkt Colenbrander concept: injecteren van een geconcentreerde brijnstroom en hergebruik van de ontzoute stroom voor productie ultrapuur water	15
5 Conclusies en aanbevelingen	17
6 Referenties	18
7 Bijlage 1	20

1 Introductie

Bij de oliewinning in Schoonebeek komt productiewater vrij. Conform de verleende vergunningen en ontheffingen injecteert de vergunninghouder, de Nederlandse Aardolie Maatschappij B.V. (NAM), dit water in voormalige gasvelden in Twente. In de vergunningen zijn enkele voorschriften opgenomen, inclusief het voorschrift (artikel 3.1.1) dat elke zes jaar de resultaten van een evaluatie worden gerapporteerd aan het bevoegd gezag, zijnde het Ministerie van Economische Zaken en Klimaat (EZK).

Door de Tweede Kamer (motie Mulder) is verzocht de aankomende evaluatie, oorspronkelijk gepland voor 2022, met één jaar te vervroegen en door een onafhankelijke organisatie te laten uitvoeren. In de evaluatie dienen verschillende alternatieven voor injectie onderzocht te worden, inclusief verschillende scheidingsvarianten, gebruikmakend van de nieuwste inzichten. Voor alle varianten dienen de kosten en de effecten voor het milieu en de bodemdaling inzichtelijk te worden gemaakt.

NAM heeft EMI Twente gevraagd om een kwalitatief overzicht te geven van de beschikbare technieken voor de behandeling van het productiewater. De focus ligt daarbij met name op membraantechnologieën. Deze rapportage geeft antwoord op de volgende twee onderzoeksvragen:

1. Zijn er nieuwe inzichten die leiden tot additionele alternatieve technologieën welke moeten worden overwogen? Voorbeelden van technologieën zijn bijvoorbeeld reverse osmose / keramische membranen.
2. Zijn er nieuwe inzichten die leiden tot additionele alternatieve concepten? Een concept is gedefinieerd als een combinatie van technologieën.

Om deze vragen te beantwoorden zijn diverse rapportages bekeken en geëvalueerd. Als uitgangsdokument is de rapportage van Royal HaskoningDHV (RHDHV) uit 2016 gebruikt [1]. In deze rapportage worden meerdere concepten en verwerkingstechnologieën behandeld. Door RHDHV is in 2018 via een korte notitie een update gegeven m.b.t. de stand van zaken. Op basis van verkennend literatuuronderzoek zijn door EMI Twente aanvullende membraantechnologieën en -concepten geïdentificeerd, die op basis van doorgemaakte ontwikkelingen in de techniek, energie- en of chemicaliënverbruik als alternatief overwogen kunnen worden. Als uitgangspunt hiervoor is gekozen voor technologieën die minstens gedemonstreerd zijn in een operationele omgeving (Technology Readiness Level (TRL) 7 en hoger). Voor uitleg over de Technology Readiness Level schalen wordt verwezen naar bijlage 1.

2 Evaluatie rapportages

2.1 RoyalHaskoningDHV, Herafweging verwerking productiewater Schoonebeek, 2016

In de rapportage uit 2016 [1] worden 28 verwerkingsopties voor productiewater, geclusterd naar 4 thema's, gepresenteerd (zie tabel 1).

Tabel 1. Overzicht van de verwerkingsopties voor productiewater, geclusterd naar thema's

Thema 1. Zuivering en lozing, zonder injectie van reststroom
Cluster: Lozing van schoon zoet water op oppervlaktewater of hergebruik met zout als restproduct
Zuivering op OBI van zout en hulpstoffen en lozing zoet water op oppervlaktewater. Hergebruik schoon zout
Zuivering op OBI van zout en hulpstoffen en lozing zoet water op oppervlaktewater. Afvoer vervuild zout.
Retour Nieuwater. Zuivering gevolgd door hergebruik water en afvoer van vervuild zout.
Cluster: Lozing van schoon zout water op zee
Zuivering op OBI, transport naar rietvelden en lozing zout water bij Eems-gebied
Zuivering op OBI, transport en directe lozing zout water bij Eemsgebied (zonder rietvelden)
Zuivering op OBI, transport naar derde in het noorden voor transport en lozing zout water
Thema 2. Zuivering met injectie van reststroom in reservoirs
Retour Nieuwater. Zuivering gevolgd door hergebruik 2000 m ³ /d en injectie van 6000 m ³ /d brijn in Drenthe of Twente
Zuivering op OBI gevolgd door lozing 6000 m ³ /d en injectie van 2000 m ³ /d brijn in Drenthe of Twente
Zuivering op OBI gevolgd door lozing 6000 m ³ /d en injectie van 2000 m ³ /d brijn terug in olieveld Schoonebeek West
Thema 3 – Injectie van het volledige watervolume
Waterinjectie alleen in Twentevelden (pipe in pipe)
Waterinjectie alleen in Twentevelden (pipe in pipe + nieuwe pijpleiding)
Cluster: Injectie op andere locaties eventueel in combinatie met Twente
Waterinjectie in het gasveld Schoonebeek Gas
Waterinjectie terug in olieveld Schoonebeek
Waterinjectie in Twentevelden (pipe in pipe + nieuwe pijpleiding) gevolgd door ZO Drenthevelden
Waterinjectie gelijktijdig in Twentevelden (pipe-in-pipe) en in ZO Drenthevelden
Waterinjectie in de ZO Drenthevelden
Waterinjectie in Drenthe- en kleine Groningenvelden
Waterinjectie in Borgsweer (Groningenveld)
Thema 4 – Overige opties
Zuivering op OBI, transport naar Waddenzee
Zuivering op OBI, transport naar Noordzee, West Nederland
Afname via Afvalbeheerbedrijf (Andaver of ATM in Zeeland of CFM in Velsen)
Zuivering op OBI, transport van schoon zout naar Zoutfabriek in Drenthe, Overijssel of Friesland
Afname via RWZI/AWZI of industriepark (Europark, Emmtec bv) met of zonder voorzuivering
Zuivering op OBI en injectie in Schoonebeek Oost
Zuivering op OBI en injectie in Emlichheim, Duitsland
Transport via pijpleiding naar Ruhleemoor, Duitsland en injectie in potentieel Exxon waterinjectieproject
Injectie in aquifers
Zoutcavernes

Deze uitgebreide lijst met opties is naar de mening van EMI Twente compleet, er zijn geen fundamenteel andere opties voor de verwerking van productiewater.

Vanuit de uitgebreide lijst is in 2016 een nadere een selectie gemaakt van meest kansrijke alternatieven, op basis van de volgende selectiecriteria:

- Veilig en gezond
- Technisch – mogelijk uitsluitend criterium
- Planning
- Beleid – mogelijk uitsluitend criterium
- Financieel
- Milieu
- Risico

Opties zijn daarbij afgefallen omdat ze niet technisch haalbaar waren of beleidsmatig of wettelijk niet waren toegestaan. De korte lijst bestaat uit de volgende 4 alternatieven:

1. Vast zout middels kristallisatie
2. Zout water naar zee
3. Indikken tot een geconcentreerde brijnstroom
4. Injectie in Twente en Drenthe

Alternatief 5 is de referentiesituatie (huidige injectie in Twente).

Nadat de diverse alternatieven aan het publiek waren gepresenteerd en door derden, waaronder marktpartijen, waren becommentarieerd, zijn 2 subvarianten bij alternatief 1 toegevoegd: de TUDelft variant en de Salttech variant. Dit heeft geleid tot de volgende uiteindelijke lijst van kansrijke alternatieven.

Alternatief 1: Vast zout middels kristallisatie

Zuivering productiewater, gevolgd door lozing van schoon water op het oppervlaktewater en met schoon zout als restproduct.

- A1.1: Tussenrapport variant. Het productiewater wordt uitgebreid voorbehandeld en vervolgens wordt het zout ingedampt door middel van Mechanical Vapour Recompression (MVR).
- A1.2: Salttech variant: DyVar cycloon techniek voor indikking en kristallisatie inclusief voorbehandeling.
- A1.3: TU Delft variant: Membraanbehandeling gecombineerd met elektrolyse als concentratie- en zuiveringsstap gevolgd door indamping.

Alternatief 2: Zout water naar zee

Beperkte zuivering van het productiewater met afvoer van schoon zout water naar zee en een vast restproduct. Het productiewater wordt behandeld via deelontharding, biologische zuivering (H₂S oxidatie en nitrificatie/denitrificatie) en actieve koolfiltratie.

Alternatief 3: Geconcentreerde brijnstroom

Indikken van het productiewater m.b.v. MVR, waarbij een deel als gezuiverd schoon zoet water wordt geloosd op het oppervlaktewater en een deel, met verhoogde concentraties, wordt geïnjecteerd. MVR werd in 2016 beschouwd als meer robuust dan RO (omgekeerde osmose).

Alternatief 4: Injectie in Twente en Drenthe

Beperkte zuivering en injectie gelijktijdig in Twente en Drenthe velden. Binnen dit alternatief zijn 4 varianten beschouwd waarbij in toenemende mate stoffen uit het productiewater worden verwijderd alvorens het geïnjecteerd wordt.

- A4.1: Gebaseerd op de huidige werkwijze, waarbij onder meer H₂S-binder en biocide aan het productiewater worden toegevoegd. Watertransport naar Twente velden via de beschikbare leiding met pijp in pijp constructie.
- A4.2: Minimalisatie van toevoeging van biocides aan het productiewater. Toevoeging van biocides is noodzakelijk om koolstof stalen transportleidingen te beschermen. Het gebruik van kunststof transportleidingen vermindert de noodzaak tot het gebruiken van deze biocides.
- A4.3: Minimalisatie van toevoeging van biocides en H₂S binder. H₂S kan resulteren in corrosie van de roestvrij stalen olie transportleidingen in het Schoonebeek olieveld. Het gebruik van H₂S binders kan dit voorkomen. Met het vervangen van deze leidingen vermindert de noodzaak tot het gebruiken van H₂S binders.
- A4.4: Aanvullend op bovenstaande aanpassingen, worden tevens verhoogde waarden van CO₂ en BTEX in het productiewater verlaagd.

De impact van deze alternatieven op het milieu is gekwantificeerd door middel van een levenscyclusanalyse (LCA) uitgevoerd door CE Delft. Op basis van deze studie is een totale milieuscore berekend voor de verschillende geselecteerde alternatieven, welke zijn voorgesteld door het Ministerie van Economische Zaken na consultatie van diverse partijen. De hierboven genoemde alternatieven, inclusief de varianten van alternatief 4, zijn geanalyseerd door CE Delft.

Conclusie: Voor zover ons bekend bevat de rapportage van Royal HaskoningDHV uit 2016 alle relevante en haalbare opties voor de zuivering van productiewater van Schoonebeek. De criteria die gebruikt zijn om tot de beste optie te komen binnen elke categorie zijn logisch en verklaarbaar. Daarnaast is de evaluatie van de technieken adequaat gedocumenteerd. Het merendeel van de voorgestelde technologieën als onderdeel van de alternatieven zijn bewezen technologieën, op enkele uitzonderingen daargelaten. De afgelopen jaren zijn er diverse ontwikkelingen geweest, o.a. in het veld van keramische membranen en elektrodialyse. Deze ontwikkelingen worden in de paragrafen 3.1.1 en 3.1.2 beschreven.

2.2 Evaluatie NAM vervolgonderzoek 2017-2019: RHDHV notitie 2018

Op verzoek van de NAM heeft RHDHV in 2018 een notitie uitgebracht met als doel om alle betrokken partijen tussentijds van informatie te voorzien. De notitie geeft een overzicht van de daadwerkelijke waterinjectie sinds 2016 en van de nieuwe ontwikkelingen die zich de afgelopen jaren hebben voorgedaan op het gebied van waterzuivering [2]. Op het gebied van nieuwe in ontwikkeling zijnde zuiveringstechnieken anno 2018, wordt het MaxH₂O-proces van IDE genoemd. In dit proces wordt het concentraat van een ontzoutingsmembraan door een kristallisatiereactor geleid. In deze reactor kristalliseert de oververzadigde fractie van de scaling veroorzakende zouten, waarna het effluent van de kristallisatiereactor kan worden teruggevoerd naar het ontzoutingsmembraan. Dit proces bevindt zich nog in de demonstratiefase. Ook worden nieuwe ontwikkelingen m.b.t. de DyVaR-technologie van Salttech vermeld, waarbij door een 2-traps afscheiding een

splitsing in waardevollere en minder waardevollere zouten mogelijk wordt. Ook wordt verwezen naar diverse pilottesten op productiewater met keramische membranen en elektrodialyse.

RHDHV concludeert dat er vooralsnog geen techniek is die op dit moment of in de directe toekomst tot een andere afweging zal leiden voor de verwerking van productiewater. Wel adviseert RHDHV om een testlocatie beschikbaar te stellen om ontwikkelaars van nieuwe zuiveringstechnieken de gelegenheid te geven deze onder echte omstandigheden uit te testen.

Conclusie: EMI Twente concludeert dat de notitie relevante tussentijdse informatie bevat ten aanzien van de ontwikkelingen in 2016-2018. Het is verklaarbaar dat sommige in ontwikkeling zijnde technologieën niet zijn vermeld omdat de focus lag op bewezen technologieën. Verder onderschrijft EMI Twente de aanbeveling om een testlocatie beschikbaar te stellen voor technologieën in de demonstratiefase die een duidelijke milieuwinst kunnen geven. In paragraaf 3.1.5 geven wij op basis van de ons ter beschikking staande informatie een beperkte review van het MaxH₂O-proces van IDE.

3 Ontwikkeling van technologieën

3.1 Huidige status benoemde technologieën

Het merendeel van de benoemde technologieën in de RHDHV 2016 rapportage zijn bewezen technologieën in de olie- en gasindustrie. Wel zijn er recente ontwikkelingen te vermelden met betrekking tot de inzet van keramische membranen en elektrodialyse voor de verwerking van productiewater. We hebben ook extra informatie toegevoegd over helofytenfilters. Het DyVar proces van Salttech is geëvalueerd door Suster BV. Voor de conclusies verwijzen wij naar de aparte notitie hierover. Ook vermelden wij een aantal aandachtspunten m.b.t. het MaxH2O proces uit de RHDHV rapportage van 2018.

3.1.1 Keramische membranen

Als onderdeel van het voorstel van de TU Delft worden keramische membranen benoemd als voorbehandelingsstap voor de verdere ontzouting door middel van elektrodialyse. Vaak worden keramische membranen overwogen omdat deze beter bestand zijn tegen vervuiling, (opgeloste) koolwaterstoffen en agressieve schoonmaakmedia [3,4]. De genoemde silicium carbide membranen zijn in de periode 2016-2020 verder ontwikkeld en, onder andere, gebruikt voor de zuivering van productiewater, ook op grotere pilotschaal [3,5]. Voorts werd in 2019 de toepassing van keramische membranen op industriële schaal gemeld [5]. Volgens de huidige stand der techniek zien wij de inzet van keramische membranen als een bewezen techniek welke beschikbaar is op commerciële schaal. In onze opinie is de doorgemaakte ontwikkeling voldoende om positief bij te dragen in de LCA score op het vlak van energieverbruik (hogere efficiency) en gebruik van chemicaliën (minder membraanvervuiling). Hoe dit uiteindelijk uitwerkt in de definitieve LCA score is op voorhand niet te zeggen. Een uit te voeren LCA-analyse zal dat moeten uitwijzen. Daarnaast lopen er diverse onderzoeksprojecten waarin deze membranen worden geoptimaliseerd specifiek voor de behandeling van productiewater [3,6].

3.1.2 Elektrodialyse

Elektrodialyse (ED) is een bewezen technologie die al meer dan 50 jaar op grote industriële schaal wordt toegepast voor de productie van drinkwater uit brak water [7]. De door de TU Delft voorgestelde zuiveringsvariant (A1.3) omvatte ook het gebruik van elektrodialyse met monovalente membranen om de zouten in het productiewater te concentreren, waardoor een geconcentreerde stroom (15% van het influent) werd verkregen met 90% van de eenwaardige zouten. Hoewel elektrodialyse (ED) met monopolaire membranen in het rapport van 2016 als een niet-bewezen technologie werd beschouwd, zijn er anno 2020 twee gepubliceerde voorbeelden waarbij productiewater d.m.v. elektrodialyse met conventionele membranen wordt behandeld.

In een artikel uit 2009 beschrijven Liu et al. [8] van de Daqing Oilfield Company de inzet van elektrodialyse voor het ontzilten van productiewater afkomstig uit het Daqing-veld. Het systeem bestond uit vier elektrodialyse stacks met een totale capaciteit van 300 m³ / dag. De units hebben meer dan 125 dagen (3000 uur) continu gewerkt. Het zoutgehalte van het productiewater werd verlaagd van 4000-5000 mg / l tot minder

dan 1000 mg / l. Als voorbehandeling voor de elektrolyse werd gebruik gemaakt van ultrafiltratie met tubulaire membranen.

In 2018 hebben Sparrow et al. [9] van SaltworksTechnologies, een proefinstallatie voor elektrolyse reversal (EDR) (Saltworks 'Flex EDR Organix E200) getest voor het ontziltten van productiewater. Dit productiewater bevatte tot 20.000 mg/l aan totaal opgeloste stoffen (TDS) en een oliegehalte tot 600 ppm. De voorbehandeling bestond uit een gepatenteerde mediafiltratie om gesuspendeerde stoffen te verwijderen tot deeltjesgrootte van minder dan 20 µm. De pilot op locatie draaide 60 dagen, zonder toezicht gedurende de nacht, en voldeed aan de ontziltingsdoelstelling van 2.000 mg / L TDS met 90% recovery. De brijnstroom bereikte TDS-gehalten van 80.000 tot 150.000 mg/l, afhankelijk van de aanwezigheid van scaling veroorzakende ionen. Omdat conventionele EDR-membranen zouden zwellen en falen in de aanwezigheid van olieachtig afvalwater, gebruikten de auteurs koolwaterstofbestendige ion-exchange membranen - Saltworks IonFlux - die werden ontwikkeld en getest om specifiek koolwaterstoffen en oplosmiddelen te weerstaan. De productiecapaciteit was beperkt tot 5 m³/dag vanwege de capaciteit van de voorbehandeling, waardoor slechts 15% van de potentiële 300 membranen werden geplaatst in de elektrolysestack. Overigens verwacht EMI Twente dat met eenvoudige aanpassingen (bijv. andere membraanreinforcement) bestaande ion-exchange membranen ook gebruikt kunnen worden. Dit vereist een nadere screening.

Concluderend, sinds 2016 zijn er behoorlijke verbeteringen geweest in het veld van elektrolyse om productiewater te behandelen. We zien elektrolyse als een volwassen technologie, commercieel beschikbaar (o.a. Saltworks FlexEDR full-scale E200 stack) en met diverse industriële toepassingen. Naar onze mening is elektrolyse geschikt om Schoonebeek productiewater te behandelen. Wel zijn de ervaringen met elektrolyse voor productiewater nog gering. Er zijn slechts twee casussen gerapporteerd waarbij het productiewater ook nog afkomstig is van twee verschillende bronnen, dus productiewater met een verschillende samenstelling. Wij adviseren daarom om eerst een pilottest on-site uit te voeren om er zeker van te zijn dat de membranen chemisch bestand zijn bij langdurige behandeling van productiewater.

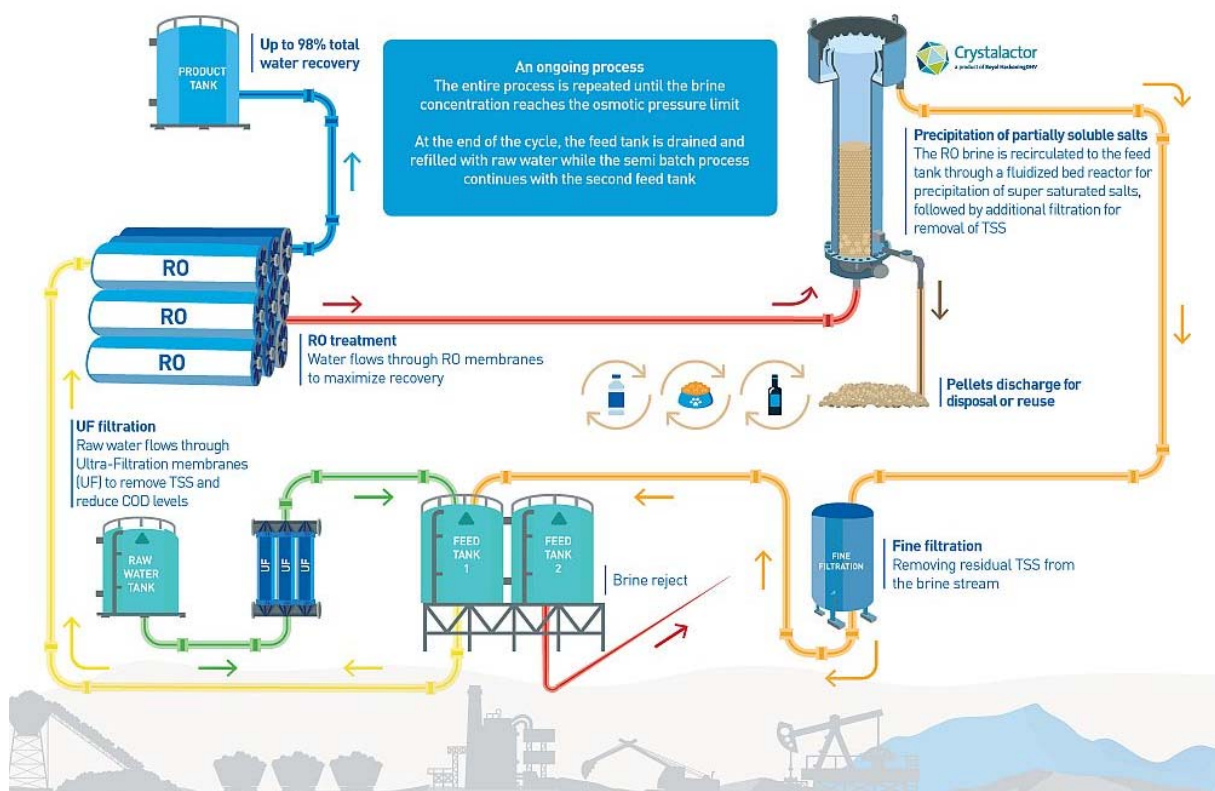
3.1.3 Helofytenfilters

Een helofytenfilter is een bewezen technologie die reeds op grote schaal wordt toegepast voor de verwijdering van BTEX en andere koolwaterstoffen [10]. Het zoutgehalte van het te behandelen water mag relatief hoog zijn, dus het is niet nodig om het water volledig te ontzouten. Strikt genomen spreken we dan van een halofyten (zoutminnend) filter in plaats van helofytenfilter. De technologie kan worden gebruikt als een polijstap voordat het water opnieuw in een watervoerende laag met vergelijkbaar zoutgehalte wordt geïnjecteerd of naar zee wordt afgevoerd. Voor lozing op zoet oppervlaktewater kan de zoutvracht te hoog zijn, waardoor een verdere ontzouting noodzakelijk kan zijn. Het gebruik van helofytenfilters is succesvol gedemonstreerd op diverse locaties binnen Nederland [11] en voor 10 keer grotere volumes elders in de wereld [12]. Echter gezien het grote benodigde oppervlak (inschatting ca. 55 ha voor de behandeling van 8.000 m³/dag [12,13]), beschouwen wij dit niet als een realistische optie. De optie afvoer naar zee (in de Eems) is in de 2016 rapportage ook niet verder uitgewerkt.

3.1.4 MaxH2O Desalter

Het MaxH2O Desalter proces is ontworpen door IDE Technologies met als doel de wateropbrengst van ontzoutingsprocessen te verhogen en de hoeveelheid brijn te minimaliseren. Het proces combineert RO, een bewezen membraantechnologie, met een geïntegreerde zoutkristallisatiereactor. Figuur 1 geeft de verschillende processtappen weer. De belangrijkste kenmerken van het proces zijn:

- Behandeling van het voedingswater door ultrafiltratie en RO.
- Dosering van anti-scalants voor de 1-traps RO. De RO werkt op een recovery van 20-30%.
- De brijn van de RO wordt behandeld in een pelletreactor/fluidized bedreactor (Crystalactor® technologie van RoyalHaskoningDHV) waarbij de anti-scalants worden gedeactiveerd en geadsorbeerd door het entmateriaal in de reactor. Op het entmateriaal slaan calciumsulfaat, calciumcarbonaat, silica etc. neer waardoor er korrels ontstaan.
- De korrels worden periodiek afgetapt (bezinken) en nieuw entmateriaal wordt toegevoegd. De korrels hebben een drogestofgehalte van ca. 90% en kunnen worden hergebruikt of moeten gestort worden.
- De behandelde brijn stroomt aan de bovenkant uit de reactor, wordt gefilterd en weer toegevoegd aan de voedingstank. Op deze manier gaat de brijn diverse keren door het proces tot het gewenste zoutgehalte/osmotische druk is bereikt.



Figuur 1. Procesdiagram van het MaxH2O proces van IDE Technologies (afbeelding van de IDE website [14])

Het proces is ontworpen om industriële afvalwaterstromen met hoge scalingspotentie en gemiddelde zoutgehalten (0,1 – 7,0 gewichtsprocenten), te behandelen [14] wat het in theorie geschikt maakt voor het Schoonebeek productiewater (2-2,5 gewichtsprocenten zout). EMI Twente ziet de voordelen van het proces zoals een hoge recovery, beschermen van de RO membranen tegen scaling en de productie van droge voor

hergebruik geschikte korrels. Ook lijkt het proces de scaling veroorzakende zouten te scheiden van de opgeloste zouten, waardoor de overblijvende brijn eenvoudiger te behandelen is.

We zien echter ook een aantal aandachtspunten. De meeste RO membranen zijn gevoelig voor de in productiewater aanwezige stoffen. Daarom zal de voorbehandeling uitgebreider moeten zijn en aangepast aan de Schoonebeek productiewatersamenstelling. De geproduceerde pellets kunnen mogelijk verontreinigd raken met zware metalen en koolwaterstoffen die de herbruikbaarheid van de pellets kunnen verminderen. Volgens de ons ter beschikking staande informatie is het proces alleen getest op mijnafvalwater. Ook zijn ons geen gegevens bekend over de schaal van toepassing. Wij adviseren nadere gegevens op te vragen bij IDE Technologies, ook over de warmte- en massabalansen.

Conclusie: Gezien de beschikbare informatie is EMI Twente van mening dat het proces interessant is en een verdere analyse waard is, zoals de LCA. Hiervoor zou een raming van de massabalansen en het energieverbruik van het proces nodig zijn, waarvoor input van IDE Technologies nodig is. Technisch gezien is een adequate voorbehandeling ter bescherming van de RO-modules een belangrijk aandachtspunt.

3.2 Aanvullende technologie: bipolaire elektrolyse

Bij diverse alternatieven worden aanzienlijke hoeveelheden zuren en basen gebruikt, bijvoorbeeld om ammoniak en H_2S te strippen uit het productiewater. Door middel van bipolaire elektrolyse (BPED) is het mogelijk om deze chemicaliën in-situ uit het productiewater te produceren. Dit kan de LCA score voor deze varianten verbeteren. BPED is een vorm van elektrolyse waarbij, door het gebruik van bipolaire membranen, de ionen uit het diluaat in het concentraat niet combineren tot zouten, maar door reactie met H^+ en OH^- combineren tot hun respectievelijke zuren en basen. De behandeling zou kunnen bestaan uit olieverwijdering, verwijdering van silica, ontgassing, actieve kool, een pelletreactor, zwak zure kationuitwisselingshars (voor polijsten) en de bipolaire elektrolyse zelf.

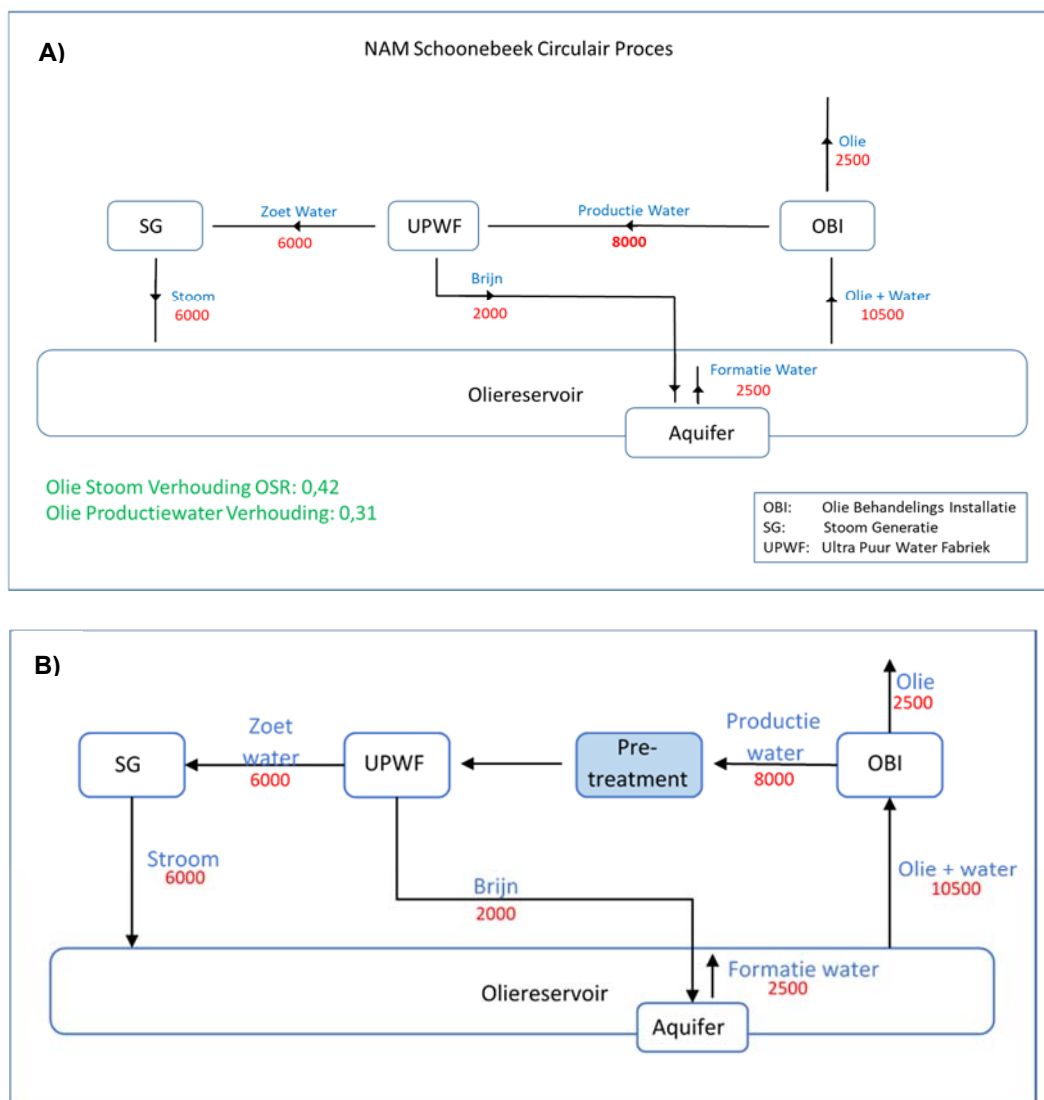
Wij zien de inzet van BPED niet als een oplossing voor de verwerking van de totale hoeveelheid productiewater, maar als een technologie om uit een deel van het productiewater (hoeveelheid nader te bepalen) zelf chemicaliën te produceren. BPED is een commercieel beschikbare technologie die met succes is toegepast in verschillende industrieën, waaronder de terugwinning van waardevolle stoffen uit afval(water) van de mijnbouwindustrie en de productie van loog en zuur uit industrieel afvalwater [15]. Een recente simulatiestudie via Aspen Hysys van Tian et al. voor de behandeling van afvalwater van rookgasontzwaveling, resulteerde in een behandeling met behulp van BPED [16]. Nader onderzoek naar de kosten en omvang van de behandeling en de beoogde milieu-impact is nodig, om te kunnen bepalen of de inzet van BPED een optie is voor de Schoonebeek situatie.

4 Nieuwe verwerkingsconcepten

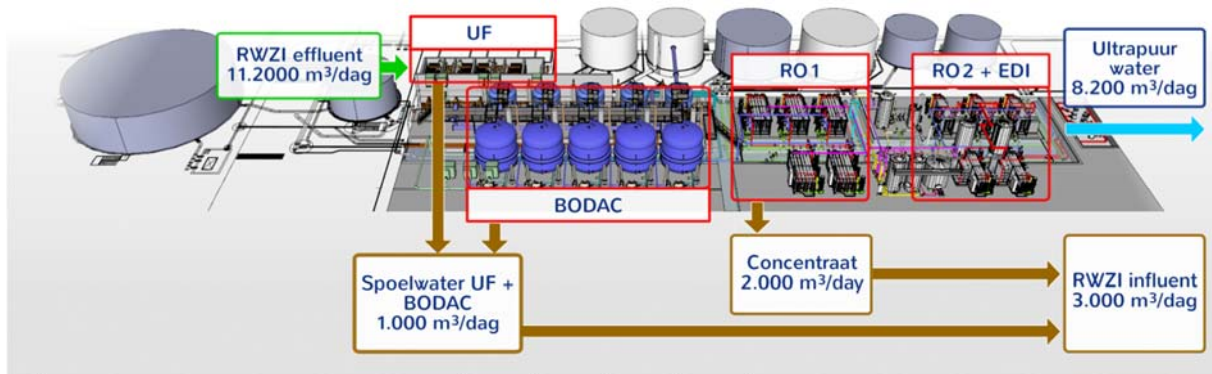
Dit hoofdstuk behandelt een 2-tal nieuwe verwerkingsconcepten welke mogelijk in aanmerking komen voor de behandeling van productiewater.

4.1 Gert Colenbrander concept - circulair verwerkingsproces

In het voorstel van Gert Colenbrander wordt ervan uitgegaan dat het productiewater dat uit de Oliebehandelingsinstallatie (OBI) komt, kan worden behandeld in de ultrapuurwaterfabriek (UPWF) van NieuWater. Het geproduceerde ultrapuur water wordt omgezet in stoom en geïnjecteerd in het oliereservoir. (zie figuur 2A). Er moet echter rekening mee worden gehouden dat de UPWF (zie figuur 3 voor het processchema) niet is ontworpen om productiewater te behandelen, maar effluent van een rioolwaterzuiveringsinstallatie (in dit geval van de rioolwaterzuiveringsinstallatie in Emmen). Enige vorm van voorbehandeling van het productiewater zal noodzakelijk zijn zoals weergegeven in figuur 2B.



Figuur 2. A) Schoonebeek circulair proces zoals voorgesteld door Gert Colenbrander (afbeelding overgenomen uit het voorstel).
 B) Schoonebeek circular proces met voorbehandeling



Figuur 3. Schema zuiveringsstappen NieuWater UPW-fabriek, Emmen (bron: <https://nwtr.nl/>)

De voorbehandeling zou vergelijkbaar zijn met de voorbehandeling zoals voorgesteld in de Delftse variant, en zou kunnen bestaan uit: olie verwijdering (normaal uitgevoerd in twee stappen), ultrafiltratie met keramische membranen en actieve koolfiltratie. In dit concept zouden de ultrafiltratie met keramische membranen en de actieve koolfiltratie vergelijkbaar zijn met respectievelijk de ultrafiltratie en de BODAC-filters in de huidige UPWF. De bestaande UF-installatie is niet geschikt om het productiewater te behandelen, omdat de polymere membranen snel zouden opzwellen en vervuilen door de aanwezigheid van olie in het water.

De BODAC-filters zijn niet ontworpen om water met een hoog zoutgehalte te behandelen, zoals het geval is met het productiewater. Om een idee te krijgen van het verschil in zoutgehaltes: de huidige voeding naar de UPWF heeft een geleidbaarheid van 350-1150 $\mu\text{S}/\text{cm}$, terwijl het productiewater een geleidbaarheid heeft van ongeveer 20 keer hoger (uitgaande van een zoutgehalte van 20.000 ppm).

Bovendien zijn de geïnstalleerde RO membranen zeer gevoelig voor swelling en beschadiging door oliën en oplosmiddelen, en ook voor vervuiling in aanwezigheid van andere organische stoffen. Het is misschien mogelijk om koolwaterstoffen te verwijderen door een combinatie van ultrafiltratie en/of nanofiltratie of actieve koolfiltratie, maar een voorlopige inschatting is dat dit niet kosteneffectief is. RO is inderdaad op grote schaal toegepast voor de behandeling van productiewater afkomstig uit gasvelden in Australië, maar nog niet voor het ontzouten van productiewater uit olievelen [6]. Water met een zoutgehalte van 25 g/l kan met RO slechts een factor 2-3 verder geconcentreerd worden. Een concentratiefactor van 4 of hoger kan via elektrolyse of een thermische behandeling worden bereikt.

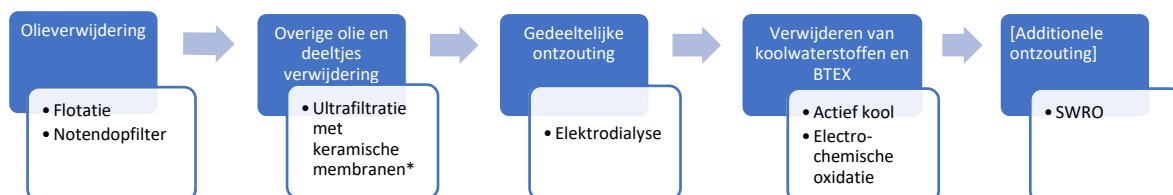
Uitgezocht moet worden of er in het Schoonebeek olie reservoir voldoende ruimte is om de geproduceerde hoeveelheid brijn te injecteren. Mocht dit niet het geval zijn dan zal uitgeweken moeten worden naar andere reservoirs of te zorgen voor een kleiner volume door een meer geconcentreerde brijn. Voor het verkrijgen van een maximale indikking (maximale verzadiging) adviseren wij thermische behandelingen zoals MVR, multi-stage flash of multiple-effect destillatie. Membraandestillatie zou ook geschikt kunnen zijn maar grootschalige industriële implementatie van membraandestillatie laat vooralsnog op zich wachten.

Concluderend, het voorstel van Gert Colenbrander is interessant gezien de circulariteit van het voorgestelde proces, maar het ziet bepaalde technische aspecten over het hoofd, zoals de voorbehandeling van het productiewater en de beschikbare capaciteit van het Schoonebeek veld. Deze aspecten moeten eerst uitgewerkt worden.

4.2 Uitgewerkt Colenbrander concept: injecteren van een geconcentreerde brijnstroom en hergebruik van de ontzoute stroom voor productie ultrapuur water

Ondanks de geplaatste kanttekeningen bij het Colenbrander concept hiervoor beschreven, beschouwen wij het concept wel als kansrijk om het Schoonebeek productiewater te behandelen. Op basis van de huidige stand der techniek, stellen wij onderstaand verbeterd concept voor, zie ook figuur 4:

- Olieverwijdering (flotatie/notendopfilter).
- Ultrafiltratie met keramische membranen. Hierbij ontstaat een brijnstroom van ca. 10% (800 m³/dag). Het geschatte elektriciteitsverbruik bij een behandelingsvolume van 8000 m³/dag is ca 2.000 MWh/jaar (uitgaande van 0.7 kWh/m³ water).
- Elektrodialysis reversal (EDR) om de zouten te concentreren (factor 6). Volgens Sparrow et al [9], kan EDR met de Saltworks technologie een hogere concentratiefactor (factor 8) bereiken, afhankelijk van de aanwezigheid van scaling veroorzakende ionen. Aangezien het Schoonebeek productiewater een aanzienlijke hoeveelheid scaling veroorzakende ionen bevat, zijn wij uitgegaan van een concentratiefactor van 6. Door het gebruik van anti-scalants dan wel aanzuren van het water, kan een hogere concentratiefactor bereikt worden, maar dit impliceert wel het gebruik van chemicaliën. Het zoutgehalte van de ontzoute stroom kan gevarieerd worden tot een minimale waarde van circa 0,5-5 g/l, afhankelijk van het beoogde gebruik van de ontzoute waterstroom. Dit betekent een ontzoute stroom van ca. 6000 m³/dag en een brijnstroom van 1.200 m³/dag. Het elektriciteitsverbruik van de elektrodialysestap wordt geschat op 8.000 MWh/jaar (uitgaande van 3 kWh/m³ water).
- De brijn van de ultrafiltratie en EDR (2.000 m³/dag) wordt in lege gasvelden en/of het oliereservoir geïnjecteerd.
- De deels ontzoute stroom wordt verder behandeld om BTEX en koolwaterstoffen (via actieve koolfiltratie, of elektrochemische oxidatie) te verwijderen.
- Om het zoutgehalte nog verder te verlagen tot een waarde vergelijkbaar met het influent van de UPWF (350-1150 µS/cm), kan een zeewater RO (SWRO) nodig zijn. De brijn kan teruggevoerd worden naar de EDR. Het energieverbruik voor de SWRO wordt geschat op 4.400 MWh/jaar (uitgaande van 2 kWh/m³ water). Deze stap is optioneel, afhankelijk van de eisen die NieuWater (beheerder van de UPWF) stelt.
- Het volume van ca. 6000 m³/dag is niet voldoende om aan de vraag van ultrapuur water te voldoen, dus dit zal aangevuld moeten worden met in de UPWF behandeld rwzi effluent.



Figuur 4. Voorbehandeling voor productiewater voorafgaand aan de UPWF. De ultrafiltratie met keramische membranen en actief koolfiltratie zijn vergelijkbaar met de huidige UF en BODAC filters in de UPWF.

In het voorgestelde processchema wordt ervan uitgegaan dat de UPWF het geproduceerde water kan verwerken. Hiertoe is contact opgenomen met NieuWater.

In een eerste verkennend overleg zijn 2 belangrijke parameters voor het huidige voedingswater genoemd:

- een geleidbaarheid in de range van 350-1150 $\mu\text{S/cm}$ (gemiddeld 650 $\mu\text{S/cm}$);
- een maximaal ammoniumgehalte van 8 mg/l (wanneer dit hoger is schakelt NieuWater over op inname van oppervlaktewater).

Wat de vereiste geleidbaarheid betreft, kan met elektrodialyse normaliter een geleidbaarheid van ongeveer 1000 $\mu\text{S/cm}$ worden bereikt. Dit ligt in de range van het huidige influent van de UPWF, maar wel hoger dan het gemiddelde. Uitgezocht moet worden of de huidige BODAC-filters goed blijven werken bij een wat hoger zoutgehalte. Anders moet mogelijk een extra SWRO-stap toegevoegd worden. Hoewel de eerste optie een grote kans van slagen heeft, moet deze eerst op proefschaal worden getest alvorens volledig te worden toegepast. Dit is ook een zorgpunt bij NieuWater. De huidige BODAC filters werken goed met rwzi effluent. Uitgezocht moet worden of dit ook het geval is bij een andere ingaande waterkwaliteit.

Het onbehandelde productiewater heeft een ammoniumgehalte van 20-64 mg/l (blz. 449, 2016 rapportage). Aangezien NH_4^+ een monovalent kation is, zal elektrodialyse het uit de stroom verwijderen in een verhouding die vergelijkbaar is met die van de andere ionen. Als de EDR-stap dus ontworpen is voor een zoutverwijdering van 95% (verdunde stroom die ~ 1 g/L zout bevat), zal ongeveer 95% van het NH_4^+ ook worden verwijderd. Dit betekent dat de toevoer naar de UPWF 1,0-3,2 mg/l NH_4^+ zou bevatten, wat in overeenstemming is met de eisen van de installatie.

Voordelen van het EMI Twente alternatief zijn:

1. De brijn wordt in het olie reservoir of in lege gasvelden geïnjecteerd. Door het kleinere volume brijn is minder opslagruimte nodig en wellicht ook minder infrastructuur en minder chemicaliën om de infrastructuur te beschermen.
2. Het energieverbruik van de drie membraanprocessen (UF met keramische membranen, EDR en SWRO) wordt geschat op ca. 14.400 MWh/jaar, wat vergelijkbaar is met het energieverbruik voor injectie (13.028 MWh/jaar, zie tabel 15, pagina 137) [1]. Alternatief 4). Let op dit betreft alleen de membraanfiltratiestappen. Aanvullende berekeningen, ook m.b.t. het energieverbruik voor de andere processtappen en het injecteren van de brijn, zijn nodig om het daadwerkelijke energieverbruik te berekenen.

5 Conclusies en aanbevelingen

Voor zover ons bekend bevat de rapportage van Royal HaskoningDHV uit 2016 alle relevante en haalbare opties die tot dan toe bekend waren voor de zuivering van productiewater van het Schoonebeek veld. De criteria die gebruikt zijn om tot de beste optie te komen binnen elke categorie zijn logisch en verklaarbaar. Daarnaast is de evaluatie van de technieken adequaat gedocumenteerd. Het merendeel van de voorgestelde technologieën als onderdeel van de alternatieven zijn bewezen technologieën, op een enkele uitzondering daargelaten. De afgelopen jaren zijn er diverse ontwikkelingen geweest, o.a. in het veld van keramische membranen en elektrolyse. In dit rapport worden deze kort benoemd.

Na screening van alle rapportages en notities vallen de volgende zaken op:

1. Energie (elektriciteit en stoom) en productie van chemicaliën en mijnbouw hulpstoffen hebben een grote impact op veel van de categorieën van de levenscyclusanalyse.
2. Het ontwikkelen van een proces om zuiver zout te verkrijgen is kostbaar in economische en energetische zin. Bovendien is de markt voor het verkregen zout beperkt en zal het hoogstwaarschijnlijk als vaste stof moeten worden verwijderd.
3. Vanuit de principes van circulariteit is het voorgestelde concept van Gert Colenbrander interessant, echter is nadere uitwerking van dit concept nodig om het productiewater als voeding voor de UPWF te gebruiken.

Voortbordurend op het Gert Colenbrander voorstel, komen wij met een verder uitgewerkt behandelingsconcept gebaseerd op de inzet van membraantechnologie. Hierbij wordt het productiewater verder geconcentreerd, wat leidt tot een brijnstroom van ca. 2.000 m³/dag en een gezuiverde waterstroom van ca. 6.000 m³/dag, die naar verwachting behandeld kan worden in de UPWF. De brijnstroom wordt geïnjecteerd. Op basis van de huidige kennis en ervaringen met behandeling van productiewater, denken wij dat het concept werkt. De samenstelling van productiewater en de fysische en chemische eigenschappen ervan is echter zeer locatie specifiek. Wij adviseren daarom om eerst een pilottest on-site uit te voeren om het concept op het Schoonebeek productiewater te testen. Hoe het concept “scoort” ten opzichte van het injecteren van al het productiewater (huidige praktijk) kan pas beoordeeld worden na de CE-afwegingmethodiek (beoordeling op milieueffecten, korte termijn risico's, lange termijn risico's en kosten).

6 Referenties

- [1] R. HaskoningDHV, *Herafweging verwerking productiewater Schoonebeek*, 2016.
- [2] E. Holleman, *Waterinjectie Twentevelden*, 2018.
- [3] T. Zsirai, A.K. Al-Jaml, H. Qiblawey, M. Al-Marri, A. Ahmed, S. Bach, S. Watson, S. Judd, Ceramic membrane filtration of produced water: Impact of membrane module, *Sep. Purif. Technol.* 165 (2016) 214–221. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2016.04.001>.
- [4] M. Ebrahimi, K.S. Ashaghi, L. Engel, D. Willershausen, P. Mund, P. Bolduan, P. Czermak, Characterization and application of different ceramic membranes for the oil-field produced water treatment, *Desalination.* 245 (2009) 533–540. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2009.02.017>.
- [5] ISPT, SiC - Silicon carbide membranes or innovative oil-in-water separations, (2020).
- [6] S.E. Weschenfelder, C.P. Borges, J.C. Campos, Oilfield produced water treatment by ceramic membranes: Bench and pilot scale evaluation, *J. Memb. Sci.* 495 (2015) 242–251. <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2015.08.028>.
- [7] H. Strathmann, Electrodialysis, a mature technology with a multitude of new applications, *Desalination.* 264 (2010) 268–288. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2010.04.069>.
- [8] S. Liu, X. Dong, H. Ban, T. Wang, W. Pan, H. Yu, C. Guo, C. Suo, Technology for confecting polymer solution with desalinated produced water, *SPE Prod. Oper.* 24 (2009) 208–212. <https://doi.org/10.2118/110237-pa>.
- [9] B. Sparrow, A. Ebsary, D. Mandel, M. Man, An advanced electrochemical system for EOR produced water desalination and reduced polymer consumption, in: *Proc. - SPE Symp. Improv. Oil Recover.* 2018, SPE, Tulsa, Oklahoma, 2018.
- [10] S. Wu, S. Wallace, H. Brix, P. Kuschik, W.K. Kirui, F. Masi, R. Dong, Treatment of industrial effluents in constructed wetlands: Challenges, operational strategies and overall performance, *Environ. Pollut.* 201 (2015) 107–120. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2015.03.006>.
- [11] S. Moinier, *Constructed Wetlands redefined as Functional Wetlands*, 2013. http://publications.deltares.nl/1202415_047.pdf.
- [12] *Nimr Reed Beds, Pet. Dev. Oman.* (2019). <https://www.pdo.co.om/en/technical-expertise/nimr-reed-beds/Pages/default.aspx> (accessed January 15, 2021).
- [13] M. Al-Rawahi, S. Prigent, T. Headley, R. Breuer, R. Paetzelt, Constructing wetlands in the desert: An example of sustainable produced water management in Oman, *Soc. Pet. Eng. - 30th Abu Dhabi Int. Pet. Exhib. Conf. ADIPEC 2014 Challenges Oppor. Next 30 Years.* 6 (2014) 4816–4823. <https://doi.org/10.2118/172158-ms>.
- [14] IDE Technologies, *Brine Management*, (2018). https://www.ide-tech.com/en/solutions/desalination/brine-minimization/?data=item_1 (accessed March 24, 2021).
- [15] S.W.T. and Solutions, *Electrodialysis (ED) and Bipolar Electrodialysis (BPED)*, (2021). <https://www.suezwatertechnologies.com/products/edediedr/electrodialysis-bipolar-electrodialysis> (accessed March 29, 2021).

- [16] W. Tian, X. Wang, C. Fan, Z. Cui, Optimal treatment of hypersaline industrial wastewater via bipolar membrane electrodialysis, *ACS Sustain. Chem. Eng.* 7 (2019) 12358–12368.
<https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.9b01778>.
- [17] European Commission, Annex G of the General Annexes, 2017.
https://ec.europa.eu/research/participants/data/ref/h2020/other/wp/2016-2017/annexes/h2020-wp1617-annex-ga_en.pdf.

7 Bijlage 1

De Technology Readiness Level schalen volgens de Europese Commissie [17]

Discovery fase	Omschrijving
TRL 1 - basic principles observed	<i>fundamenteel onderzoek</i> : onderzoeken van het innovatieve idee en basisprincipes van de innovatie
TRL 2 - technology concept formulated	<i>toegepast onderzoek</i> : formuleren van technologische concept en praktische toepassingen
TRL 3 - experimental proof of concept	<i>proof of concept</i> : onderzoeken van toepasbaarheid van het concept op experimentele basis
Development fase	
TRL 4 - technology validated in lab	<i>implementatie en test prototype</i> : op labschaal testen van proof-of-concept van innovatie
TRL 5 - technology validated in relevant environment (industrially relevant environment in the case of key enabling technologies)	<i>validatie prototype</i> : onderzoeken van werking van technologische concept in een relevante omgeving
TRL 6 – technology demonstrated in relevant environment (industrially relevant environment in the case of key enabling technologies)	<i>demonstratie prototype in testomgeving</i> : uitgebreid testen en demonstreren van concept in een relevante testomgeving
Demonstration fase	
TRL 7 - system prototype demonstration in operational environment	<i>demonstratie prototype in operationele omgeving</i> : testen en demonstreren van concept in gebruikersomgeving om werking in een operationele omgeving te bewijzen
TRL 8 - system complete and qualified	<i>product/ dienst is compleet en operationeel</i> : innovatie krijgt definitieve vorm; technologische werking is getest en bewezen
Deployment fase	
TRL 9 - actual system proven in operational environment (competitive manufacturing in the case of key enabling technologies; or in space)	<i>marktintroductie product/dienst/procédé</i> : innovatie technisch en commercieel gereed; productierijp en klaar voor lancering in gewenste marktomgeving

Bijlage

3) Evaluatie van de DyVaR/evaporatie technologie, 2021, Suster B.V.

**EVALUATIE VAN DE DYVAR/EVAPORATIE TECHNOLOGIE EN
MOGELIJKE TOEPASSING ERVAN IN DE BEHANDELING VAN
PRODUCTIEWATER AFKOMSTIG VAN
OLIEVELDEN SCHOONEBEEK, MOGELIJKERWIJS MET RECIRCULATIE
VAN HET WATER**

Dr.ir. A.B.M. Heesink – Senior Consultant Suster BV

Prof.dr.ir. B. Schuur – Hoogleraar Scheidingstechnologie Universiteit Twente

Enschede, Juni 2021

0. INHOUDSOPGAVE

0. INHOUDSOPGAVE.....	2
1. INLEIDING.....	3
1.1 Vraagstelling en scope.....	3
1.2 Achtergrondinformatie.....	3
2. DYVAR TECHNOLOGY UPDATE VOOR DE PRODUCTIE VAN VAST ZOUT.....	5
3. MOGELIJKE TOEPASSING VAN VERDAMPINGSTECHNOLOGIE ZOALS DYVAR BIJ INDIKKEN ALVORENS TE INJECTEREN.....	6
3.1 Analyse van de positie van DYVAR en gerelateerde unit operations in een proces met vast zout productie.....	6
3.2 Toepassing van DYVAR en mogelijke alternatieven voor DYVAR bij indikken.....	10
4. CONCLUSIES.....	15
BIJLAGE: E-MAIL CORRESPONDENTIE MET SALTTECH.....	16

1. INLEIDING

1.1 Vraagstelling en Scope

Dit document is opgesteld aan de hand van een aanvraag van de NAM en beantwoordt twee deelvragen die betrekking hebben tot de behandeling van productiewater dat vrijkomt bij de oliewinning door de NAM in Schoonebeek, Drenthe. Deze deelvragen zijn:

I – Een review maken van het proces gebaseerd op Salttech technologie om vast zout te maken van het zout dat omhoogkomt met het productiewater. Dit proces is beschreven in de Twente herevaluatie 2016 in en in dit review beoordelen we of er nieuwe ontwikkelingen zijn in de DyVaR technologie en bijbehorende processtappen.

II - In aanvulling op het evaluatiedocument geschreven door het Europees Membraan Instituut (EMI), onderdeel van de Universiteit Twente, werd gevraagd welke technieken mogelijkwijs kunnen bijdragen tot het opconcentreren van zoutwater stromen tot verzadiging. EMI heeft de vraag gekregen om verschillende technieken te evalueren voor de verwerking van productiewater dat vrijkomt bij de oliewinning door de NAM in Schoonebeek, Drenthe. De evaluatie uitgevoerd door EMI betreft een studie naar de stand van de techniek voor verschillende procesopties voor de verwerking van het geproduceerde water. EMI heeft zich vooral toegelegd op membraangebaseerde technieken, die goed passen bij het expertisegebied van EMI. Vanuit Suster leveren wij in dit rapport aanvullend advies met betrekking tot DyVaR- en vergelijkbare verdampingstechnieken.

1.2 Achtergrondinformatie

Dit rapport, evenals de door EMI uitgevoerde studie zijn voorbereidingen op een uitgebreidere evaluatie, die de NAM elke zes jaar moet uitvoeren als onderdeel van hun vergunning om de oliewinning te mogen bedrijven met de bijbehorende afhandeling van geproduceerd water.

Naast diverse membraan-georiënteerde unit operations waarvan de NAM een hernieuwde evaluatie gevraagd heeft, wordt bij één van de eerder gedefinieerde procesopties gebruik gemaakt van de zogenaamde DyVaR technologie om te ontwateren, mogelijk zelfs tot aan productie van vast zout (in die variant genaamd DyVaR ZLD). Het herevalueren van deze technologie en haar toepassingsmogelijkheden in verschillende mogelijke procesconfiguraties is hoofddoel van dit rapport, waarbij de evaluatie van de maturatie van de DyVaR technologie op zich de eerste deelopdracht is, en mogelijke toepassing in alternatieve configuraties de tweede deelopdracht.

Oriënterend op de technische mogelijkheden en de omvang van de stromen en composities is het rapport uit 2016 bestudeerd, dat is opgesteld door Royal Haskoning-DHV (RH-DHV) bij de uitvoering van de laatste herevaluatie. In het RH-DHV rapport zijn vier alternatieven zijn beschreven voor de behandeling van het geproduceerde water:

1. Zuivering van het water om te lozen op oppervlaktewater en productie van vast zout
2. Zuivering van het water zonder ontzouten en daarna lozen in de Eems
3. Zuivering van het water en 75% indikken zonder te kristalliseren. Ingedikte brijn wordt geïnjecteerd en ontzoute stroom kan geloosd worden als oppervlakte water of gebruikt worden

als voedingswater voor de boilers voor stoomopwekking conform het zogenaamde Colenbrander concept

4. Injectie volledig volume geproduceerd water in lege gasvelden in Zuid-Oost Drenthe en Rossum-Weerselo, Twente.

Op basis van de evaluatie uit 2016 is destijds gekozen voor optie 4, injectie van het volledig volume geproduceerd water.

Aangezien het voornemen van de NAM het productievolume te vergroten (tot 8.000 m³/d) niet gecombineerd kan worden met volledige injectie door beperkte capaciteit van de beschikbare gasvelden of het Schoonebeek olieveld, staan nu twee opties ter evaluatie.

In het eerste deel van onze opdracht hebben we de technologische maturatie van de DyVaR techniek beoordeeld, met als doel om vast zout te produceren. De tweede deelopdracht was ook gericht op toepassing van de DyVaR techniek, of aan DyVaR gelijkende techniek, echter dan niet om vast zout te produceren, maar als eventuele techniek in een groter pakket aan technologische maatregelen om de totale stroom van 8000 m³/d in te dikken tot een volume dat zonder problemen geïnjecteerd kan worden. Hierbij komt dan een stroom “schoon water” vrij, die gerecirculeerd kan worden, vergelijkbaar aan het concept door Colenbrander voorgesteld. Bij de evaluatie van de geschiktheid van de DyVaR techniek in dit tweede procesconcept, hebben we ook de combinatie met de door EMI voorgestelde membraan-gebaseerde technieken geëvalueerd.

2. DYVAR TECHNOLOGY UPDATE VOOR DE PRODUCTIE VAN VAST ZOUT

Tijdens de vorige evaluatie in 2016 is naar voren gekomen dat, om de DyVaR technologie op commerciële schaal operationeel te maken voor de beoogde toepassing, er ongeveer een jaar nodig zou zijn om te testen en het concept verder te ontwikkelen. Dat is één van de redenen geweest om destijds niet voor deze technologie te kiezen. SUSTER is gevraagd om te onderzoeken of er in de tussentijd ervaring is opgedaan met de technologie, liefst voor de beoogde toepassing dan wel andere toepassingen. Mocht dit zo zijn dan zou de test-/ontwikkelingsperiode nodig om de technologie bij Schoonebeek toe te passen flink bekort kunnen worden.

Onze analyse van de stand van de DyVaR techniek kent twee fases:

1. Een literatuuranalyse
2. Directe benadering

In de eerste fase, waarin een literatuuranalyse is gemaakt, is gezocht naar mogelijke publicaties waarin ervaringen met de DyVaR techniek worden besproken. Uit deze analyse is gebleken dat er sinds 2017 geen openbaar toegankelijke publicaties meer zijn verschenen. De laatste publicatie uit 2017 betreft een presentatie die in 2016 is gegeven door James Busby van Bugess & Niple, die een pilot studie naar de DyVaR technologie heeft geleid in Love county, Texas, VS.

Naar aanleiding van deze publicatie, is via telefoon en e-mail contact gezocht met James Busby, maar hij heeft helaas niet gereageerd op onze verzoeken.

Ook is gebeld met Salttech en daarna een e-mail naar hen verzonden met vragen over de DyVaR-technologie. Zie bijlage. Helaas heeft Salttech aangegeven niet mee te willen werken aan onze evaluatie:

“Wij denken dat met de recente ontwikkelingen in de olie en gas industrie m.b.t. onze technologie (zowel technisch als ook economisch) deze zeer zeker een aantrekkelijk en duurzaam alternatief kan vormen voor injectie in de Twentse ondergrond. Zodra voor ons duidelijk is dat er een meer objectieve afweging mogelijk is (dan in 2016) zullen we u graag van nieuwe informatie voorzien.”

Zie wederom bijlage. Hieruit maken we op dat deze firma vooralsnog geen interesse heeft in samenwerking met de NAM.

3. MOGELIJKE TOEPASSING VAN VERDAMPINGSTECHNOLOGIE ZOALS DYVAR BIJ INDIKKEN ALVORENS TE INJECTEREN

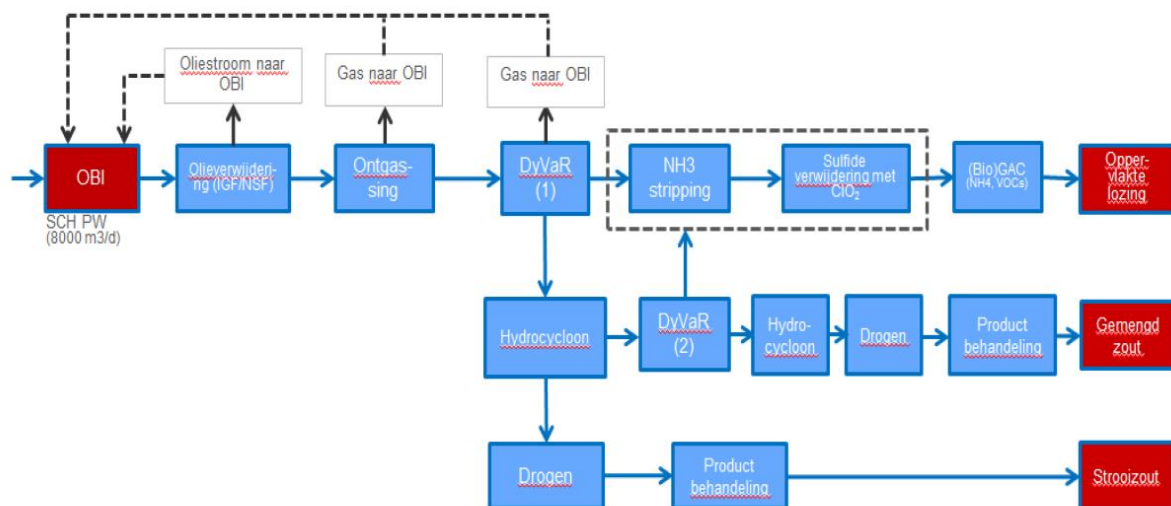
3.1 Analyse van de positie van DYVAR en gerelateerde unit operations in een proces met vast zout productie

Hoewel er geen actuele informatie is ontvangen van de firma Salttech, heeft SUSTER op verzoek van de NAM wel de technische mogelijkheden van dit proces bestudeerd. Daarbij is uitdrukkelijk ook gekeken wat de mogelijkheden zijn om thermische ontzouting zoals in het DyVaR proces plaats vindt, te combineren met membraanoperaties zoals aangedragen in het rapport van EMI. De hier volgende evaluatie is geschied op basis van informatie uit het RH-DHV rapport van 2016. In dat rapport wordt de technologie nadrukkelijk ingezet voor productie van vast zout. We evalueren hier deze procesoptie en beschouwen alle processtappen rondom de DyVaR unit operatie. Per unit operatie evalueren we ook of deze noodzakelijkerwijs gekoppeld is aan vast zout productie en of deze stap ook nodig is wanneer er alleen ingedikd wordt en de ingedikte brijn geïnjecteerd wordt.

De combinatie van unit operations is niet direct één op één te vertalen vanuit een “vast zout” productieproces naar een “ingedikte brijn” productieproces. Met inachtneming van verschillen in de randvoorwaardes van deze twee processen, kan echter wel onderzocht worden in welke mate thermische ontzouting kan bijdragen aan een indikkingsproces.

3.1.1 Overzicht van de processtappen en interpretatie van hun betekenis

Het proces met DyVaR ontzouting zoals geëvalueerd in het RH-DHV rapport van 2016, is weergegeven in figuur 1. Dit proces beoogt de productie van water geschikt voor oppervlakte lozing naast twee vaste producten, strooizout en gemengd zout.



Figuur 1. Procesvariant voor alternatief 1 waarbij het ontzouten van geproduceerd water uit de oliebehandelingsinstallatie (OBI) gedaan wordt met DyVaR ontzoutingstechnologie (overgenomen uit rapport van RoyalHaskoning-DHV, 2016).

In tabel 1 zijn de concentraties van de in productiewater aanwezige stoffen weergegeven. Deze gegevens worden waar nodig gebruikt bij (LCA-)berekeningen.

Tabel 1. Concentraties in productiewater in mg/L (CE Delft LCA-rapport, 2016)

	Anno 2022	Anno 2040	Grenswaarden Water Framework Directive
Zouten	25.000	10.130	
- sulfaat	0	0	2.000 (zeewater) 500 (zoetwater)
- barium	13	5	Locatie-afhankelijk
- strontium	168	68	
Zware metalen	<0,80	<0,30	
- mangaan	0,70	0,30	
- overig	< 0,10	<0,03	
Sulfide	100	100	30
NH ₄ ⁺	39	39	11
Zwevende deeltjes (TSS)	46	46	30
Minerale olie	50	50	15
Methanol, glycolen	0	0	
Aromaten, BTEX	3	3	0,01
Mijnbouwhulpstoffen	1.091	1.091	
Ov. organische verbindingen ²	52	52	

Bron: Op basis van meetgegevens tot 2015 in combinatie met modelgegevens.

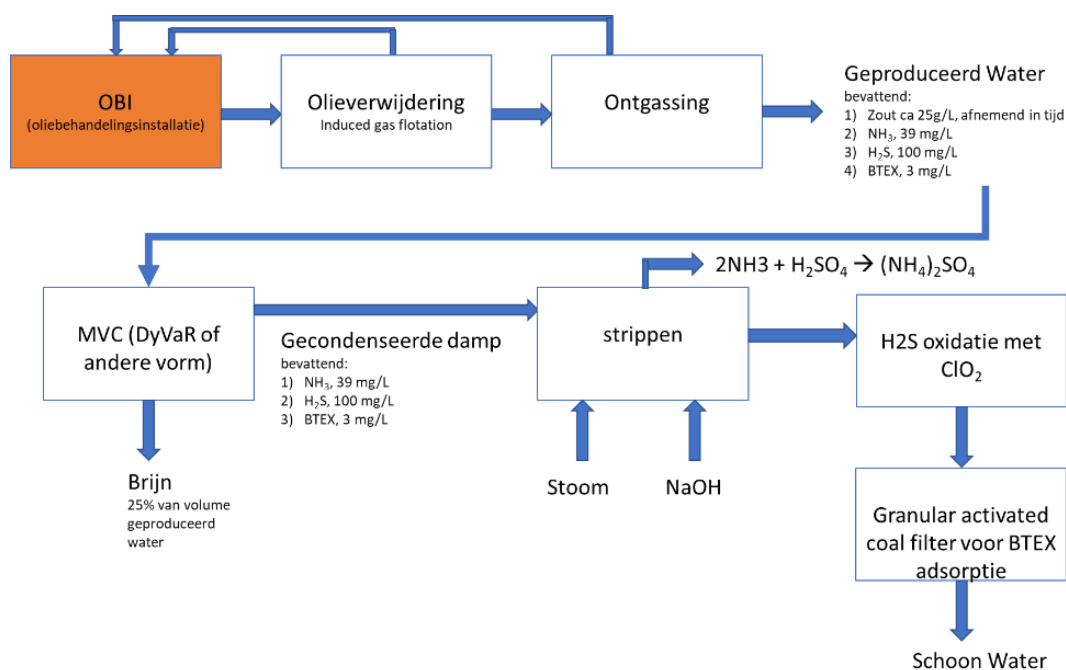
Hoewel de DyVaR technologie in 2016 is geëvalueerd voor alternatief 1, is het dit keer de bedoeling om de toepasbaarheid voor alternatief 3 te evalueren. Daarbij wordt gekozen voor zo ver mogelijk indikken tot een vloeibare geconcentreerde zoutoplossing, die in een leeg gasveld geïnjecteerd kan worden, om zo het aantal benodigde unit operations te beperken. De LCA die eerder door CE Delft is uitgevoerd (zie Bijlage 2.1 RH-DHV rapport), is alleen gemaakt voor alternatief 1 (indikken tot vast zout).

De eerste vraag waarop voor de huidige vóórevaluatie een antwoord gezocht is, is welke unit operations in de indikprocesvariant noodzakelijk zijn. Daartoe worden de in figuur 1 opgenomen stappen hieronder stap voor stap besproken:

1. Het productiewater vanuit de OBI wordt eerst gestript met aardgas om olie te verwijderen en vervolgens ontgast. Deze twee stappen voorafgaand aan de DyVaR(1) unit worden ook voor alternatief 3 noodzakelijk geacht.
2. Vanuit DyVaR(1) komen twee stromen. De eerste stroom is de gecondenseerde dampstroom welke de verontreinigingen NH₃, H₂S en koolwaterstoffen (incl. BTEX) zal bevatten. Alvorens deze stroom kan worden geloosd of worden ingezet als boiler voedingswater zullen deze stoffen verwijderd moeten worden:

- a. NH_3 -stripping (100% van NH_3)¹
 - b. H_2S -oxidatie met ClO_2
 - c. actief koolfiltering in BioGAC (bio active granular activated carbon filter) om koolwaterstoffen incl. BTEX te verwijderen
3. De tweede (ingedikte) stroom gaat naar een hydrocycloon voor de verwijdering van zoutkristallen. In het aangepaste proces, op basis van alternatief 3, is deze stroom niet aanwezig. De tweede stroom uit DyVaR(1) is dan een geconcentreerde brijn, zoals in het processchema van de DyVaR in figuur 2 is weergegeven. Dit is een homogene vloeistof die direct naar een injectiestation gepompt kan worden.

Heroverweging van de DyVaR technologie voor toepassing in een indikkingsproces omvat dus naast de evaluatie van de DyVaR unit zelf, een analyse van de processtappen 2a, 2b en 2c. Hieronder worden deze stappen beschreven en geanalyseerd waarna in Hoofdstuk 4 mogelijke alternatieven worden aangedragen en bediscussieerd.



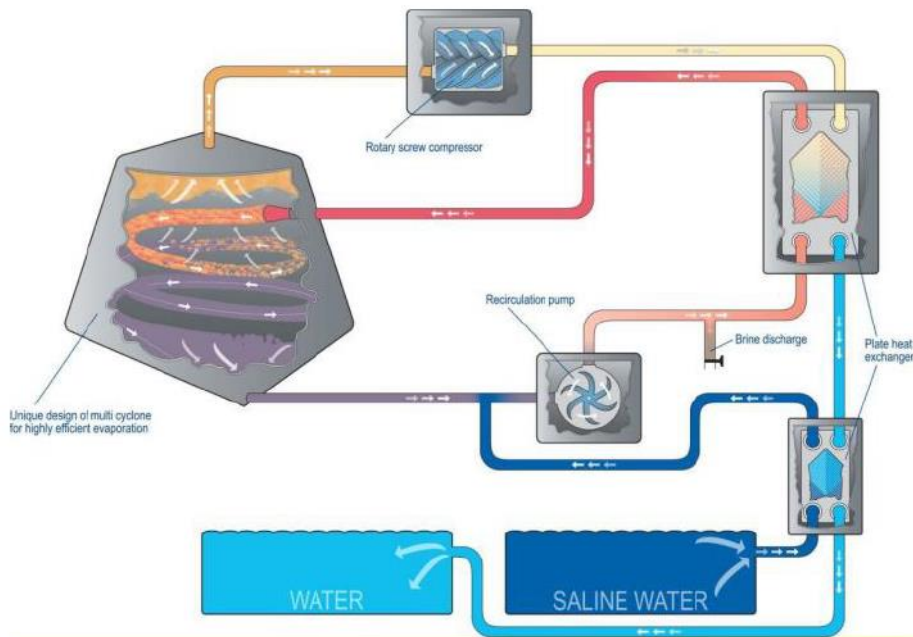
Figuur 2. Processtappen voorafgaand aan en volgend op MVC/DyVaR; MVC = mechanical vapor compression

3.1.2 DyVaR unit operation

In figuur 3 is een schets gegeven van de DyVaR. Verse voeding (zout water) komt het systeem binnen en wordt opgewarmd in een eerste plaatwarmtewisselaar. Vervolgens wordt het samengevoegd met de hete, geconcentreerde brijn die uit de cycloonverdamer is gekomen. Deels wordt deze brijn

¹ wij nemen aan dat praktisch alle NH_3 naar de dampfase gaat omdat de pH door toevoeging van NaOH zo hoog is dat er nauwelijks NH_4^+ in de brijn achterblijft.

afgetapt (wanneer geen vast zout wordt geproduceerd) en deels met de brijn meegevoerd naar een tweede plaatwarmtewisselaar. Daar komt het in contact met gecomprimeerde stoom die afkomstig is uit de cycloonverdamper en in een compressor gecomprimeerd wordt om zo een hogere condensatietemperatuur te bereiken nodig om het water uit de brijn te verdampen. Op deze wijze is geen stoom nodig en kan de operatie alleen op stroom draaien.



Figuur 3. Detail DyVaR cycloon (overgenomen uit rapport RoyalHaskoningDHV, 2016)

3.1.3 NH₃-stripping

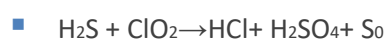
In de LCA die in 2016 is uitgevoerd door CE Delft is voor NH₃-strippen met lage druk stoom gekozen. Hiervoor staat een stoomlast van 185 MWh/d, overeenkomend met circa 294 ton stoom per dag. Deze stoomlast komt neer op een door ons realistisch ingeschatte V/L-verhouding van 0,04 (mass based) bij een condensaatstroom van 6.800 m³ per dag.

Verder wordt 1.168 ton NaOH per jaar gebruikt voor het NH₃ strippen. Met de loog wordt het zuur-base evenwicht richting NH₃ gestuurd, waardoor de NH₃ in vluchtige vorm uit de oplossing gestript kan worden.

Tenslotte wordt in het RH-DHV rapport uitgegaan van een H₂SO₄ verbruik van 240 ton per jaar. Daarmee wordt de gestripte ammoniak geabsorbeerd waarbij het NH₃ wordt omgezet in (NH₄)₂SO₄.

3.1.4 H₂S oxidatie

In deze processtap wordt 538 ton per jaar ClO₂ (20%) gebruikt. Vermoedelijk optredende reacties zijn:



- $\text{H}_2\text{S} + \text{ClO}_2 + \text{NaOH} \rightarrow \text{H}_2\text{SO}_4 + \text{NaCl} + \text{HCl}$
- $\text{H}_2\text{S} + \text{HClO}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{SO}_4 + \text{HCl} + \text{H}_2\text{O}$

Het gasvormige H_2S wordt daarbij omgezet naar een wateroplosbaar zout.

3.1.5 BioGAC

Zo'n 60% van de aromaten in het productiewater (ca. 3 mg/L) belandt in de gecondenseerde damp afkomstig van de MVC/DyVaR. Aannemende dat wordt ingedikt tot 25% van het volume bedraagt de concentratie in het condensaat derhalve 2,4 mg/L. Deze koolwaterstoffen moeten worden afgevangen in het BioGAC filter.

3.2 Toepassing van DYVAR en mogelijke alternatieven voor DYVAR bij indikken

In het rapport van EMI zijn diverse strategieën besproken om met membraan gebaseerde technieken in te dikken. Echter, om tot hoge zoutconcentraties niet ver van verzadiging in te dikken, lijken de verschillende membraanoperaties minder geschikt. Om deze reden hebben de auteurs gekeken naar mogelijke combinaties van membraanscheidingen en thermische scheidingen zoals in een DyVaR. Waar aanvankelijk de vraagstelling vanuit EMI/NAM was of het mogelijk zou zijn om met behulp van een DyVaR een nabehandeling na een membraanscheiding te doen om verder in te dikken, hebben we ook de mogelijkheid onderzocht om eerst in te dikken met een MVC en een membraanscheiding te gebruiken om het condensaat verder te zuiveren.

3.2.1 Alternatieven voor DyVaR unit operation

Op pagina 19 van het LCA-rapport van CE Delft (bijlage 2.1 van het RH-DHV rapport uit 2016) wordt de DyVaR unit vergeleken met een multi effect verdampers. Wij beschouwen de technologie echter eerder equivalent aan een mechanical vapor compression (MVC), waarbij de DyVaR unit ook de mogelijkheid biedt om vast zout af te scheiden, zonder ongewenste zoutafzetting in de warmtewisselaars. In figuur 2 is duidelijk te zien dat de techniek gebaseerd is op mechanische compressie van de damp, in de LCA evaluatie is ook geen stoominput gegeven, dit is typisch wel het geval bij multi-effect verdamping.

Ervan uitgaande dat er niet hoeft te worden gekristalliseerd, komt de DyVaR applicatie neer op een MVC en kan ook gekozen worden voor MVC-technologie die reeds een hoger TRL niveau heeft behaald.

In onze verdere evaluatie gaan we niet specifiek meer uit van DyVaR, maar van MVC, omdat in onze optiek DyVaR zonder zout kristallisatie eigenlijk gewoon een MVC is. Voor energie-efficiënt water verdampen bestaan verschillende aanpakken, MVC is één daarvan, alternatief voor MVC is multi-effect evaporation (MEE). We zetten deze twee technieken tegen elkaar af, alvorens daar zelf direct een vergelijkende berekening voor te maken. We refereren naar een wetenschappelijke publicatie waarin de technologie van single effect MVC beschreven wordt (Desalination 190 (2006) 1–15). In dit artikel wordt gesteld dat deze technologie competitief is tot 5.000 m³/dag. Bij hogere capaciteiten wordt

veelal MEE gebruikt. Voor een gewenste capaciteit van 8.000 m³/dag zal er dus een gedegen afweging gemaakt moeten worden tussen MVC en MEE.

Energiegebruik MEE

Voor de afschatting van het energiegebruik van een MVC en een MEE unit gaan we wederom uit van het LCA rapport van CE Delft voor de DyVaR, dat als bijlage 2.1 bij het RH-DHV rapport uit 2016 is gevoegd. Op p. 61-62 van dit rapport wordt een afschatting gemaakt van het energiegebruik voor indampen op basis van cijfers afkomstig van Akzo Hengelo en Frisia Zout. Deze wordt geschat op 1,7 GJ_{th}/ton en 0,1 GJ_e/ton aan elektriciteit (Ecofys , 1994), (AkzoNobel Hengelo, 2014), (Gielen, 2014) en overige referenties uit CE Delft LCA rapport.

Uitgaande van de verdampingsenthalpie van water en gegeven dat bij zoutfabrieken verzadigde brijn wordt ingedampt, komen we bij verdampen van 1000g water per 360g watervrij zout op een stoombehoefte van 6,27 GJ/ton zout. Dat in de LCA is uitgegaan van 1,7 GJ/ton, betekent dat is gerekend met netto 3,69 ideale effecten. Dit komt redelijk overeen met de vijf effecten die in de verdamper-kristallisator in Harlingen (Frisia zout bv) worden gebruikt.

Energiegebruik MVC

Wanneer in plaats van MEE gebruik gemaakt wordt van MVC, dan is er geen stoomlast, maar een stroomlast. De stroomkosten worden gemaakt om de compressor aan te drijven die de damp comprimeert om zo (een deel van) het water uit het productiewater te verdampen en brijn over te houden. In deze subsectie interpreteren we de data uit het LCA rapport van CE Delft op basis van de overgenomen informatie in tabellen 2 en 3.

Tabel 2. Vergelijkingstabel uit LCA rapport CE Delft 2016

	Alt 1.1 Tussenrapport	Alt 1.2, Salttech	Alt 1.3, TU Delft	Alt 4.1	Alt 4.2	Alt 4.3	Alt 4.4
Elektriciteit (Mwhø/jaar)	114.292	152.386	84.444	13.028	13.028	13.028	13.028
Stoom (GJ/jaar)	920.014	242.725	646.000				
Mijnbouw hulpstoffen (ton/jaar)							
- biociden				1.168	0	0	0
- andere	136	136	136	670	670	320	320
Chemicaliën en hulpstoffen (ton/jaar)	3.245	2.265	3.274				6.428
Reststoffen, ton/jaar							
- hergebruik	260	35.953	58.129				
- lozing in effluent	2.306						
- strippgas	781	781					781
- injectie in ondergrond	0			75.277	74.109	73.759	79.405
- storten	73.155	34.894	17.526				

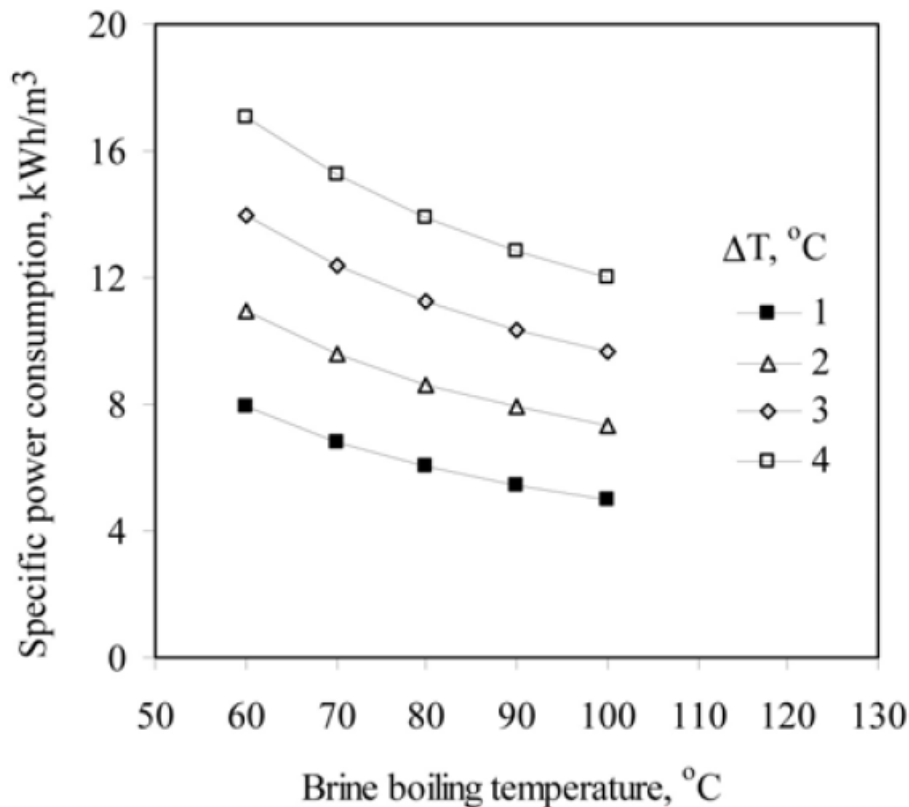
Tabel 3. Overzicht procesdata voor DyVaR gebaseerde alternatief 1 proces.

Tabel 4: Overzicht verbruik en procesdata van variant Saltech.

Processtap	Eenheid	Voorzuivering	Ontgasser	DyVaR 1	DyVaR 2	NH ₃ stripping	NH ₃ omzetting	Oxidatie sulfide	GAC filter	Totaal
Influent	m ³ /d	8000								8000
Reststroom/producten										
Behandeld effluent	m ³ /d								7000	7000
Gemengd zout (=waste)	Ton/d				100					100
Strooizout	Ton/d			100						100
Ammoniumsulfide (hergebruik)	Ton/d						0,7			0,7
Consumptie										
Gas	MWh/d									
Stoom	MWh/d		1			185				186
Elektriciteit	MWh/d	4		400	18					422
Totaal energie	MWh/d									608
HCl	Ton/d		10							10
NaOH	Ton/d					4				4
ClO ₂ (20%)	m ³ /d							8		8
H ₂ SO ₄ (100%)	Ton/d						0,7			0,7
Actieve kool	Ton/j								24	24

De totale elektriciteitskosten zijn 418 MWh/d, dit is ongeveer 9,5% van de hoeveelheid energie die benodigd zou zijn in de vorm van stoom wanneer in een 1 effect verdamper 7.000 m³ water zou worden verdampt. Dit kan, omdat er gebruik wordt gemaakt van damp compressietechniek. Uit een publicatie in tijdschrift “Desalination (2006 190 1–15)” is een grafiek gekopieerd waarin de elektrische energie weergegeven is als functie van het temperatuurverschil over de warmtewisselaar. Deze ligt in de orde grootte van 5-10 kWh/m³. Voor een orde grootte berekening nemen we, gezien de grote volumes, 5 kWh/m³ aan. Dit zal resulteren in een warmtewisselaar met een relatief groot oppervlak.

De benodigde elektrische energie bij 7.000 m³/d zal dan slechts 35 MWh/d zijn. Dit is aanmerkelijk lager dan genoemd in de eerdere rapporten. Publikatie “Desalination 2017 420 292–3” spreekt van 10-13 kWh/m³. Op basis van deze waarden komen we uit op een verbruik van 70-91 MWh/d. Dit is nog altijd aanzienlijk minder dan het verbruik van een DyVaR unit (< 25% daarvan). In een andere bron “Cogeneration & on-site power production nov/dec 2015” kwam het getal 310 kJ/kg steam voor vapor recompression. Dat komt neer op 603 MWh/d en is dus ruim meer. Toch lijkt het waarschijnlijk dat het elektriciteitsverbruik theoretisch naar beneden kan. OPEX versus CAPEX overwegingen zullen hierbij een rol spelen, immers een lagere ΔT vergt minder elektriciteit (OPEX) maar vereist een grotere warmtewisselaar (CAPEX). Zie figuur 4.



Figuur 4. Benodigd vermogen in single effect MVC als functie van temperatuurverschil over de warmtewisselaar bij verschillende brijn kooktemperaturen. Overgenomen uit Desalination 2006 190 1–15.

3.2.2 Evaluatie NH_3 -stripping, H_2S oxidation en GAC filtration

Ammoniak stripping is een conventionele optie die robuust en bewezen is. Wij zien geen directe mogelijkheden om te besparen op de hoeveelheden stoom en benodigde chemicaliën. Ervan uitgaande dat de berekeningen door CE Delft en RoyalHaskoningDHV in 2016 correct zijn uitgevoerd, zullen de hoeveelheden chemicaliën niet veranderen, daar deze via stoichiometrie gekoppeld zijn. Hetzelfde geldt voor de oxidatie van H_2S .

3.2.3 Alternatief downstream proces

Het proces zoals beschreven in figuur 2 is bedoeld om een gecondenseerde damp zo diep mogelijk te reinigen. Aangezien bij de huidige variant van alternatief 3 ook een brijnstroom overblijft, vragen wij ons af of het (bijna) volledig verwijderen van de NH_3 , H_2S en BETX wel de meest voordelige optie is. Als alternatief stellen we voor om de condensaatstroom eerst te behandelen met een NF membraan. Aangezien er geen zout meer in deze stroom zit, kan er waarschijnlijk een heel grote cut (fractie voeding in permeaat) gehaald worden, zonder dat daarbij de druk hoog oploopt, zoals bij het behandelen van de zoute productiewaterstroom het geval zou zijn. Bij gebruik van NF membranen

kunnen bij behoorlijk hoge fluxen wellicht goede rejecties gehaald worden voor alle onzuiverheden². Het retentaat zal dan sterk geconcentreerd zijn in de stoffen die verwijderd moeten worden. In plaats van dure chemische conversies met uitlogen en aanzuren uit te voeren, kan dit retentaat dan bij de brijn gevoegd worden en samen met deze brijn geïnjecteerd worden. Randvoorwaarde daarbij is wel dat het gekozen membraan resistent is tegen met name BTEX waar met name polymere membranen nog wel eens moeite mee hebben. Wij bevelen aan om de mogelijkheden van Innopor keramische NF membranen te onderzoeken. Een andere mogelijkheid is om de GAC unit vóór het NF membraan te schakelen om zo eerst de koolwaterstoffen/BTEX af te vangen. Het is evenwel mogelijk dat de GAC ook ammoniak en/of H₂S afvangt. Bij de regeneratie van de actieve kool uit het GAC filter moet hier vanzelfsprekend wel rekening mee worden gehouden in verband met benodigde luchtreiniging om de uitstoot van stikstof- en zwavelverbindingen te voorkomen. Aanbevolen wordt om de mogelijke inzet van een NF membraan, al dan niet met een voorgeschakelde GAC unit, op pilot schaal te onderzoeken.

² Uit gesprekken met membraantechnologen is gebleken dat de bedoelde Innopor 0.8 nm membranen nog niet commercieel verkrijgbaar zijn, maar dat zelfs deze nieuwe membranen (standaard product is 0.9 nm) niet in staat zullen zijn om hoge rejecties te halen voor NH₃ en H₂S, ook met RO-membranen lukt dit niet. Op basis van deze kennis, lijkt het beter om een GAC filter in te zetten om de koolwaterstoffen/BTEX af te vangen en vervolgens de condensaatstroom toch chemisch te behandelen.

4. CONCLUSIES

1. Er is geen extra informatie verkregen over de DyVaR techniek, niet uit open literatuur en ook niet na directe verzoeken aan Salttech die de techniek heeft ontwikkeld. Wij kunnen derhalve niet concluderen dat de DyVaR techniek sinds 2016 verder is gevorderd in haar ontwikkeling.
2. De energiekosten van de DyVaR operatie zoals vermeld in het CE Delft LCA rapport uit 2016 blijkt goed overeen te komen met gangbare efficiënties en kosten voor mechanische dampcompressie (MVC).
3. Zonder zout kristallisatie komt de DyVaR techniek overeen met reeds bestaande MVC technieken met hogere TRL. De DyVaR-technologie biedt in onze ogen dan ook geen toegevoegde waarde ten opzichte van deze bestaande technieken wanneer zout niet wordt gekristalliseerd.
4. Het verdient aanbeveling om een proces te evalueren waarin het productiewater met MVC wordt ingedikt tot verzadiging en vervolgens wordt geïnjecteerd, terwijl de geproduceerde condensaatstroom wordt nabehandeld tot de gewenste zuiverheid. Dit als alternatief voor het door EMI voorgestelde proces, waarbij het productiewater eerst door middel van membraanfiltratie wordt ingedikt en de rejectstroom verder wordt ingedikt met behulp van MVC. Doordat MVC veel hogere efficiënties kent dan single effect verdamping, zal de winst van eerst indikken met membraanfiltratie beperkt zijn. Dit terwijl wel alle verontreinigingen een negatieve impact zullen hebben op de werking en levensduur van de membranen.

BIJLAGE BIJ SUSTER RAPPORT: E-MAIL CORRESPONDENTIE MET SALTTECH

E-mail aan Saltech met verzoek om nadere informatie over DyVaR (ZLD) technologie dd 1 april 2021

Geachte Heer, Mevrouw,

Op advies van de medewerkster, die ik afgelopen vrijdag telefonisch heb gesproken, doe ik u deze e-mail toekomen. Zoals u wellicht weet voert de NAM, als onderdeel van de Wabo-vergunning voor de injectielocaties in Twente, iedere 6 jaar een zogenaamde herafweging uit om vast te stellen wat de beste wijze van verwerking is van het productiewater dat sinds 2011 vrij komt bij de oliewinning in Schoonebeek. De eerste herafweging heeft plaatsgevonden in 2016.

Het ministerie van EZK heeft NAM gevraagd om al in 2021 een nieuwe herafweging uit te voeren. Deze herafweging resulteert in een rapportage, opgesteld door RHDHV, met technische ondersteuning van het European Membrane Institute (EMI), onderdeel van de Universiteit Twente (UT), en TNO. Nadat de rapportage is ingediend bij EZK, zal EZK de bevindingen voorleggen aan adviseurs en betrokken instanties in de regio voor advies.

Suster BV, een onafhankelijke R&D contractor die is opgericht door (ex-)medewerkers van de UT, is gevraagd om EMI te ondersteunen bij het evalueren van niet-membraan gerelateerde opwerktechnieken voor productiewater. In dat kader zouden we graag meer willen weten over de door u ontwikkelde DyVaR en DyVaR ZLD technologieën. Met name mogelijke doorontwikkelingen sinds 2016 zijn voor ons van belang.

Uit een eerste onderzoek op het wereldwijde web kwam naar voren dat Saltech in Texas met succes een pilot heeft geopereerd. Dit type informatie is voor ons belangrijk om de stand van zaken rond uw techniek te kunnen beoordelen. Uit de presentatie die we vonden klonk een positief geluid, echter bleven er voor ons nog wel wat vragen over, reden om u direct te benaderen. We hopen dat u ons wilt helpen zodat we een zo goed en actueel mogelijk beeld van uw DyVaR (ZLD) technologie kunnen schetsen.

We hebben onderstaande lijst met vragen opgesteld en realiseren ons dat beantwoording ervan enige tijd zal kosten:

1. Wat zijn de capaciteiten van de grootste DyVaR en DyVaR ZLD installaties die dusver in bedrijf zijn genomen? Totaal en per module?
2. Welke brijnstromen zijn dusver behandeld en wat waren de bereikte indikkingsgraden met deze stromen?

3. Wordt ook productiewater afkomstig van olie boorputten behandeld? Zo ja, welke (module-)capaciteit en indikkingsgraad worden gehaald?
4. Wat is het gemiddelde energieverbruik in MJ_{th} en MJ_e per ton behandeld brijn/productiewater?
5. Is het mogelijk om door aanpassing van het warmte uitwisselend oppervlak in de warmtewisselaar het energieverbruik te sturen?
6. Kunt u een prijsindicatie geven van een DyVAR plant waarmee 8000 m³/d productiewater kan worden omgezet naar 1.200 m³/d brijn en 6.800 m³/d schoon water?
7. Kunt u een prijsindicatie geven van een DyVAR ZLD plant waarmee 8000 m³/d productiewater kan worden omgezet naar 8.000 m³/d schoon water en vast zout?
8. Welke technische levensduur voorziet u voor een DyVaR en een DyVaR ZLD unit wanneer deze worden toegepast voor productiewater?
9. Hoeveel draaiuren zijn tot dusver in totaal gemaakt met geleverde DyVAR modules voor productiewater en andere toepassingen?
10. Hoeveel draaiuren zijn tot dusver in totaal gemaakt met geleverde DyVAR ZLD modules voor productiewater en andere toepassingen?
11. Na hoeveel uur is onderhoud/reiniging aan de units vereist? Graag splitsen naar DyVAR en DyVAR ZLD en specificeren voor productiewater indien mogelijk.
12. Was er behoefte aan “unplanned maintenance”? Zo ja, wat was de gemiddeld runtijd tussen stops bij DyVAR en DyVAR ZLD? Graag specificeren voor productiewater indien mogelijk.
13. Zijn sinds 2016 nog onvermelde innovaties doorgevoerd in de DyVaR en DyVaR ZLD technologieën? Zo ja, welke?

Het staat u uiteraard vrij om aanvullende informatie te verschaffen om een beter beeld van uw technologie te geven. Wij hopen dat u ons wilt helpen en danken u bij voorbaat voor de te nemen moeite,

Met vriendelijke groeten,

Bert Heesink PhD

MANAGING DIRECTOR

+31 (0)535699208

+31 (0)634881048

bert.heesink@susterbv.com

www.susterbv.com

Antwoord Salttech dd 7 april 2021

Geachte heer Heesink,

Hartelijk dank voor uw mail.

We hebben zo onze vraagtekens bij dit (her)afwegingsproces en de gevoerde governance in deze. In een eerdere afweging in 2016 zijn wij ook betrokken geweest, maar zijn de door ons aangeleverde gegevens volledig uit zijn verband getrokken door de betrokken partijen. Het hele proces heeft bij ons sterk de indruk achtergelaten dat de “slager zijn eigen vlees keurt” en de evaluatie, inclusief het 700 bladzijden tellende eindrapport, één vooropgezet doel diende, namelijk gewoon blijven injecteren en investeringen vermijden. Maar goed, dat is slechts onze indruk.

Aangezien nu wederom grotendeels dezelfde partijen betrokken zijn zult u begrijpen dat dit voor ons niet een aantrekkelijke optie lijkt om hier in mee te gaan.

Wij hebben dan ook vragen gesteld (bij NAM/Shell c.s.) over onafhankelijkheid en governance van dit hele proces, maar daar nog geen antwoord op gekregen.

Wij denken dat met de recente ontwikkelingen in de olie en gas industrie m.b.t. onze technologie (zowel technisch als ook economisch) deze zeer zeker een aantrekkelijk en duurzaam alternatief kan vormen voor injectie in de Twentse ondergrond.

Zodra voor ons duidelijk is dat er een meer objectieve afweging mogelijk is (dan in 2016) zullen we u graag van nieuwe informatie voorzien.

Vriendelijke groeten/ kind regards,

Gerard Schouten

CEO/partner



Smidsstraat 2, 8601 WB Sneek

Postbus 2013, 8600 CA Sneek

The Netherlands

T +31 (0)515 200230

M +31 (0)610551184

E g.schouten@salttech.com

I www.salttech.com

Bijlage

4) Toelichting afweging lijst uitgebreide opties, 2016, RHDHV

Toelichting afweging uitgebreide lijst met opties

1. Overzicht en inhoud van criteria

Vanuit de totale lijst met mogelijke opties voor de verwerking van productiewater is een short list samengesteld van de meest waarschijnlijke opties uit elk cluster. Het uiteindelijke doel is deze met elkaar te vergelijken met behulp van de CE methode.

Het proces omvat de volgende stappen;

1. Opstellen van de Long List door alle mogelijke reële opties te benoemen
2. **Clusteren van de opties in groepen van vergelijkbare concepten en een rest-groep**
3. **Het vergelijken en bepalen van de meest kansrijke optie per cluster**
4. Samenstelling van de Short List met deze alternatieven
5. Uitwerken van de Short List en toetsing conform de CE methode
6. Rapportage op hoofdlijnen van de Short List alternatieven ten aanzien van typen gevolgen;
 - a. impact op het milieu
 - b. Korte en Lange termijn risico's
 - c. Kosten, zowel kapitaal- en operationele lasten

Naderhand zal nog een meer gedetailleerde uitwerking plaatsvinden van de alternatieven die als wenselijk gezien worden.

Stap 2: Bovenstaande tweede stap is er om te zorgen dat de short list opties bevat die daadwerkelijk wezenlijk van elkaar verschillen. Zonder deze aanpak is de kans groot dat de 4 of 5 meest kansrijke opties allemaal op elkaar lijken, omdat de onderliggende technische concepten min of meer gelijk zijn. Met een geforceerde brede spreiding in verschillende clusters wordt voorkomen dat de beste opties allemaal in 1 cluster vallen. Zo wordt het mogelijk om aan de hand van de spreiding de consequenties van totaal verschillende concepten via de CE methode inzichtelijk te maken.

Stap 3: In deze stap wordt vervolgens per cluster de meest kansrijke optie bepaald aan de hand van een aantal criteria. Deze worden hieronder beschreven. Bij elk criterium is een tekstuele beschrijving gegeven, waarbij voorbeelden worden gegeven waarom sommige opties op het criterium goed of minder goed scoren. Om voor alle opties en alle criteria een overzicht te krijgen wat beter of minder goed scoort, is er een vereenvoudigde tabel gemaakt waarin kwalitatief de scores zijn weergegeven. (Dit is binnen MER trajecten een gebruikelijke aanpak om overzicht te krijgen over veel informatie.) Per criterium wordt aangegeven of een optie goed scoort (++) of (+), twijfelachtig (0) matig (-) of slecht (--). Indien een optie onhaalbaar geacht wordt vanwege een bepaald criterium, dan scoort de optie bij dat criterium een (X). Is de optie alleen haalbaar in combinatie met andere opties dan krijgt deze een grijze score (.).

Hier onder worden de gebruikte criteria weergegeven, met daarbij benoemd welke aspecten nadrukkelijk bekeken worden en mede bepalend zijn voor het criterium. Opties kunnen hierbij afvallen indien ze technisch niet haalbaar zijn of indien een optie beleidsmatig of wettelijk niet is toegestaan. Verder helpen de criteria om te komen tot een voorkeurslijst. Het hoofdstuk wordt afgesloten met een samenvattende legendatabel waarin de kwalitatieve definitie van elke score per beoordelingscriterium weergegeven is.

Randvoorwaarde bij iedere optie is: gezond en veilig

Voor alle opties geldt als uitgangspunt dat ze veilig moeten kunnen worden uitgevoerd en dat de gezondheid van bewoners in de regio en het milieu niet in gevaar mogen komen. Opties die hier niet aan voldoen vallen direct af.

Technisch – mogelijk uitsluitend criterium

In deze fase van de herafweging, de selectie van alternatieven voor de Short List, is de technische toets in sterke mate bepalend of een goed idee ook daadwerkelijk uitvoerbaar is. De opties dienen robuust te zijn, zodat gedurende een lange periode van circa 25 jaar en met mogelijke variatie in de hoeveelheid en samenstelling van het productiewater, de verwerking van het productiewater steeds doorgang kan vinden. Bij de voorgestelde opties wordt gekeken naar:

- Technische haalbaarheid en uitvoerbaarheid
- Geschiktheid als robuuste oplossing (dat wil zeggen bestand tegen veranderingen in het productieproces, zodat voorkomen kan worden dat de productie opnieuw stilgelegd moet worden om aanpassingen aan de installatie te doen, geen experimentele technologie, wel hoge bedrijfszekerheid en goede procesbeheersing)
- Geschiktheid als langdurige oplossing (geschikt voor het totale watervolume, de gehele periode en er wordt voldaan aan de waterkwaliteitseisen)
- Bij waterinjectie opties, de geschiktheid van reservoirs in de diepe ondergrond

Een deel van de opties maakt gebruik van bewezen grootschalige technieken, andere opties vereisen technieken die soms tot op heden alleen op kleinere schaal zijn toegepast. Een bewezen techniek wordt als neutraal gescoord indien deze op kleinere schaal al is toegepast (0). Een bewezen technische oplossing bij vergelijkbare, grootschalige omstandigheden krijgt een '+' score. In het geval de optie grootschalig, robuust en flexibel is en continue toepasbaar is onder verschillende omstandigheden wordt een '++' gescoord. Indien er onzekerheden zijn over de bruikbaarheid van de techniek dan wordt er een '-' of '--' gescoord. Dit geldt ook in het geval er een restproduct over blijft waarvoor geen geschikte verwerking beschikbaar is.

Indien de optie technisch voldoet, maar niet geschikt is als oplossing voor de gehele periode van 25 jaar, dan wordt dit in de tabel grijs aangegeven. Indien een optie ook in combinatie met andere opties niet haalbaar is wordt dit met een 'X' aangegeven.

Planning

De periode tot realisatie van de opties verschilt vanwege onder meer de tijd die benodigd is voor ontwerp, aanbesteding, vergunningaanvragen en bouw. In beginsel vindt in de periode vanaf de tweede helft 2016 tot aan een nieuw gerealiseerde oplossing slechts beperkte oliewinning plaats als gevolg van de pijplijnreparatie die nu wordt uitgevoerd. Pas nadat de (nieuwe) optie voor de verwerking van productiewater operationeel wordt, kan de olieproductie weer op volledige capaciteit en optimaal functioneren. Daarmee vormt de doorlooptijd tot realisatie bij de opties een criterium.

- Realiseerbaar in 2 jaar, in 4 jaar of langer

De score op dit criterium betreft een inschatting van deze te verwachten doorlooptijd tot realisatie, waarbij voor nieuwe situaties geldt dat er met name een onzekerheid is bij het verkrijgen van vergunningen vanwege mogelijke juridische procedures. Voor de aanleg van een zuivering wordt een langere periode verwacht van meer dan 4 jaar, zodat hier een score ‘-’ wordt aangehouden. Indien bestaande waterinjectielocaties onderdeel uitmaken van een optie, kan hier met een korte doorlooptijd rekening gehouden worden (+’).

Beleid – mogelijk uitsluitende criterium

De verschillende opties dienen binnen het bestaande wettelijk en beleidsmatig kader te passen. Een niet vergunbare oplossing valt af, aangezien de optie om deze reden niet realiseerbaar is. Daarnaast is het voor sommige onderdelen in een optie nodig gebruik te maken van land van derden, waarvoor toestemming vereist is. Tot slot wordt een inschatting gemaakt hoe een oplossing zich verhoudt tot lokale beleidsambities en of dit tot vergaande aanpassingen in de oplossing of doorlooptijd gaat leiden.

- Vergunbaar (wettelijk en beleidsmatig);
- Aansluitend op lokale beleidsambities;
- Gebruik van terrein en grond mogelijk (ruimtelijke ordening);

Een oplossing die goed aansluit op deze drie factoren scoort goed. Opgemerkt wordt dat in deze fase van het onderzoek de factoren kwalitatief worden ingeschat, bijvoorbeeld als het gaat om de inschatting van effecten die samenhangen met ruimtelijke ordening, indien het tracé van eventueel nog aan te leggen pijpleidingen niet bepaald is.

Indien een optie past binnen het bestaande beleid of zelfs een voorkeur verdient vanwege dit beleid is er een score ‘+’. Indien er beperkte beleidsmatige wijzigingen nodig zijn, krijgt het een ‘0’ score. In het geval beleidsmatige belemmeringen op kunnen treden en/of er gronden verkregen moeten worden voor de optie krijgt het de score ‘-’. Als er grote beleidsmatige belemmeringen worden verwacht en ongewenste gevolgen optreden (zoals veel restproduct), wordt een ‘- -’ gescoord.

Financieel

Aanpassingen kosten geld, zodat financiële haalbaarheid een belangrijk criterium is. Echter, bij de selectie voor de short list worden op basis van dit financiële criterium geen opties uitgesloten, mede door de relatief grote onzekerheden die er in deze fase nog zijn ten aanzien van de hoogte van de kosten. Voor de bepaling van de kosten moeten zowel de aanlegfase (kapitaalslasten) als de kosten in de operationele fase (bedrijfsvoering) berekend worden. Daarnaast kan het gebruik van bijna leeg

geproduceerde gasvelden en bestaande pijpleidingen er toe leiden dat minder of geen gas kan worden geproduceerd, wat als kostenpost wordt meegerekend. Bij de CE afweging zullen de kosten van de geselecteerde opties in groter detail worden uitgewerkt.

- Kosten (aanlegkosten en operationele kosten)
- Verloren of verminderde olie- en aardgasopbrengsten

Indien de financiële haalbaarheid waarschijnlijk onhaalbaar is omdat de optie zeer kostbaar is, dan scoort deze een '-'. Wanneer de optie duur maar haalbaar is krijgt deze een score '-'. Is de optie in oplopende mate financieel aantrekkelijk dan krijgt deze een '0' of een positieve score '+'.

Milieu

Milieueffecten kunnen optreden bij normale bedrijfsvoering en bij calamiteiten. Onder dit specifieke 'Milieu' criterium wordt gekeken naar de normale bedrijfsvoering. Eventuele effecten bij calamiteiten worden besproken bij het criterium 'Risico', onderstaand.

De CE methode maakt gebruik van een LCA (Life Cycle Analyse) waarmee een breed spectrum aan milieuaspecten in beeld wordt gebracht. Daarmee kunnen de verschillende opties onderling vergeleken worden. Bij de toetsing binnen elk van de clusters van de long list wordt slechts kwalitatief aangegeven welke opties naar verwachting tot meer of minder milieueffecten zullen leiden. Dit is mogelijk omdat er binnen clusters sprake is van vergelijkbare concepten.

- Milieueffecten bij normale bedrijfsvoering (energieverbruik, emissies naar bodem, water en lucht, geluid, effect op natuur, gebruik hulpstoffen, vergravingschade)

Aangezien alle opties uiteindelijk in zekere mate een negatief effect hebben op het milieu, wordt hier een relatieve schaal toegepast, waarbij een positieve score betekent dat er vrij weinig milieueffecten zijn. Lage emissies en een laag energieverbruik scoren goed (+) en hoge emissies scoren slecht '-'. Een oplossing waarbij een langdurige, grootschalige opslag van (chemische) reststoffen in de 'bio-sfeer', het leefmilieu, vereist is scoort dubbel negatief ('- -').

Risico

Het criterium risico geeft een indicatie van ongewenste situaties die kunnen optreden. Dit criterium wordt veel verder uitgewerkt bij de short list opties in de nog uit te voeren toetsing met de CE-methodiek. Op hoofdlijnen is hier al wel een aanduiding voor te geven. Er wordt zowel gekeken naar risico's op korte termijn (gedurende de operationele fase) als op lange termijn, waarbij voor de lange termijn een periode tot ruim na afronding van de operationele fase en afsluiting van de putten wordt bedoeld. Er is specifiek gekeken naar mogelijke risico's voor mens en milieu gerelateerd aan:

- Aardbevingen
- Lekkage pijpleiding
- Lekkage uit reservoir via afdekkend gesteente of injectieput
- Vervuiling / lekkage reststoffen uit stortplaats
- Activiteiten in kwetsbare gebieden (o.a. Natura2000-gebieden)
- Verontreiniging oppervlaktewater / zee

Een oplossing zonder waterinjectie draagt geen aardbevingsrisico maar mogelijk wel een risico van oppervlaktewater vervuiling. Omdat de effecten of gevolgen van alle factoren hierboven onderling niet een-op-een uitwisselbaar zijn worden de effecten eerst individueel en daarna gezamenlijk in een "score" kwalitatief beoordeeld.

Indien risico's bestaan maar de kans van optreden klein is, de gevolgen beperkt zijn en er maatregelen getroffen worden om deze risico's te ondervangen, dan wordt een score '0' gegeven. Indien de kans van optreden wat groter is en de risico's slechts deels met maatregelen ondervangen kunnen worden, maar het effect nog steeds klein of tijdelijk, dan is de score '-'. Indien de kans en het effect van de risico's groter zijn en de risico's slechts deels met maatregelen ondervangen kunnen worden, dan wordt een '- -' gescoord.

Draagvlak

Het draagvlak voor de verschillende opties is een lastig te duiden fenomeen. Met het verstrijken van de tijd kan draagvlak toe- of afnemen. Onbekendheid met de technieken en oplossingen die samenhangen met het oliewinningsbedrijf maken draagvlak mede afhankelijk van interpretatie van niet-gerelateerde incidenten elders. Het draagvlak kan van regio tot regio en van gemeente tot gemeente verschillen. Om meer grip te krijgen op dit element wordt daarom gekeken naar factoren die samenhangen met de vragen en zorgpunten uit de samenleving.

In de onderstaande tabel is aangegeven hoe de scores met plussen en minnen tot stand komt per beoordelingscriterium.

Criteria	++	+	0	-	--	X	Grijs
Technisch	Bewezen techniek, robuust voor variaties in waterkwaliteit, onderhoud en storingen	Bewezen techniek bij vergelijkbare omstandigheden	Bewezen techniek op kleine schaal of andere omstandigheden	Onzekerheden voor ontwerp, moet nader uitgezocht worden	Veel onzekerheden vragen detail onderzoek, niet duidelijk of optie haalbaar is	Technisch niet haalbaar	Alleen haalbaar i.c.m. andere opties vanwege beperkte verwerkingscapaciteit
Planning		Naar verwachting realiseerbaar binnen 2 jaar	Naar verwachting realiseerbaar binnen 4 jaar	Verwachte realisatietijd langer dan 4 jaar			
Beleid		Past binnen bestaand beleid en/of heeft de voorkeur binnen dit beleid	Beleidsmatige wijzigingen nodig, maar geen significante belemmeringen verwacht	Beleidsmatige belemmeringen kunnen optreden, noodzaak gronden beschikbaar te krijgen (voor transportleiding)	Grote beleidsmatige belemmeringen verwacht en ongewenste gevolgen (zoals veel restproduct)	Niet haalbaar omdat het beleidsmatig niet is toegestaan	
Financieel		Financieel haalbaar	Financieel waarschijnlijk haalbaar, maar wel kostbaarder	Financieel mogelijk niet haalbaar	Financiële haalbaarheid onwaarschijnlijk, zeer kostbaar	Financieel zeker niet haalbaar	
Milieu	Gebruik huidige faciliteiten, bijna geen aanvullende milieubelasting	Lage emissies, weinig energieverbruik, weinig vergraving	Middelmatige emissies en energieverbruik, en/of veel vergraving voor nieuwe leidingen	Hoge emissies en energieverbruik, en evt. vergraving	Hoge emissies en energieverbruik, langdurige grootschalige opslag restproducten	Niet haalbaar vanwege onaanvaardbare milieu-impacts	
Risico		Risico's op seismiciteit, lekkage en/of vervuiling zijn bijna uitgesloten	Risico's op seismiciteit, lekkage en/of vervuiling zijn beperkt aanwezig en er zijn maatregelen om deze risico's te ondervangen	Risico's op seismiciteit, lekkage en/of vervuiling zijn aanwezig en kunnen slechts deels met maatregelen ondervangen worden	Risico's op seismiciteit, lekkage en/of vervuiling zijn groot en kunnen slechts deels met maatregelen ondervangen worden	Niet haalbaar vanwege onaanvaardbare risico's	

3. Selectie meest kansrijke optie per cluster

Zoals beschreven, omdat de opties niet eenvoudig met elkaar vergeleken kunnen worden is er voor gekozen om de soms totaal verschillende oplossingen op de long list in clusters onder te brengen. Per cluster wordt de meest kansrijke optie geselecteerd. Daarvoor zijn de opties getoetst op de eerder beschreven criteria.

De scores zijn binnen een cluster onderling vergelijkbaar. Bijvoorbeeld indien een optie een '-' scoort op techniek, kan dit alleen vergeleken worden met de score op techniek van andere opties binnen hetzelfde cluster. Er is geen generieke maatstaf beschikbaar of ontwikkeld welke van toepassing is voor alle opties. De milieueffecten en risico's van totaal verschillende technische oplossingen zijn niet eenvoudig onderling vergelijkbaar. Door de enigszins vergelijkbare opties te clusteren wordt het wel mogelijk om verschillen en voor- en nadelen inzichtelijk te maken. De beste optie per cluster wordt geselecteerd en op de shortlist geplaatst voor nadere evaluatie met de CE methodiek. Deze methodiek is speciaal ontwikkeld om de zeer verschillende milieu-impacts toch tegen elkaar af te kunnen wegen. Omdat er uit elk cluster 1 optie wordt geëvalueerd met de CE methodiek kan het hele spectrum van alle mogelijke oplossingen worden behouden.

Thema 1 – Zuivering en lozing op oppervlakte water, zonder injectie van reststroom

In dit thema worden de verschillende opties besproken waarbij het productiewater niet meer in de diepe ondergrond wordt geïnjecteerd, maar (voor)gezuiverd en daarna geloosd of hergebruikt.

Binnen dit thema wordt onderscheid gemaakt in twee typen oplossingen:

- Opties om water te zuiveren van mijnbouwhulpstoffen en enkele andere omgevingsvreemde stoffen en het schone zoute water daarna te lozen op de zee;
- Opties om water te zuiveren en schoon zoet water te lozen op oppervlaktewater of te hergebruiken.

Cluster: Lozing van schoon zout water op zee

Er zijn drie opties waarbij waterlozing op zee plaatsvindt. Lozing kan plaatsvinden op verschillende locaties, zoals de Eemshaven of op de Eems. Deze drie opties vergen een waterzuivering nabij de OBI, die technisch goed realiseerbaar is (+). Op dit criterium is er geen onderscheid tussen de opties te maken.

Planning is hier eveneens niet onderscheidend, aangezien de realisatietermijn voor elk van de opties als relatief lang wordt ingeschat (score '-').

Beleid is hier wellicht het belangrijkste onderscheidende criterium, vooral met betrekking tot de kwetsbaarheid van het ontvangende waterlichaam. Indien kan worden aangesloten op een lozingspunt bij Spijk in de Eems, via een bestaande vergunde situatie, scoort dit op beleid positief (+). Een nieuwe lozing bij de Eemshaven wordt niet als onmogelijk gezien, maar het verkrijgen van een vergunning hier is zeer onzeker (score '-').

Financieel is niet bijzonder onderscheidend, aangezien net als in alle andere opties een zuivering gebouwd moet worden evenals een lange transportleiding (score '-'). Ter onderscheid is de route in de derde optie naar de Eems financieel iets aantrekkelijker vanwege een kortere transportleiding en daarom is deze optie met een score 0 weergegeven.

Het aspect milieu scoort voor alle drie de opties neutraal (score 0), omdat de waterzuivering relatief veel energie vraagt en bij de aanleg van transportleidingen veel bodem vergraven zal worden.

De belangrijkste risico's bij deze opties bestaan uit mogelijke lekkage van de transportleiding en mogelijke verontreinigingen die onbedoeld in het gezuiverde water voorkomen en na lozing het zeemilieu verstoren. Lozing op de Eemshaven geeft vanwege de nabijheid van de Waddenzee een verhoogd risico bij calamiteiten. Om dit te voorkomen kan bijvoorbeeld gebruik worden gemaakt van een bufferzone met rietvelden. Daarnaast is de optie meegenomen, waarbij waterlozing plaatsvindt bij een bestaand lozingspunt bij Spijk in de Eems. In geval van een onbedoelde lozing geeft het beperkte en tijdelijke effecten, vandaar de score van '-'. Bij gebruik van rietvelden is ter onderscheid een score van 0 gegeven aangezien hier het water voor lozing in rietvelden gecontroleerd kan worden, zodat de aanvoer tijdig kan worden stopgezet.

Zorgpuntenafweging tussen verschillende opties

Doordat de drie opties uit vergelijkbare componenten zijn opgebouwd, komen dezelfde zorgpunten aan bod. Dit heeft vooral betrekking op:

- mogelijke grondwaterverontreiniging in het geval van een lekkage in de transportleiding. Het transport van (schoon) zout water over lange afstand kan daarom weerstand oproepen. Daar waar mogelijk dient de route kwetsbare gebieden (zoals natuurgebieden) te vermijden.
- het lozingspunt in de zee, waarbij rekening gehouden moet worden met gevoeligheden bij het kwetsbaar zeemilieu. Onder normale omstandigheden vindt lozing plaats binnen de gestelde normen, maar er is altijd een risico dat de waterzuivering tijdelijk onvoldoende functioneert, zoals bij storingen.
- Doordat bij deze opties geen injectie van water in de diepe ondergrond plaatsvindt, komen de zorgpunten die hier betrekking op hebben bij deze opties te vervallen.

De zorgpunten gelden voor alle drie de opties in vergelijkbare mate.

Cluster; Lozing van schoon zoet water op oppervlaktewater of hergebruik met zout als restproduct

Hier zijn eveneens drie opties waarbij het productiewater geheel gezuiverd wordt, met als resultaat schoon zoet water en een grote hoeveelheid zout restmateriaal:

- I. De waterzuivering kan worden gecombineerd met de bestaande waterzuivering voor ultra-puur water van NieuWater in Emmen. Het productiewater kan dan als puur water weer gebruikt worden voor stoomproductie, waarmee een retourstroom ontstaat naar

het reservoir. Het aanpassen van de huidige waterzuivering is echter technisch moeilijk, omdat deze is geoptimaliseerd in de samenwerking met de bestaande Rioolwaterzuiveringsinstallatie (RWZI).

- II. Nieuwbouw ter plaatse van de OBI is makkelijker te realiseren dan een combinatie met de bestaande zuivering door NieuWater. Met betrekking tot een dergelijke nieuwbouw zijn er 2 opties, afhankelijk van het restproduct:
 - a. Zuivering van het restproduct tot schoon, gemengd zout
 - b. Geen zuivering van het restproduct met oplevering van vervuild zout

Alle drie de opties zijn technisch mogelijk, zowel de zuivering van het water als de opslag van het restproduct, maar de grote hoeveelheid restproduct, waarvoor geen goede gebruiker of afnemer in beeld is, resulteert voor alle drie de opties in een technische score van ‘- - ‘ vanwege de additioneel benodigde grootschalige, lange termijn opslag. Dit geldt ook voor de productie van schoon, gemengd zout. Na gesprekken met een logische potentiële afnemer bleek dat hier momenteel geen interesse voor is.

De planning is eveneens niet onderscheidend, gezien de te verwachten lange periode bij de ontwikkeling van een waterzuivering (score ‘-’).

Het meest onderscheidend is hier het criterium beleid, waarbij het concept met een relatief schoon restproduct dat mogelijk herbruikbaar is (score ‘0’), de voorkeur heeft boven de productie van een gemengd restproduct waar geen toepassing voor mogelijk lijkt (score ‘- -’).

Financieel is binnen het cluster niet echt onderscheidend, aangezien in alle opties een extra zware en kostbare zuivering gebouwd moet worden en een restproduct ontstaat waarvoor geen duidelijke toepassing is (score ‘- -’).

Op het gebied van milieu heeft dit cluster een grote negatieve impact vanwege het hoge energiegebruik, de hoge emissies en de diverse reststromen die ontstaan. Er ontstaat pas onderscheid op basis van de kwaliteit van het restproduct. De grote hoeveelheid restproduct geeft op zichzelf al een negatieve milieuscore (-), waarbij vanwege de samenstelling van het restproduct deze optie nog lager scoort (‘- -’).

Het risico van deze opties is dat het restproduct vroeger of later in het milieu komt en tot ernstige verstoring leidt. Dit is meteen een lange termijn probleem en vandaar dat de score als een ‘- -’ is gegeven. Dit treedt mogelijk niet op bij relatief schoon, gemengd zout, indien hier op termijn een toepassing voor gevonden kan worden (score 0).

Samenvattend; zuivering waarbij er naast schoon zoet water een potentieel bruikbaar eindproduct van relatief schoon zout resteert, scoort beter op risico, milieu en beleid.

Vooraf de wijze waarop wordt omgegaan met de grote hoeveelheid reststoffen (vooral het gemengde zout) kan leiden tot problemen op het gebied van draagvlak. Voor de afvoer zullen veel vrachtwagens, in de orde van grootte van 10 tot 20 truckladingen dagelijks moeten rijden, maar mogelijk aanzienlijk meer afhankelijk van de mate waarin het zout gedroogd is. Tot 2040 wordt een totaal zoutvolume van grofweg 1,3 miljoen m³ (ofwel een volume van ongeveer 110 bij 110 bij 110 meter, indien kurkdroog zout) geproduceerd (uitgaande van een constante productie van 300 ton per dag). Als variant geldt het lokaal opslaan van dit zout in

een speciaal daarvoor aangelegd depot, met risico's dat het op de lange termijn in het lokale milieu belandt.

Zorgpuntenafweging tussen verschillende opties

De drie opties hebben allemaal betrekking op een waterzuivering, lozing van schoon water en de verwerking van het vaste restproduct. Per onderdeel kunnen er zorgpunten zijn:

- De waterzuivering bestaat uit een zichtbare installatie, mogelijk met effecten op geluid en licht, en zal daarmee een verstorend effect in de omgeving vormen.
- De lozing van relatief grote volumes zoet water op het oppervlaktewatersysteem zal mogelijk aanpassingen vragen voor het waterschap. Indien de waterzuivering niet optimaal functioneert, kan dit leiden tot toevoeging van gebiedsvreemde stoffen aan het oppervlaktewater.
- In elk van de drie opties komt er een grote hoeveelheid zout materiaal vrij dat verwerkt dient te worden. Dit zal gezien de omvang kunnen leiden tot overlast, bij de afvoer van de vaste stof en bij de opslag. In het geval van lokale opslag ontstaat naar verwachting een vrij grote en zichtbare zoutberg. Daarbij is er tevens een zorgpunt van lekkage van zout water naar de ondergrond.
- Doordat bij deze opties geen injectie van water in de diepe ondergrond plaatsvindt, komen de zorgpunten die hier betrekking op hebben bij deze opties te vervallen.

Het verschil tussen de opties op het gebied van zorgpunten is vooral gelegen in de locatie waar de waterzuivering wordt gerealiseerd. Verstoring van de omgeving zal afhankelijk van de inpassing groter of kleiner zijn, maar is op voorhand niet onderscheidend tussen de locaties.

Code	Thema 1 - Zuivering en lozing, zonder injectie van reststroom	Technisch	Planning	Beleid	Financieel	Milieu	Risico
	Cluster: Lozing van schoon zout water op zee						
1A	Zuivering op OBI, transport naar rietvelden en lozing zout water bij Eems-gebied	+	-	-	-	0	0
1B	Zuivering op OBI, transport en directe lozing zout water bij Eemsgebied (zonder rietvelden)	+	-	-	-	0	-
1C	Zuivering op OBI, transport naar derde in het noorden voor transport en lozing zout water	+	-	+	0	0	-
	Cluster: Lozing van schoon zoet water op oppervlaktewater of hergebruik met zout als restproduct						
1D	Zuivering op OBI van zout en hulpstoffen en lozing zoet water op oppervlaktewater. Hergebruik schoon zout.	--	-	0	--	-	0
1E	Zuivering op OBI van zout en hulpstoffen en lozing zoet water op oppervlaktewater. Afvoer vervuild zout.	--	-	--	--	--	--
1F	Retour Nieuwater. Zuivering gevolgd door hergebruik water en afvoer van vervuild zout.	--	-	--	--	--	--

Thema 2 – Zuivering en lozing van schoon zoet water op oppervlakte water, met injectie van geconcentreerde reststroom

In dit thema worden de verschillende opties besproken waar het productiewater wordt gescheiden in verschillende stromen. Dit thema bestaat uit een enkel cluster. Er ontstaat een schone waterstroom, die, na verdere zuiveringsstappen in de Ultra-Puur Water fabriek van NieuWater, kan worden hergebruikt voor stoominjectie of meteen geloosd wordt op het oppervlaktewater. Er wordt gekeken naar zuivering van toegevoegde stoffen tot het huidige vergunningsniveau of tot het technisch laagst haalbare niveau. Ook ontstaat een geconcentreerde reststroom met kleiner volume, die wordt geïnjecteerd in geschikte velden.

Er zijn in dit cluster drie opties benoemd, met verschillen in de mate en wijze van waterzuivering.

- I. Er is een optie bekeken waarbij de waterzuivering plaatsvindt bij NieuWater, in combinatie met de bestaande zuivering (2A).
- II. Er zijn verder twee opties gedefinieerd waarbij een nieuwe waterzuivering gebouwd wordt ter plaatse van de OBI.
 - a. (2B) Een optie waarbij een beperkte reststroom met hogere concentraties (brijn) weer in het Schoonebeek oliereservoir kan worden teruggebracht. Het blijkt dat dit om veel redenen technisch een erg moeilijke oplossing is, mede omdat als gevolg hiervan de druk in het oliereservoir snel toeneemt en daarmee de stoominjectie en als gevolg hiervan de oliewinning sterkt negatief wordt beïnvloed. Technisch lijkt deze optie daarmee niet haalbaar.
 - b. (2C) Een optie waarbij een beperkte reststroom met hogere concentraties (brijn) wordt geïnjecteerd in een van de bestaande waterinjectielocaties.

Bij deze opties geldt dat technisch de beste optie bestaat uit een nieuwe zuivering bij de OBI, met waterinjectie in een leeg gasveld (score +). Dezelfde optie maar dan gerealiseerd bij NieuWater en in combinatie met de bestaande NieuWater zuivering is mogelijk maar technisch complex (score '-'). Terugbrengen van het productiewater in de flanken van het Schoonebeek olieveld is complex door de hoge drukopbouw die hierdoor ontstaat in het reservoir (score '- - ') en de benodigde aanleg van een compleet waterinjectie pijplijn netwerk samen met nieuw te boren putten voor de injectie van het water.

De planning is niet onderscheidend aangezien voor alle opties een zuivering gebouwd dient te worden (score '-').

Beleidsmatig worden de opties als haalbaar gezien, met een positieve score voor herinjectie in het Schoonebeekveld, vanuit de gedachte dat het productiewater bij voorkeur terug gaat naar het reservoir waar het ook uit afkomstig is, score '+'.

Alle opties zijn financieel relatief duur door de te bouwen waterzuivering, score '-'. De optie 2a is echter aanzienlijk duurder omdat veel extra kostbare aanpassingen nodig zijn in het Schoonebeek olieveld (extra boringen en leidingnetwerk) en waarbij waarschijnlijk de olieproductie ernstig wordt gehinderd.

De eerste optie met hergebruik van water bij NieuWater scoort iets beter op milieu (score 0), dan de zuivering en waterinjectie opties (score '-'), omdat zuivering bij NieuWater minder energie vergt (er ontstaat dan ook een grotere reststroom).

Deze drie opties hebben relatief weinig risico's, mede omdat de zuivering en waterinjectie nabij het Schoonebeekveld plaatsvinden.

Zorgpuntenafweging tussen verschillende opties

De opties binnen dit cluster hebben dezelfde zorgpunten als bij de waterzuivering en schoon waterlozing. Daarnaast zijn er zorgpunten in relatie tot watertransport en de waterinjectie.

- De waterzuivering bestaat uit een zichtbare installatie, mogelijk met effecten op geluid en licht, en zal daarmee een verstrend effect in de omgeving vormen.
- De lozing van relatief grote volumes zoet water op het oppervlaktewatersysteem zal mogelijk aanpassingen vragen voor het waterschap. Indien de waterzuivering tijdelijk niet optimaal functioneert, kan dit leiden tot toevoeging van gebiedsvreemde stoffen aan het oppervlaktewater.
- Het brijn wordt getransporteerd vanaf de waterzuivering naar een injectielocatie. Tijdens het transport is er mogelijke grondwaterverontreiniging in het geval van een lekkage in de transportleiding. Het transport van zout water kan daarom weerstand oproepen. Daar waar mogelijk dient de route kwetsbare gebieden (zoals natuurgebieden) te vermijden.
- Bij waterinjectie gelden de zorgpunten met betrekking tot de chemische samenstelling van het te injecteren water, zorgen met betrekking tot het lekvrij zijn van de injectieputten en de ondergrondse structuren met zorgen over de gevolgen in de ondiepe ondergrond, mogelijke oplossing van zoutlagen in de diepe ondergrond met bodemdaling tot gevolg, en tot slot zorgen om seismische activiteit.
- Bij deze opties zijn zowel de zorgpunten vanuit watertransport, waterlozing en waterinjectie relevant. Geen van deze zorgpunten vervallen op voorhand.

Deze zorgpunten gelden voor alle de opties. Bij herinjectie Schoonebeek zal de transportafstand relatief klein zijn, wat als gunstig gezien kan worden. De waterinjectie in het Schoonebeek olieveld kan als ongunstiger gezien worden, door de hogere druk die daarmee ontstaat in de ondergrond.

Code	Thema 2 – Zuivering met injectie van reststroom in reservoirs	Technisch	Planning	Beleid	Financieel	Milieu	Risico
2A	Retour Nieuwater. Zuivering gevolgd door hergebruik 2000 m3/d en injectie van 6000 m3/d brijn in Drenthe of Twente.	-	-	0	-	0	0
2B	Zuivering op OBI gevolgd door lozing 6000 m3/d en injectie van 2000 m3/d brijn .in Drenthe of Twente	+	-	0	-	-	0
2C	Zuivering op OBI gevolgd door lozing 6000 m3/d en injectie van 2000 m3/d brijn terug in olieveld Schoonebeek West.	--	-	+	--	-	0

Thema 3 – injectie van het volledige water volume, eventueel met zuivering

Bij alle opties wordt ook gekeken naar zuivering van toegevoegde stoffen tot het huidige vergunningsniveau of tot het technisch laagst haalbare niveau. Het zout blijft achter in het water. Binnen dit thema wordt onderscheid gemaakt in twee clusters:

Cluster: Injectie alleen in Twente

Indien alleen waterinjectie in Twente kan plaatsvinden, dan blijkt met de kennis van nu dat er onvoldoende opslagruimte is om al het productiewater tot het einde van het project te kunnen injecteren. Herziene berekeningen geven aan de totale direct beschikbare capaciteit nog circa 37 miljoen m³ bedraagt. Deze opslagcapaciteit zou met nieuwe vergunningen en technische aanpassingen uitgebreid kunnen worden tot maximaal 50 miljoen m³. De opslagcapaciteit in Twente is daarom onvoldoende om al het productiewater te injecteren. Het verwachte maximaal benodigde opslagvolume is namelijk circa 75 miljoen m³. Daarom scoren deze opties grijs op **technisch**. Deze opties kunnen wel uitgevoerd worden in combinatie met andere opties. Daarnaast kan zonder andere aanpassingen ook maar een beperkt watervolume door de gerepareerde buis, de pipe-in-pipe, stromen, waardoor de olieproductie met gebruikmaking van alleen de pipe-in-pipe oplossing niet op volledige capaciteit kan plaatsvinden.

Wat betreft planning scoren de opties gelijk ('+'), omdat de pipe-in-pipe in beide gevallen relatief snel geïnstalleerd kan worden, waardoor olieproductie gelijktijdig kan starten. De optie waarin alleen een pipe-in-pipe wordt aangebracht scoort beter op beleid, financieel en milieu omdat dit tot minder beleidsmatige wijzigingen, kosten en vergravingschade leidt dan wanneer parallel ook een nieuwe pijpleiding aangelegd wordt. Wat betreft risico scoren de opties gelijk.

Beide opties geven onvoldoende wateropslagcapaciteit voor het gehele project. De tweede optie met een extra transportleiding biedt echter de mogelijkheid om langere termijn in Schoonebeek volle olieproductie te realiseren en heeft daarom de voorkeur.

Cluster: Injectie op andere locaties eventueel in combinatie met Twente-locaties

In dit cluster worden opties besproken waarbij injectie buiten Twente plaatsvindt, eventueel in combinatie met injectie in de Twentevelden. Potentieel realiseerbare opties voor waterinjectie bevinden zich in oude, kleine gasvelden in Twente, Drenthe en Groningen. In Drenthe wordt onderscheid gemaakt tussen de velden in de directe omgeving van Schoonebeek (Zuidoost Drenthe) en de overige Drenthevelden. Bij de Groningenvelden is ook nog speciaal gekeken naar de mogelijkheid om aan te sluiten bij de bestaande waterinjectie in Borgweer, dat een onderdeel is van het grote Groningen veld.

Uit de verschillende scores blijkt dat de meeste opties in principe technisch goed mogelijk zijn (score '+'), waarbij de combinatie van gelijktijdige injectie in Twente- en Drenthevelden het beste scoort (score '++') aangezien bij het tijdelijk niet kunnen injecteren in één van de locaties, de olieproductie kan doorgaan met injectie in de andere locatie. De injectie alleen in Schoonebeek Diep scoort 'grijs' op technisch omdat hier niet het volledige productiewatervolume opgeslagen kan worden. Injectie in Olieveld Schoonebeek is technisch

niet haalbaar, omdat dit in combinatie met stoominjectie tot te hoge reservoirdruk leidt, waardoor de olieproductie niet meer plaats kan vinden (score: 'X'). 3. Aansluiten bij de waterinjectie in Borgsweer is technisch lastig (score '-') omdat dan de bestaande waterinjectie-capaciteit daar sterk moet worden uitgebreid en er een lange transportleiding benodigd is.

De planning geeft aan dat bij opties waarbij de waterinjectie in de Twentevelden gecombineerd wordt met injectie elders op korte termijn uitvoerbaar is (score '+'), terwijl bij het stopzetten van de injectie in Twente en overstappen naar andere injectievelden er meer tijd nodig is om de voorzieningen en putten gereed te maken (score '-').

Beleidsmatig worden opties waarbij waterinjectie in Twente wordt gecombineerd met injectie op andere locaties neutraal gescoord, aangezien er een bestaande vergunning voor Twente is (score '0'), hoewel deze optie vanuit de regio kritisch bekeken wordt. Voor geheel nieuwe injectielocaties in Twente wordt voorsnog een score '-' aangehouden, er van uitgaand dat ook hier discussie zal ontstaan tijdens de vergunningen aanvraagprocedure. In dat geval dient het volledige productiewatervolume elders in Drenthe en Groningen geïnjecteerd te worden, waardoor beduidend meer nieuwe, vaak veel kleinere velden vergund moeten worden voor waterinjectie.

Financieel is de optie met waterinjectie in Twente en Drenthe samen onderscheidend (score '0'), omdat hiervoor de minste aanpassingen nodig zijn. Hoewel waterinjectie alleen in Schoonebeek Diep minder kost ('+') is deze optie niet geschikt om het totale volume van het productiewater te bergen. Bij voortzetting in Twente zal een nieuwe transportleiding extra kosten opleveren (score '-'). Bij de overige opties moeten alle installaties worden aangepast en is een relatief lang nieuw transportnetwerk nodig (score '- -').

Geen van deze opties heeft een sterke negatieve invloed op het milieu, omdat relatief weinig emissies worden veroorzaakt met een relatief laag energieverbruik. Om toch onderscheid aan te brengen tussen de verschillende injectievarianten, scoort het gebruik van de Twente en Drenthevelden '++', omdat dit tot de minste vergravingschade leidt. Het geheel overschakelen op velden buiten Twente leidt tot meer effecten van vergraving. Tevens leiden langere transportafstanden tot een hoger het pomp-energieverbruik (aangeduid met relatief lagere score '+' of '0').

Bij de waterinjectie opties zijn de mogelijkheid van aardbevingen of lekkage uit het reservoir de belangrijkste risico's. Om dit te voorkomen zijn de putten en velden zodanig gekozen dat er geen aardbevingen of lekkage meer worden verwacht. Mocht zich onverhoopt toch een incident voordoen in 1 of meer van de reservoirs, dan zijn er bij de opties voldoende andere putten en velden om de waterinjectie over te nemen. Daarom is er een score '0' aangehouden.

Zorgpuntenafweging tussen verschillende opties

Bij de waterinjectie opties zijn veel zorgpunten benoemd. Er zijn zorgen over de transportleiding, de mogelijkheid dat het productiewater uit de diepe ondergrond naar

ondiepere lagen stroomt of zelfs naar het oppervlaktewater. Tevens zijn er zorgen met betrekking tot mogelijke oplossing van zoutlagen en mogelijke aardbevingen.

- Het productiewater wordt getransporteerd vanaf de OBI naar een injectielocatie. Tijdens het transport is er mogelijke grondwaterverontreiniging in het geval van een lekkage in de transportleiding. Het transport van zout water over lange afstand kan daarom weerstand oproepen. Daar waar mogelijk dient de route kwetsbare gebieden (zoals natuurgebieden) te vermijden.
- Bij waterinjectie gelden de zorgpunten met betrekking tot de chemische samenstelling van het te injecteren water, zorgen met betrekking tot het lekvrij zijn van de injectieputten en de ondergrondse structuren met zorgen over de gevolgen in de ondiepe ondergrond, mogelijke oplossing van zoutlagen in de diepe ondergrond met bodemdaling tot gevolg, en tot slot zorgen om seismische activiteit.
- Bij deze opties vindt geen lozing plaats van zoet of zout water op oppervlaktewater. De hieraan gerelateerde zorgpunten komen bij deze opties te vervallen.

De zorgpunten ten aanzien van watertransport gelden voor alle opties. Ten aanzien van de waterinjectielocaties worden de zorgpunten als randvoorwaarden meegenomen. Dat betekent dat reservoirs worden geselecteerd waarin geen aardbevingen worden verwacht, putten in beeld komen die technisch in orde zijn en reservoirs met geschikte afdekkende lagen.

Code	Thema 3 – injectie van het volledige watervolume	Technisch	Planning	Beleid	Financieel	Milieu	Risico
3A	Waterinjectie alleen in Twentevelden (Pipe in Pipe)		+	+	+	++	0
3B	Waterinjectie alleen in Twentevelden (Pipe in Pipe + nieuwe pijpleiding)		+	0	0	+	0
Cluster: Injectie op andere locaties evt. i.c.m. Twente							
3C	Waterinjectie in het gasveld Schoonebeek Diep		+	0	+	++	0
3D	Waterinjectie terug in Olieveld Schoonebeek	X					
3E	Waterinjectie in Twentevelden (Pipe in Pipe + nieuwe pijpleiding), gevolgd door ZO Drenthevelden	+	+	0	-	+	0
3F	Waterinjectie gelijktijdig in Twentevelden (Pipe-in-pipe) en in ZO Drenthevelden	++	+	0	0	++	0
3G	Waterinjectie in de ZO Drenthevelden	+	-	-	--	+	0
3H	Waterinjectie in de Drenthe- en kleine Groningenvelden	+	-	-	--	0	0
3I	Waterinjectie in Borgsweer (Groningenveld)	-	-	-	--	0	0

Thema 4 – Overige opties

Dit zijn de opties waarvan in een vroeg stadium duidelijk werd dat deze hoogstwaarschijnlijk niet haalbaar zijn.

In de onderstaande tabel zijn opties aangegeven die wel beperkt zijn uitgewerkt maar uiteindelijk technisch of beleidsmatig niet haalbaar zijn gebleken. Dat komt mede doordat een deel van de opties afhankelijk is van samenwerking met derden, partijen die uiteindelijk geen mogelijkheden zien of nadrukkelijk geen samenwerking wensen.

Bij de samenwerking met Duitsland staat nog een vraagteken. Het Schoonebeek olieveld bevindt zich voor een groot deel op Duits grondgebied. Ook in Duitsland wordt olie gewonnen en wordt productiewater verwerkt en geïnjecteerd in de diepe ondergrond. In verkennende gesprekken bleek in eerste instantie een omgekeerde vraag naar beschikbare reservoirs het geval, waarbij productiewater uit Duitsland naar Nederland zou worden getransporteerd voor verwerking. Verwerking bij Emlichheim en Rühlermoor blijkt niet mogelijk, maar momenteel wordt een gezamenlijke oplossing voor de in het gebied actieve oliemaatschappijen opnieuw nader verkend (waterinjectie in Duitse Zechstein reservoirs in samenwerking met het West Emsland Consortium). Er zijn sterke aanwijzingen dat om verschillende redenen (waaronder vergunning technisch) productiewater transport naar Duitsland niet haalbaar zal blijken. Opgemerkt wordt dat indien een oplossing mogelijk mocht blijken, de doorlooptijd voor implementatie waarschijnlijk erg lang zal zijn.

Zorgpuntenafweging tussen verschillende opties

De genoemde opties hebben vergelijkbare zorgpunten met de eerder beschreven opties. Doordat deze technisch of beleidsmatig niet uitvoerbaar zijn, wordt niet verder onderscheid gemaakt tussen verschillende zorgpunten.

Code	Thema 4 - Overige opties	Technisch	Planning	Beleid	Financieel	Milieu	Risico
4A	Zuivering op OBI, Transport naar Waddenzee of Dollard			X			
4B	Zuivering op OBI, Transport naar Noordzee, West Nederland	X					
4C	Afname via Afvalbeheerbedrijf (Andaver of ATM in Zeeland of CMF in Velsen)	X					
4D	Zuivering op OBI, transport van schoon zout naar Zoutfabriek in Drenthe, Overijssel of Friesland	X			X		
4E	Afname via RWZI/AWZI of industriepark (Europark, Emmtec bv) met of zonder voorzuivering	X					
4F	Zuivering op OBI en injectie in Schoonebeek Oost	X					
4G	Zuivering op OBI en injectie in Emlichheim, Duitsland	X		X			
4H	Transport via Pijpleiding naar Ruhleemoor, Duitsland en injectie in potentieel Exxon waterinjectieproject	?		?			
4I	Injectie in aquifers	X		X			X
4J	Zoutcavernes	X					X