

RAPPORT

**Herafweging verwerking  
productiewater Schoonebeek 2022**

Eindrapportage

Klant: NAM B.V.

Referentie: BF5299I&BRP001F01

Status: Definitief/01

Datum: 27 juni 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 2022

Sub titel: Eindrapportage  
Referentie: BF5299I&BRP001F01  
Status: 01/Definitief  
Datum: 27 juni 2022  
Projectnaam: Herafweging verwerking productiewater  
Projectnummer: BF5299

---

---

---

---

---

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.*

## Inhoud

<b>1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>1</b>
1.1	Oliewinning Schoonebeek	1
1.2	Aanleiding voor de Herafweging	2
1.3	Afbakening	2
1.4	Aandachtspunten	3
1.5	Terminologie	3
1.6	Leeswijzer	4
<b>2</b>	<b>Doel en opzet van de Herafweging</b>	<b>6</b>
2.1	Inleiding	6
2.2	Vergunningsvoorwaarde	6
2.3	Doel van de Herafweging	7
2.4	Werkwijze	8
<b>3</b>	<b>Bevindingen waterinjectie Twente 2016-2022</b>	<b>10</b>
3.1	Inleiding	10
3.2	Oliewinningsproces	10
3.3	Injectiecapaciteit	11
3.4	Samenstelling van het productiewater	16
<b>4</b>	<b>Selectie te toetsen alternatieven</b>	<b>21</b>
4.1	Inleiding	21
4.2	Uitgebreide lijst	21
4.3	Toetsing van de lijst door EMI Twente	23
4.4	Selectiecriteria	24
4.5	Selectie meest kansrijke opties per thema	25
<b>5</b>	<b>Nieuwe inzichten waterzuiveringstechnieken</b>	<b>29</b>
5.1	Inleiding	29
5.2	Marktconsultatie en ontvangen zuiveringstechnieken	29
5.3	Toetsing zuiveringstechnieken op toepasbaarheid en milieufactoren	30
5.4	Bevindingen waterzuiveringstechnieken	31
<b>6</b>	<b>Nieuwe inzichten waterinjectie Drenthe</b>	<b>32</b>
6.1	Inleiding	32
6.2	Selectie leeg geproduceerde gasvelden Drenthe	32
6.3	Beschrijving Schoonebeek Gasveld	37

6.4	Beschrijving Schoonebeek Olieveld en Aquifer	38
<b>7</b>	<b>Te toetsen alternatieven</b>	<b>45</b>
7.1	Inleiding	45
7.2	Alternatief 1: Vast zout middels kristallisatie (conform 2016)	45
7.3	Alternatief 2: Zout water naar de zee (conform 2016)	49
7.4	Alternatief 3: Circulaire aanpak (aangepast alternatief indikken 2016)	53
7.5	Alternatief 4: Waterinjectie Drenthe (aangepast t.o.v. 2016)	59
7.6	Referentiesituatie: Huidige situatie waterinjectie in Twente (update t.o.v. 2016)	61
<b>8</b>	<b>Toetsingsmethodiek: CE-afwegingsmethodiek</b>	<b>62</b>
8.1	Inleiding	62
8.2	Totstandkoming van CE-afwegingsmethodiek in 2004	62
8.3	Toelichting CE-afwegingsmethodiek	62
8.4	Toepassing CE-afwegingsmethodiek	63
<b>9</b>	<b>Toetsing randvoorwaarden waterinjectie</b>	<b>65</b>
9.1	Inleiding	65
9.2	Toetsing randvoorwaarden	65
9.3	Resultaat toetsing randvoorwaarden	68
<b>10</b>	<b>Doelmatigheidstoets</b>	<b>69</b>
10.1	Inleiding	69
10.2	Toetsing milieu	69
10.3	Benoemen risico's	72
10.4	Toetsing risico's korte termijn (operationele risico's)	75
10.5	Toetsing risico's lange termijn	88
10.6	Toelichting kosten	94
<b>11</b>	<b>Resultaten van de CE-toetsing</b>	<b>99</b>
11.1	Inleiding	99
11.2	Overzichtstabel	99
11.3	Uitleg scores per alternatief	100
11.4	Belangrijkste verschillen	103
11.5	Verdere optimalisaties	103
<b>12</b>	<b>Duiding van de bevindingen</b>	<b>105</b>
12.1	Inleiding	105
12.2	Antwoorden op centrale vragen	105
12.3	Status onderzochte alternatieven	106

12.4	Kernvragen gericht op waterinjectie	107
12.5	Afweging effecten in biosfeer en risico ondergrond	108
12.6	Voornemen NAM ten aanzien van verwerking productiewater in de nabije toekomst	109
<b>13</b>	<b>Omgaan met onzekerheden in de afweging</b>	<b>110</b>
13.1	Inleiding	110
13.2	Onzekerheden en leemten in kennis	110
13.3	Ondergrond in beeld brengen	111
13.4	Monitoring	112
13.5	Lerende organisatie	113
	<b>Bronnen</b>	<b>115</b>
	<b>Begrippen en afkortingen</b>	<b>117</b>

## 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, Royal HaskoningDHV
5. Overkoepelende risicoanalyse waterinjectie Twente en Schoonebeek, NAM, 2022
6. Waterinjectie Management Plan 2022, Twente, NAM, 2022

## Managementsamenvatting

### *Waarom een herafweging waterinjectie Twente?*

Bij de oliewinning Schoonebeek wordt met de olie ook water uit de diepe ondergrond geproduceerd. Het water is van nature aanwezig in de oliereservoirs en bevat van nature een grote hoeveelheid zouten, resten olie, enkele metalen en gassen. Het water wordt in Schoonebeek gescheiden van de olie en moet als productiewater worden verwerkt.

Het is niet toegestaan het productiewater direct te lozen op oppervlaktewater. In 2006 is in het Milieueffectrapport voor de herontwikkeling van oliewinning Schoonebeek onderzocht wat de beste manier is om het productiewater te verwerken. Op basis van de milieueffecten, risico's en kosten is toen geconcludeerd dat het terugvoeren in leeg geproduceerde gasvelden in Twente de meest geschikte methode is voor de verwerking van het productiewater. Hierbij wordt gebruik gemaakt van een transportleiding van Schoonebeek naar de Twente gasvelden en van de injectielocaties en injectieputten bij deze gasvelden. Bij de vergunning is vervolgens als voorwaarde opgenomen, dat elke 6 jaar een herafweging moet worden gemaakt of injectie in leeg geproduceerde gasvelden in Twente nog steeds de meest geschikte verwerkingsmethode is.

### *Hoe vindt de herafweging waterinjectie Twente plaats?*

De waterinjectie is in 2011 van start gegaan. Op verzoek van de Minister van Economische Zaken en Klimaat (EZK) vond de eerste Herafweging al na 5 jaar plaats, mede ten gevolge van zorgen in de omgeving van de waterinjectielocaties. Het onderzoek gaf een overzicht van mogelijke alternatieven voor waterinjectie Twente, waarbij duidelijk werd dat de alternatieven leiden tot meer milieueffecten en hogere kosten, zodat op basis hiervan de Minister van Economische Zaken en Klimaat in 2016 concludeerde dat voortzetting van waterinjectie in Twente de juiste aanpak vormde.

Op verzoek van de Minister is de tweede Herafweging wederom een jaar vervroegd. In 2021 is gestart met deze Herafweging. Er is op verzoek van Staatstoezicht op de Mijnen (SodM) gewacht op de resultaten van aanvullend onderzoek naar de injectieputten, waardoor deze Herafweging pas in het tweede kwartaal van 2022 is afgerond. Het onderzoek wijst uit dat er bij deze putten geen sprake is geweest van gevaar voor mens en milieu.

In de Herafweging 2022 is de CE-afwegingsmethodiek gebruikt, die ook werd toegepast bij het MER 2006 en de Herafweging 2016. Deze methodiek is opgenomen in het Landelijk Afval Beheerplan (LAP3) als afwegingskader op grond waarvan een milieu-hygiënische vergelijking gemaakt kan worden tussen een bovengrondse verwerkingsroute en het injecteren van bodemvreemde afvalstoffen in de diepe ondergrond. De CE-afwegingsmethodiek vergelijkt naast milieueffecten ook naar risico's en kosten.

### *Vindt het huidige proces van watertransport en -injectie plaats conform de oorspronkelijke verwachtingen?*

In 2015 is een lekkage ontstaan in de transportleiding vanaf Schoonebeek naar de Twentevelden. Sinds het herstel van de transportleiding met een pijp-in-pijp constructie in 2016 is de transportcapaciteit lager dan voorheen en wordt alleen nog water geïnjecteerd in het Rossum-Weerselo gasveld. Bij het Rossum-Weerselo gasveld zijn er ook beperkingen in het gebruik van de aanwezige putten. Put ROW-3 is gesloten omdat de injectiviteit tegenviel. De afgelopen jaren zijn de putten ROW-2 en ROW-4 technisch onvoldoende betrouwbaar gebleken en deze worden dan ook niet meer gebruikt voor waterinjectie. Daardoor blijven naar verwachting alleen de putten ROW-5 en ROW-7 over (na beoordeling van diverse onderzoeken door SodM). Deze omstandigheden leiden ertoe dat de mogelijkheden van waterinjectie in de Twentevelden zijn beperkt ten opzichte van de oorspronkelijke opzet.

Het oliereservoir reageert op bepaalde vlakken afwijkend ten opzichte van de oorspronkelijke verwachting tijdens de aanvraag van de vergunningen. Hierdoor is de operationele bandbreedte voor sommige waterkwaliteitsparameters in de vergunning krap gedefinieerd. Dit geldt specifiek voor de van nature aanwezig stof toluen, waarvoor al gedurende de gehele productieperiode blijkt dat deze regelmatig net boven de maximale waarde van de vergunning komt. SodM heeft aangegeven dat overschrijding bij deze hoeveelheden geen negatieve gevolgen heeft gehad<sup>1</sup> voor mens en milieu. NAM heeft eind 2021 de oliewinning opnieuw stopgezet om te komen tot een aanpassing, waardoor het toluengehalte weer onder de maximale waarde in de vergunning komt.

*Welke nieuwe technische inzichten en technieken zijn beschikbaar gekomen en welke nieuwe ontwikkelingen?*

In de aanloop naar de Herafweging 2022 heeft NAM een brede marktconsultatie uitgevoerd naar mogelijke zuiveringstechnieken. Ontwikkeling van de membraantechnologie is een belangrijke vernieuwing die in deze afweging is meegenomen. Het toepassen van membraantechnologie maakt het mogelijk de waterstroom in te dikken waardoor er meer opties voor de reststroom ontstaan. De reststroom kan dan ook terug in het olieveld worden geïnjecteerd. En bij indikken komt schoon water beschikbaar om te gebruiken voor stoomproductie, waardoor er geen of aanzienlijk minder oppervlaktewater nodig is. Dit circulair gebruik van water is verwerkt in het zogenaamde "Circulair alternatief".

*Zijn er mogelijkheden om de hoeveelheid hulpstoffen in het productiewater te beperken?*

Om installaties en leidingen te beschermen worden mijnbouwhulpstoffen gebruikt. Biocides worden gebruikt voor het onschadelijk maken van bepaalde bacteriën in het productiewater. Daarnaast wordt gebruik gemaakt van emulsiebreker. Voor deze stoffen wordt door NAM, in samenwerking met de leverancier van deze hulpstof, onderzoek gedaan naar biologische afbreekbaarheid. Voor de H<sub>2</sub>S-binder wordt met behulp van de zogenaamde ozon skids onderzocht of de H<sub>2</sub>S-binder afgebroken kan worden. Hiervoor zal een test worden uitgewerkt. De corrosie-remmer is door SodM voorgeschreven vanwege de putveiligheid. Het gebruik wordt geminimaliseerd en is op vergelijkbaar niveau als toegepast bij geothermie.

*Zijn er inmiddels andere reservoirs beschikbaar gekomen, of komen deze op termijn beschikbaar, die geschikt zijn voor waterinjectie?*

In het MER 2006 was aangegeven dat waterinjectie kan plaatsvinden in leeggeproduceerde gasvelden. In de nabijheid van Schoonebeek waren indertijd de gasvelden nog in productie. Daarom is toen gekozen voor transport van productiewater naar de leeggeproduceerde gasvelden in Twente. Inmiddels zijn de gasvelden nabij Schoonebeek grotendeels leeggeproduceerd. In 2016 zijn meerdere gasvelden in Drenthe als alternatief in beeld gebracht. Inmiddels is er voldoende capaciteit beschikbaar nabij Schoonebeek in het Schoonebeek gasveld, zodat de andere velden in de Herafweging 2022 niet zijn meegewogen.

In het verlengde van de optie waarbij de waterstroom sterk wordt ingedikt, is gekeken naar de mogelijkheden om de ingedikte waterstroom te injecteren in een deel van het oliereservoir Schoonebeek. Dit is verwerkt in het zogenaamde "Circulair alternatief".

*Welke alternatieven voor waterinjectie Twente zijn onderzocht?*

De uitgebreide lijst met opties voor de verwerking van productiewater is hetzelfde als in 2016. Deze lijst is getoetst door EMI Twente en er zijn geen nieuwe opties bijgekomen. Er is ook geen reden geweest om de selectiecriteria van 2016 aan te passen. Dit betekent dat in de Herafweging 2022 in wezen dezelfde alternatieven zijn getoetst als in 2016.

<sup>1</sup> <https://www.sodm.nl/documenten/rapporten/2022/02/14/beoordeling-sodm-geactualiseerd-waterinjectierapport-twente-2020-nam>

Er zijn echter wel nieuwe inzichten ten aanzien van waterzuivering en waterinjectie in Drenthe. Uit die nieuwe inzichten zijn bouwstenen gekomen die zijn toegevoegd aan de alternatieven. Dit heeft geleid tot de volgende alternatieven in de Herafweging 2022:

- Alternatief 1: Vast zout – zout kristallisatie (komt overeen met het alternatief van 2016)
- Alternatief 2: Zout water naar de zee (komt overeen met het alternatief van 2016, met aanpassing van het zoutgehalte)
- Alternatief 3: Circulair alternatief, met indikking tot compacte brijnstroom met herinjectie in het oliereservoir (de zuivering en opslag van dit alternatief zijn aangepast ten opzichte van 2016)
- Alternatief 4: Waterinjectie Drenthe (alleen waterinjectie in het Schoonebeek gasveld)
- Referentiesituatie: Huidige situatie waterinjectie in Twente (injectie in de resterende twee injectieputten)

#### Wat zijn de resultaten van de CE-toetsing?

Toetsing met de CE-afwegingsmethodiek geeft aan dat er geen alternatieven op voorhand afvallen vanwege een zeer negatieve score. Geen van de alternatieven scoort op alle onderdelen optimaal, zodat bij iedere keuze uiteindelijk rekening gehouden moet worden met een groter of kleiner negatief effect.

Tabel 1. Samenvattend overzicht CE-toetsingscriteria per alternatief en voor de varianten.

Alternatieven	Milieu	Risico kort (na maatregelen)	Risico lang (na maatregelen)	Kosten (afgerond miljoen €)
Alternatief 1: Vast zoutproduct	- -	-	- -	351
Alternatief 2: Zoutwater naar zee	-	- -	0	250
Alternatief 3: Injectie brijn	-	-	-	111
Alternatief 4.1: Waterinjectie	- -	-	-	38
Variant 4.2: beperkt biocide	-	-	-	43
Variant 4.3: beperkt H <sub>2</sub> S-binder	-	-	-	183
Referentie Twente	-	-	-	6

Toelichting scores:

0 of 0/- = geen of vrijwel geen effect/risico, - = effect of risico gebruikelijk binnen industriële activiteit, - - = zodanig effect of risico dat mitigerende maatregelen uitgewerkt moeten worden om beperking te bereiken, - - - = te groot effect of risico, zodat het alternatief of de variant niet uitvoerbaar is.

Het volledig zuiveren van alle stoffen uit het water scoort over de volle breedte slechter dan de andere alternatieven. Het zuiveren tot schoon zout water en vervolgens afvoeren naar zee scoort redelijk goed.

Het nieuwe Circulair alternatief scoort redelijk goed. Met toepassing van membraanzuivering kan de inlaat van oppervlaktewater en de hoeveelheid waterinjectie worden beperkt. Dit leidt wel tot hogere kosten dan de referentiesituatie.



Waterinjectie in het Schoonebeek gasveld scoort over de breedte beter dan de andere alternatieven, waarbij het risico van deze injectie-alternatieven op zowel de korte als lange termijn beperkt blijft. Met het beperken van het gebruik van biocide door te investeren in nieuwe materialen worden de beste scores behaald.

De referentiesituatie scoort ook goed, maar er zijn maar twee injectieputten beschikbaar, waardoor het uitvallen van of onderhoud aan een put leidt tot afname van het injectiedebiet.

Voor de korte termijn blijft het terugvoeren van productiewater in lege gasvelden de beste verwerkingsmethode van dit productiewater en wordt dit nog steeds beschouwd als best beschikbare techniek.

*Wat zijn de nieuwe inzichten ten aanzien van monitoring?*

Het gebruik van de ondergrond heeft als voordeel dat verwerking van het productiewater niet zichtbaar plaatsvindt en zonder extra omgevingseffecten op maaiveld. Het heeft als nadeel dat niet alle processen direct zichtbaar zijn. De gebeurtenissen hebben geleid tot een intensivering van het monitoringsprogramma. Er wordt intensiever gemonitord en de interne signalering is aangescherpt. Dat leidt er toe dat sneller en adequater wordt gereageerd bij onvoorziene gebeurtenissen.

*Wat is het voornemen van NAM ten aanzien van verwerking productiewater in de nabije toekomst?*

De bevindingen in de Herafweging 2022 laten zien dat waterinjectie in Twente steeds meer beperkingen met zich meebrengt. Het laat ook zien dat NAM goede alternatieven nabij Schoonebeek heeft voor het terugvoeren van productiewater. Inmiddels is NAM bezig met het verder uitwerken van waterinjectie bij Schoonebeek.

Politiek en overheden wensen dat NAM op relatief korte termijn stopt met waterinjectie in Twente. NAM heeft zelf tevens het voornemen uitgesproken om de waterinjectie in Twente te stoppen, wanneer waterinjectie bij Schoonebeek operationeel is. Daarbij wordt de opgedane kennis en ervaring van waterinjectie Twente gebruikt, met intensieve monitoring en interne signaleringsorganisatie. Ook krijgt materiaalkeuze voor putten en leidingen extra aandacht.

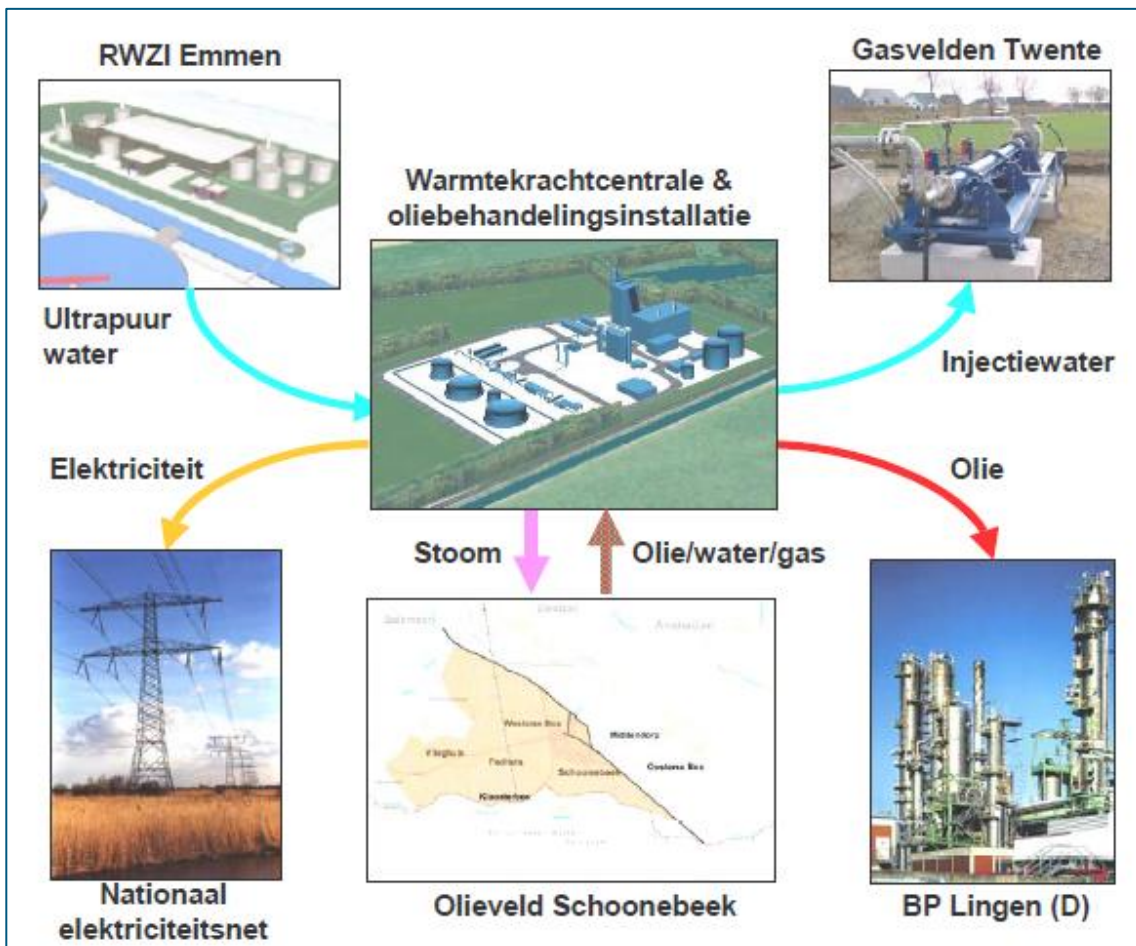
Aanvullend heeft NAM het voornemen om te blijven onderzoeken hoe de productiewaterverwerking beter en schoner kan. Voor de mijnbouwhulpstoffen biocide en emulsiebreker wordt onderzoek gedaan naar biologische afbreekbaarheid. Voor H<sub>2</sub>S-binder wordt onderzocht of deze afgebroken kan worden met zogenaamde ozon skids. Voor het productiewater zelf en de daarin van nature voorkomende stoffen wordt gestreefd naar circulariteit waarbij het terugvoeren van deze stoffen naar de diepe ondergrond in Schoonebeek centraal staat.

## 1 Inleiding

### 1.1 Oliewinning Schoonebeek

#### Oliewinning

In Zuidoost Drenthe en aangrenzend in Duitsland bevindt zich het grootste oliereservoir onder land van West-Europa. Hier wordt vanuit Nederland en Duitsland 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 vloeibaar 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 mee omhoog. Dit water wordt afgescheiden van de olie en als zogenaamd productiewater verwerkt.



Figuur 1-1. Overzicht van de onderdelen van de oliewinning Schoonebeek

#### Productiewater

Het productiewater bevat een grote hoeveelheid zouten. Naast zout bevinden zich van nature nog andere stoffen in het productiewater, namelijk resten olie, enkele metalen en gassen waaronder 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

Het productiewater kan niet zomaar worden geloosd op het oppervlaktewater nabij Schoonebeek. Het is ook niet mogelijk om het productiewater weer terug te brengen in het reservoir zonder dat dit ten koste gaat van de olieproductie. Dat komt omdat er ook al stoom wordt geïnjecteerd. Het aanvullend terugbrengen van productiewater in het reservoir zal er dan toe leiden dat de druk te hoog wordt. Daarom is er gezocht naar andere oplossingen voor de verwerking van het productiewater.

In het milieueffectrapport (MER)<sup>2</sup> voor de Herontwikkeling Oliewinning Schoonebeek in 2006 zijn de mogelijke verwerkingsalternatieven voor productiewater vergeleken. Daarbij is ook de mogelijkheid van hergebruik als stoom onderzocht. Op basis van de milieueffecten, risico's en kosten is toen geconcludeerd dat opslag in leeg geproduceerde gasvelden de beste keuze is voor de verwerking van het productiewater. Sinds begin 2011 transporteert de NAM het productiewater vanaf oliewinning Schoonebeek met een transportleiding naar Twente. In Twente wordt het productiewater in leeg geproduceerde gasvelden geïnjecteerd.

## 1.2 Aanleiding voor de Herafweging

Aan de vergunning voor waterinjectie in de leeg geproduceerde gasvelden in Twente was een voorwaarde verbonden. De voorwaarde is dat NAM iedere 6 jaar na de start van de oliewinning opnieuw toetst of waterinjectie nog steeds de meest geschikte verwerkingsmethode is. Bij de Herafweging moet de door het bureau CE Delft ontwikkelde afwegingsmethodiek gebruikt worden, die ook werd toegepast bij het MER 2006.

De eerste Herafweging heeft in 2016 plaatsgevonden<sup>3</sup>. Op verzoek van de Minister van Economische Zaken en Klimaat vond de eerste Herafweging al na 5 jaar plaats, mede ten gevolge van zorgen in de omgeving van de waterinjectielocaties.

Voorliggende rapportage is de tweede Herafweging. Op verzoek van de Minister is de tweede Herafweging wederom een jaar vervroegd. In 2021 is gestart met deze Herafweging. Voor een juiste afweging is het van belang alle relevante ervaringen bij de waterinjectie in Twente te betrekken. Er is daarom gewacht op de resultaten van het aanvullende onderzoek naar de injectieputten (zie hoofdstuk 3.3). De resultaten zijn meegenomen in deze rapportage, waardoor de Herafweging in 2022 is afgerond.

## 1.3 Afbakening

De verwerking van productiewater is onderdeel van het uitgebreide proces van oliewinning, zoals aangegeven in Figuur 1-1. De Herafweging heeft alleen betrekking op de mogelijkheden voor de verwerking van productiewater, nadat het is afgescheiden van de olie in de Oliebehandelingsinstallatie (OBI).

Oliewinning is geen statisch productieproces. Er treden veranderingen op die invloed hebben op de hoeveelheid en samenstelling van het productiewater. Als onderdeel van de Herafweging wordt ook gekeken welke mogelijkheden er zijn om te komen tot reductie van het gebruik van mijnbouw hulpstoffen.

De Herafweging richt zich op de mogelijkheden voor de verwerking van productiewater, waarbij de oliewinning in de huidige vorm kan worden voortgezet. In de Herafweging wordt geen uitspraak gedaan over nut en noodzaak van oliewinning of het gebruik van fossiele energievormen in bredere zin.

<sup>2</sup> Met MER wordt gerefereerd aan het milieueffectrapport, terwijl met m.e.r. de procedure van de milieueffectrapportage wordt bedoeld

<sup>3</sup> Royal HaskoningDHV, 2016, Herafweging verwerking productiewater Schoonebeek, integraal eindrapport

## 1.4 Aandachtspunten

### Ervaring

De Herafweging kijkt op onderdelen af van de aannames en toetsing in het MER 2006. Sinds de start van de oliewinning in 2011 is operationele informatie beschikbaar gekomen, waaronder gegevens over de samenstelling van het productiewater. Metingen hebben aangetoond dat het zoutgehalte van het geproduceerde water aanzienlijk is afgenomen ten opzichte van de uitgangssituatie. Dit komt overeen met de verwachtingen van het MER 2006; de stoominjectie leidt ertoe dat het water in het reservoir verdunt met de gecondenseerde stoom. Verder is er de afgelopen jaren ervaring opgedaan met de injectiviteit 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.

### Nieuwe inzichten

Bij de Herafweging wordt de huidige situatie van waterinjectie in Twente vergeleken met alternatieve verwerkingsmogelijkheden. De afgelopen jaren zijn twee putten onvoldoende betrouwbaar gebleken en deze worden niet meer gebruikt voor waterinjectie. Andere putten zijn uit voorzorg gesloten, omdat de leidingen niet geschikt zijn of omdat de injectiviteit tegenviel. Deze omstandigheden leiden ertoe dat de mogelijkheden van waterinjectie in de Twentevelden aanzienlijk zijn beperkt ten opzichte van de oorspronkelijke opzet.

De Herafweging heeft zodoende te maken met beperking in de mogelijkheden in Twente. Daarnaast zijn er in de afgelopen jaren nieuwe waterzuiveringstechnieken en ervaringen beschikbaar gekomen, die mogelijk een alternatief kunnen zijn voor de verwerking van het productiewater. Ook zijn er inmiddels opslagreservoirs in Drenthe beschikbaar gekomen, waar de gaswinning bijna beëindigd is.

### Samenwerken met olieproductie 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 de verwerking van productiewater is in deze Herafweging als één van de mogelijkheden onderzocht.

## 1.5 Terminologie

In de Herafweging wordt vakterminologie gebruikt. Voor een beter begrip van de tekst worden hier een aantal toegelicht.

### Productiewater, injectiewater of afvalwater

Het water dat de OBI verlaat wordt 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 van het MER 2006 is ervoor gekozen hier de term productiewater aan te houden. De gehanteerde terminologie heeft geen 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 (milieu hygiënische) 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. Als het productiewater (deels) gezuiverd wordt, zal de samenstelling van het injectiewater afwijken van de samenstelling van het productiewater.

### **Biosfeer en diepe ondergrond**

De ondergrond tot een diepte van circa 500 m wordt 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 de 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 m 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 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 beschermde regels, vooral om contact met de biosfeer te voorkomen.

### **Gebiedseigen en gebiedsvreemd water**

Gebiedseigen water in de biosfeer heeft een heel andere samenstelling dan gebiedseigen water in de diepe ondergrond. In principe wordt getracht om ervoor te zorgen dat de samenstelling van het water zoveel mogelijk overeenkomt met de gebiedseigen waterkwaliteit bij lozing op oppervlaktewater of injectie in de diepe ondergrond. Water 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.

### **Vaste stof, zout en puur zout**

Met het zoutgehalte van het water wordt het totaal gehalte van alle anorganische zouten bedoeld. Voor het Schoonebeek water zijn dit voornamelijk NaCl en CaCO<sub>3</sub> 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.

## **1.6 Leeswijzer**

NAM heeft Royal HaskoningDHV gevraagd de Herafweging 2022 uit te voeren. De Herafweging heeft dezelfde opzet als de Herafweging 2016. Voor de Herafweging is de CE-afwegingsmethodiek gebruikt die ook al werd toegepast in het MER 2006 en de Herafweging 2016.

De eerste hoofdstukken vormen het kader voor de Herafweging. Hoofdstuk 2 beschrijft het doel en de aanpak. Hoofdstuk 3 evalueert de waterinjectie Twente in de periode 2016-2021, waaronder de verwerking van het productiewater, de injectieputten en het opslagvolume en de samenstelling van het productiewater.

De volgende hoofdstukken beschrijven het proces van de te toetsen alternatieven. Hoofdstuk 4 beschrijft de aanpak van het selectieproces van te toetsen alternatieven. De uitgebreide lijst met opties is hetzelfde als in 2016. Deze lijst is getoetst door EMI Twente en er zijn geen nieuwe opties bijgekomen. Er is ook geen reden geweest om de selectiecriteria van 2016 aan te passen. Dit betekent dat in de Herafweging in wezen dezelfde alternatieven worden getoetst als in 2016. Er zijn echter wel nieuwe inzichten ten aanzien van waterzuivering en waterinjectie in Drenthe. Uit die nieuwe inzichten zijn bouwstenen gekomen die zijn toegevoegd aan de alternatieven.

Hoofdstuk 5 beschrijft de nieuwe inzichten ten aanzien van waterzuivering en Hoofdstuk 6 de nieuwe inzichten ten aanzien van waterinjectie in Drenthe. In Hoofdstuk 7 zijn de vier te toetsen alternatieven en het referentiealternatief (de huidige situatie) uitgewerkt.

In de daaropvolgende hoofdstukken is de toetsing gedaan. Hoofdstuk 8 beschrijft de CE-afwegingsmethodiek. Hoofdstuk 9 geeft de toetsing aan de randvoorwaarden voor waterinjectie en Hoofdstuk 10 de doelmatigheidstoets. In Hoofdstuk 11 zijn de resultaten van de toetsing gegeven, met een uitleg van de scores per alternatief, een toelichting op de belangrijkste verschillen, mogelijkheden voor verdere optimalisatie. Hoofdstuk 12 geeft een duiding van de bevindingen. De Herafweging sluit in Hoofdstuk 13 af met een beschouwing over het omgaan met onzekerheden in de afweging.

Er zijn zes bijlagen. Bijlage A1 is een verslag van de marktconsultatie van de zuiveringstechnieken voor productiewater. Bijlage A2 is de evaluatie van de verwerkingstechnologieën van het productiewater van EMI Twente. Bijlage A3 is de evaluatie van DyVaR/evaporatie technologie van Suster B.V. Bijlage A4 is een toelichting op de afweging van de uitgebreide lijst met opties. Bijlage A5 bevat de aangepaste Overkoepelende risicoanalyse voor waterinjectie Twente, opgesteld door NAM, met daarin verwerkt de bevindingen van de aanvullende onderzoeken naar de injectieputten bij de locaties Rossum-Weerselo. Bijlage A6 het geactualiseerde Waterinjectie Management Plan 2022, Twente, opgesteld door NAM.

Deze rapportage is door Royal HaskoningDHV opgesteld in opdracht van NAM.

## 2 Doel en opzet van de Herafweging

### 2.1 Inleiding

In dit hoofdstuk zijn het doel en de aanpak van de Herafweging 2022 beschreven. In paragraaf 2.2 is toegelicht hoe waterinjectie in eerder onderzoek als meest gunstig alternatief voor de verwerking van productiewater is afgewogen ten opzichte van de andere alternatieven. En dat een periodieke Herafweging onderdeel is van de vergunningsvoorwaarde. In paragraaf 2.3 staan de doelen van voorliggende Herafweging. En in paragraaf 2.4 zijn de opzet en de werkwijze beschreven.

### 2.2 Vergunningsvoorwaarde

#### **Waterinjectie als meest gunstig alternatief in MER 2006**

In het MER 2006 zijn verschillende verwerkingsmogelijkheden onderzocht voor het productiewater uit Schoonebeek, waaronder het terugbrengen in de diepe ondergrond. Voor de afweging van de alternatieven is gebruik gemaakt van de voorgeschreven CE-afwegingsmethodiek, waarbij milieueffecten, 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 bleken aanzienlijk groter dan van waterinjectie, waardoor de voorkeur uitging naar waterinjectie, mits er geen risico zijn voor de veiligheid en gezondheid. Dit alternatief is door de NAM nader uitgewerkt en toegepast.

#### **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 erop 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 milieueffectrapportage heeft de CE-afwegingsmethode beoordeeld en geconcludeerd dat het geschikt is om toe te passen op de waterinjectie Twente<sup>4</sup>.

#### **Waterinjectie is EU Best Beschikbare Techniek voor verwerking van productiewater**

De bevinding uit het MER 2006 is in lijn met de praktijk: wereldwijd wordt waterinjectie toegepast als standaard manier om productiewater te verwerken. In juni 2019 is er door de EU een Best Beschikbare Techniek voor de verwerking van productiewater vastgesteld<sup>5</sup>. Hierin is in hoofdstuk 15.3 een voorkeursvolgorde voor de verwerking van productiewater aangegeven:

- 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 voor periodieke Herafweging**

Na beoordeling door het Staatstoezicht op de Mijnen (SodM) heeft destijds de provincie Overijssel als bevoegd gezag NAM de benodigde waterinjectievergunningen verleend. In de vergunningen is de voorwaarde opgenomen dat iedere 6 jaar vanaf de start van de oliewinning, getoetst moet worden of waterinjectie nog steeds de meest geschikte verwerkingsmethode is.

<sup>4</sup> Commissie m.e.r. advies Herafweging waterinjectie Twente, 2016

<sup>5</sup> Best Available Techniques Guidance Document on upstream hydrocarbon exploration and production Final Guidance Document - Contract No. 070201/2015/706065/SER/ENV.F.1

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 en Klimaat (EZK).

#### Vergunningsvoorwaarde waterinjectie

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

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

#### Herafweging 2022

De Herafweging is in eerste instantie een verplichting vanuit de bestaande vergunning. NAM heeft in 2015, 2017 en 2021 ten behoeve van vergunningsvoorwaarde a) verscheidene rapportages ingediend bij het Staatstoezicht op de Mijnen (SodM) als vertegenwoordiger van het bevoegd gezag, het Ministerie EZK. De beide uit te voeren onderzoeken die onder voorwaarden b) en c) vallen zijn onderwerp van de Herafweging 2022. 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.

#### Ministerie van Economische Zaken en Klimaat en Staatstoezicht op de Mijnen

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

#### Aanvullende redenen voor de Herafweging

Het is inmiddels duidelijk geworden, dat de leeg geproduceerde gasvelden in Twente op korte en langere termijn beperkingen opleveren voor de olieproductie. De afweging van mogelijke alternatieven is daarmee ook voor NAM van belang om toekomstige keuzes te maken.

### 2.3 Doel van de Herafweging

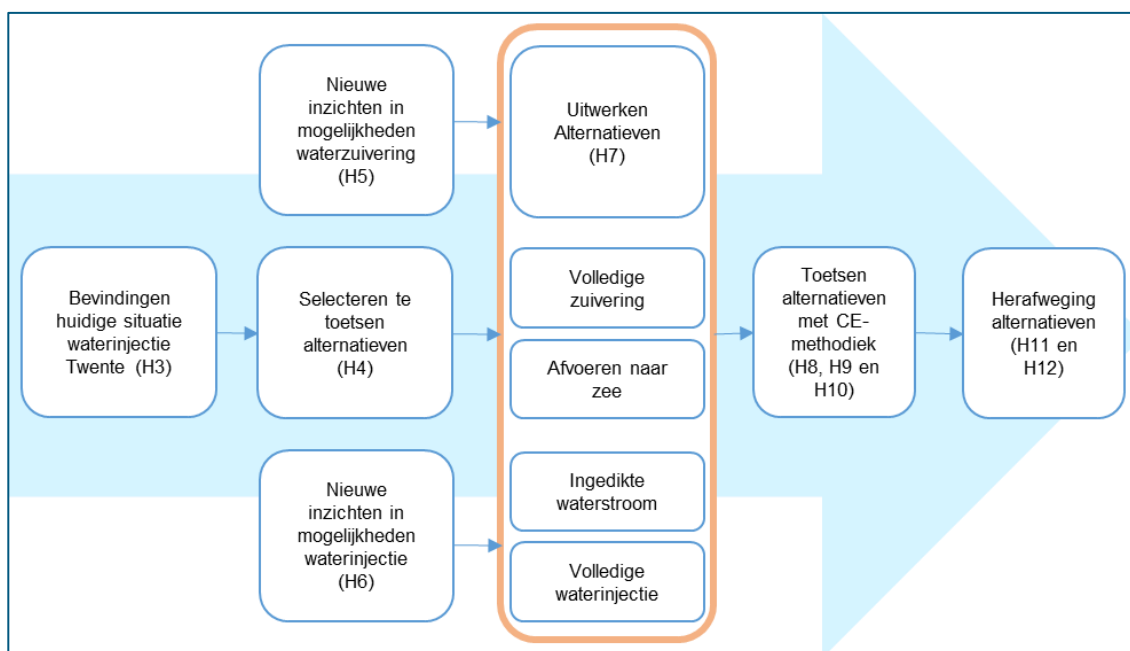
In de Herafweging 2022 is opnieuw getoetst of waterinjectie in Twente nog steeds de best mogelijke techniek is om het productiewater uit Schoonebeek te verwerken. De centrale vragen zijn:

- 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 andere reservoirs beschikbaar gekomen, of komen deze op termijn beschikbaar, die geschikt zijn voor waterinjectie?



## 2.4 Werkwijze

De Herafweging is 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 2022 is dezelfde aanpak toegepast. In Figuur 2-1 is de werkwijze geschematiseerd. In het schema zijn ook de hoofdstukken aangegeven waar elk onderdeel is beschreven in deze Herafweging. Onderstaand zijn de inhoudelijke stappen toegelicht.



Figuur 2-1. Werkwijze Herafweging 2022

### Huidige situatie en randvoorwaarden

- 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 gebeurtenissen. Conclusie ten aanzien van de werkelijke versus verwachte impact.
- Het huidige beleidskader is doorgenomen om vast te stellen of en onder welke voorwaarden waterbehandeling dan wel waterinjectie kunnen worden toegestaan.
- Overzicht van de randvoorwaarden voor oliewinning ten aanzien van de oplossingsrichtingen. Dit betreft de samenstelling en hoeveelheid water, maar ook de beschikbaarheid van zuiveringsmethodieken en geschiktheid van ondergrondse reservoirs.

### Selectie alternatieven

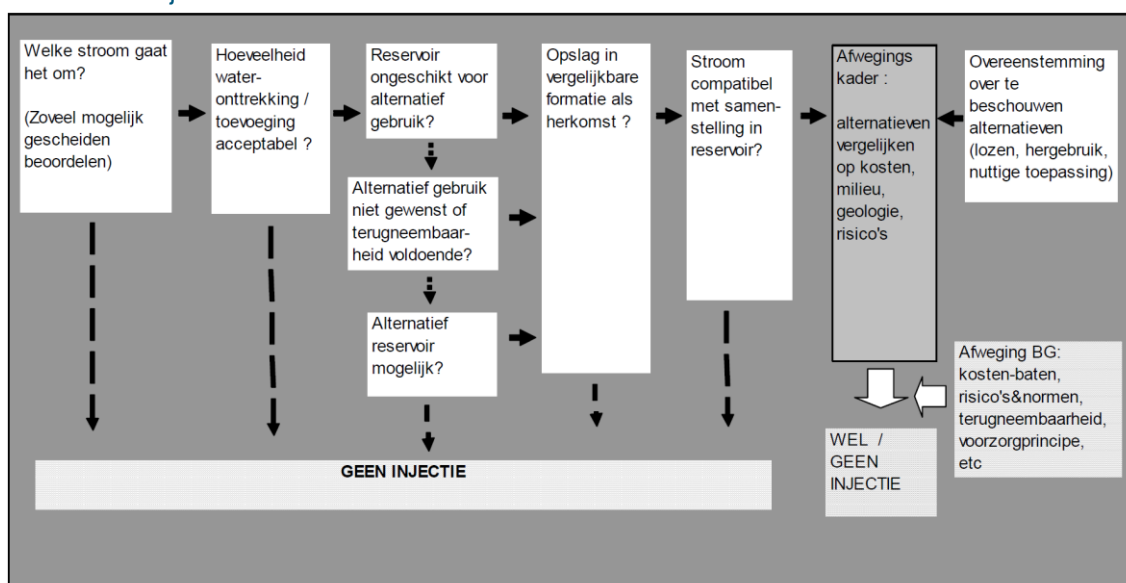
- Selectie van mogelijke oplossingen uit uitgebreide lijst met opties. De uitgebreide lijst met opties uit de Herafweging 2016 is opnieuw getoetst door EMI Twente. Uit een clustering van de verschillende type oplossingen zijn de vier meest kansrijke opties geselecteerd. Deze selectie is gelijk aan de selectie uit de Herafweging 2016.

- Nieuwe inzichten in waterzuiveringstechnieken. In de aanloop naar de Herafweging 2022 heeft de NAM een brede marktconsultatie uitgevoerd naar mogelijke zuiveringstechnieken. De input van leveranciers is getoetst op de toepasbaarheid en milieufactoren.
- Nieuwe inzichten waterinjectie. Ook gasvelden nabij Schoonebeek zijn inmiddels grotendeels leeggeproduceerd. Deze zijn daarom nu in de Herafweging 2022 meegenomen. Daarnaast is, in het verlengde van de alternatieven waarbij de waterstroom sterk wordt ingedikt, ook gekeken naar de mogelijkheden om de waterstroom te injecteren in de aquifer<sup>6</sup> van een deel van het oliereservoir.
- Uitwerken te toetsen alternatieven. De vier geselecteerde opties zijn met de nieuwe inzichten van waterzuivering en waterinjectie in een groter detail uitgewerkt, en aangeduid als vier alternatieven (om aan te sluiten bij de m.e.r.-systematiek). Optimalisaties zijn meegenomen in de vorm van varianten bij de alternatieven.

### Toetsing alternatieven

De CE-afwegingsmethodiek zet 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 er ook reacties op gekomen en er is gekeken in hoeverre het te ontwikkelen Landelijk Afvalbeheer Plan versie 3 (LAP-3) tot aanpassing leidt. De stappen van de CE-afwegingsmethodiek zijn:

- 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 worden de milieueffecten, risico's en kosten in beeld gebracht. In de uitgebreide vorm gebeurt dit met een Levens Cyclus Analyse (LCA). In dit onderzoek op hoofdlijnen wordt een beperkte vorm gehanteerd, waarbij de belangrijkste componenten worden benoemd.
- Vergelijking resultaten uit de toets. De bevindingen van de doelmatigheidstoets zijn naast elkaar gezet en vergeleken. Er vindt geen classificatie van een totale score plaats, maar wel een vergelijk van de afzonderlijke scores.



Figuur 2-2. Stappenschema van de CE-afwegingsmethodiek

<sup>6</sup> Met aquifer wordt een watervoerende gesteentelaag aangeduid

## 3 Bevindingen waterinjectie Twente 2016-2022

### 3.1 Inleiding

In dit hoofdstuk zijn inzichten en gebeurtenissen van de waterinjectie in de periode 2016-2021 beschreven. Paragraaf 3.2 gaat in op het oliewinningsproces. Paragraaf 3.3 gaat in op de injectiecapaciteit, de injectieputten en het opslagvolume in de Twentevelden. En paragraaf 3.4 beschrijft de gemeten waterkwaliteit van het productiewater en de toegevoegde stoffen.

### 3.2 Oliewinningsproces

Het oliereservoir reageert enigszins afwijkend ten opzichte van de oorspronkelijke verwachting tijdens de aanvraag van de vergunningen. In de periode 2011-2022 bleek de injectiviteit lager en de opwarming van het reservoir langzamer dan voorzien. Ook bleek er meer H<sub>2</sub>S vorming op te treden dan verwacht. In deze paragraaf zijn deze bevindingen beschreven. Ze zorgen ervoor dat de olieproductie langer kan doorlopen dan voorzien.

#### Lagere injectiviteit en langzamere opwarming dan voorzien

Het oliereservoir Schoonebeek is geen groot homogeen reservoir, maar is door breukzones verdeeld in een aantal segmenten of blokken. Sommige blokken staan onderling in contact, andere zijn geheel gescheiden door breukzones. In ieder blok komen één of meerdere stoominjectieputten en winputten voor.

Er wordt stoom geïnjecteerd om de stroperige olie te verwarmen en zo de winning te bevorderen. Het oliereservoir Schoonebeek warmt op door de injectie van stoom in de verschillende blokken. De injectiviteit<sup>7</sup> van het oliereservoir is echter lager dan vooraf aangenomen. Hierdoor kan het reservoir minder stoom opnemen en warmt het reservoir langzamer op dan gepland.

Om zoveel mogelijk warmte in het reservoir te brengen wordt de maximale injectiedruk van 40 bar langer toegepast dan voorzien. Als gevolg van het langer toepassen van de maximale injectiedruk komt de stoom met hogere temperatuur in het reservoir en wordt de olie lokaal sterker verhit dan oorspronkelijk voorzien. De lagere injectiviteit van het reservoir leidt ertoe dat er minder stoom wordt geïnjecteerd, het reservoir als geheel langzamer opwarmt, maar ook dat door de hoge druk lokaal hogere temperaturen ontstaan.

#### Meer H<sub>2</sub>S-vorming dan verwacht

De olie is zwavelhoudend en bij verhitting komt H<sub>2</sub>S en CO<sub>2</sub> vrij. De mate waarin dit gebeurt is groter dan verwacht. Er komt meer H<sub>2</sub>S vrij dan verwacht bij de geplande stroomdruk en temperatuur. Daarnaast zorgt het langer aanhouden van de maximale injectiedruk tot hogere temperatuur van de olie, wat eveneens leidt tot meer H<sub>2</sub>S-vorming. De toename van H<sub>2</sub>S en CO<sub>2</sub> opgelost in het oliewatermengsel verhoogt de zuurgraad. De vorming van H<sub>2</sub>S is irreversibel, zodat deze eenmaal gevormd ook wordt geproduceerd, zowel in gasvorm en opgelost in het oliewatermengsel.

H<sub>2</sub>S 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 (H<sub>2</sub>S-binder) toegevoegd, om de buisleidingen en de Olie Behandelingsinstallatie (OBI) te beschermen.

---

<sup>7</sup> De injectiviteit is de mate waarin waterinjectie in gesteente mogelijk is

Bij de winputten vindt monstername plaats om te bepalen hoeveel H<sub>2</sub>S-binder aan het oliewatermengsel moet worden toegevoegd om afdoende bescherming aan de installaties te geven. Deze monstername varieert van put tot put op basis van het H<sub>2</sub>S-gehalte.

### **Gevolgen voor de mogelijke productieperiode**

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

## **3.3 Injectiecapaciteit**

Bij de aanvang van de waterinjectie in Twente in 2011 waren 3 bijna leeggeproduceerde gasvelden in Twente geselecteerd voor injectie van productiewater. Deze velden waren: Tubbergen-Mander (TUM), Rossum-Weerselo (ROW) en Tubbergen (TUB). Na het herstel van de transportleiding met een pijp-in-pijp constructie in september 2016 is de waterinjectiecapaciteit lager dan voorheen en wordt alleen nog water geïnjecteerd in het Rossum-Weerselo veld.

Ten aanzien van de waterinjectie bij het Rossum-Weerselo veld, geldt dat ook hier beperkingen zijn in het gebruik van de aanwezige putten. Put ROW-3 is gesloten omdat de injectiviteit tegenviel. De afgelopen jaren zijn de putten ROW-2 en ROW-4 onvoldoende betrouwbaar gebleken en deze worden niet meer gebruikt voor waterinjectie. Daardoor blijven naar verwachting alleen ROW-5 en ROW-7 over (na beoordeling diverse onderzoeken door SodM).

Deze omstandigheden leiden ertoe dat de mogelijkheden van waterinjectie in de Twentevelden zijn beperkt ten opzichte van de oorspronkelijke opzet.

Onderstaand wordt nader ingegaan op de verschillende bevindingen bij het transport en de injectie van productiewater in de Twentevelden.

### **Verminderde capaciteit transportleiding sinds 2016**

Vanaf de OBI wordt het productiewater via een watertransportleiding naar de injectievelden in Twente gebracht. Zoals beschreven in de Herafweging 2016 is in april 2015 in de transportleiding nabij Hardenberg een lek ontdekt. Het lek betrof een klein gat (enkele mm) in de leiding waarbij productiewater in de omgeving van de lekkage in de bodem en op het maaiveld is gekomen. De transportleiding bleek van binnenuit aangetast door bacteriële corrosie. De lekkage is verholpen en de bodem- en grondwaterverontreiniging is gesaneerd. Bij het nader onderzoek van de transportleiding bleek dat op meerdere plaatsen corrosie werd geconstateerd. Als gevolg hiervan is in juni 2015 de oliewinning tijdelijk stilgelegd. Als reparatiemaatregel is in november 2015 een pijp-in-pijp constructie toegepast. Hiermee is een nieuwe kunststofleiding in de bestaande koolstofstalenleiding aangebracht. De olieproductie en waterinjectie zijn in september 2016 weer opgestart. De pijp-in-pijp constructie functioneert goed, maar de vermindering in diameter limiteert de hoeveelheid productiewater die kan worden getransporteerd.

Door de pijp in pijp constructie is de aftakking van de leiding naar Tubbergen-Mander (TUM) is niet meer toegankelijk. Daarom zijn putten TUM-1, TUM-2 en TUM-3 in 2021 definitief geabandonneerd. De leidingen naar het Tubbergen (TUB) veld (met putten TUB-7 en TUB-10) en naar enkele putten in Rossum-Weerselo (ROW-6, ROW-9) zijn uit voorzorg gesloten, omdat ook in deze leidingen risico was op aantasting door bacteriële corrosie. TUB-7 en TUB-10 zullen definitief worden geabandonneerd. ROW-6 en ROW-9 blijven beschikbaar voor mogelijke waterinjectie in de toekomst.

### Afgesloten putten vanwege beperkte injectiecapaciteit

In de putten ROW-3, TUM-1, TUM-2 en TUM-3 viel de injectiviteit tegen. De put ROW-3 blijft beschikbaar voor mogelijke waterinjectie in de toekomst. Zoals boven beschreven zijn de putten TUM-1, TUM-2 en TUM-3 reeds definitief geabandonneerd.

### Beschadiging put ROW-2 2021

Tijdens onderhoudswerkzaamheden in de waterinjectieput ROW-2 in 2021 is geconstateerd dat de buitenbuis ter hoogte van het bovenste van de twee injectiereservoirs is gescheurd. De scheur in de buitenbuis is aangetroffen op korte afstand boven de productiepakking op een diepte van circa 1 km. Hierbij is de binnenbuis intact gebleven en is er geen injectiewater gelekt. Er is geen gevaar geweest voor mens en milieu. De waterinjectie in deze put is gestaakt en de put is definitief afgesloten door middel van cement pluggen.

NAM meldt hierover in juni 2021 ([www.nam.nl](http://www.nam.nl)):

*“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.”*

Meetgegevens verzameld tijdens de onderhoudswerkzaamheden en 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 voor waterinjectie.

NAM meldt hierover in juni 2021 ([www.nam.nl](http://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.”*

Het monitoringsysteem bleek onvoldoende toegerust om het defect te detecteren. Daarom is het monitoringsysteem verder aangescherpt om sneller en nauwkeuriger interventies te kunnen doen na afwijkingen in metingen. Dit behelst het continu handhaven van positieve druk op de ringruimte tussen binnen- en buitenverbuizing. Verlies van deze druk initieert een alarm en onderzoek naar oorzaak. Ook wordt jaarlijks het vloeistofniveau in de annulaire ruimte tussen binnen- en buitenbuis gemeten. Deze verbeteringen zijn doorgevoerd in het Waterinjectie Management Plan. In december 2021 en maart 2022 is het extra onderzoek naar ROW-2 en ROW-7 ingediend bij SodM. In mei 2022 is het extra onderzoek door SodM beoordeeld<sup>8</sup>.

NAM meldt hierover in mei 2022 ([www.nam.nl](http://www.nam.nl)) verder:

*“De NAM moest van SodM nader onderzoek doen naar de oorzaak van de scheur in de buitenbuis van ROW-2 en naar de integriteit van put ROW-7. Daarnaast heeft de NAM onderzoek gedaan naar de annulaire drukken (de druk tussen de binnen- en buitenbuis) van alle Twentse injectieputten en extra putinspecties uitgevoerd in aanvulling op het verplichte putinspectieprogramma. De belangrijkste conclusie is dat de injectieputten ROW-5 en ROW-7 veilig zijn voor de injectie van productiewater.”*

<sup>8</sup> <https://www.sodm.nl/sectoren/olie--en-gaswinning/documenten/brieven/2022/05/30/brief-aan-nam-met-oordeel-over-aanvullend-onderzoek-naar-scheur-in-injectiebuis-twente>

### **Meetonregelmatigheid die mogelijk wijst op beperkte aantasting van Halië ROW-4 2021**

Het reservoir van de injectie velden bestaat uit kalksteen. Daar overheen ligt een laag ondoordringbaar anhydriet, gevolgd door een dik pakket ondoordringbaar steenzout (Halië).

Daarna volgen nog zo'n 1.000 meter aan klei en zandsteen pakketten. De anhydriet laag en het steenzout vormen de afdichtende laag die gedurende miljoenen jaren het gas tegengehouden hebben. Deze afdichtende lagen zorgen er ook voor dat het injectiewater goed opgeborgen blijft en niet naar boven kan komen.

In 2021 heeft NAM extra metingen in de operationele putten ROW-4, ROW-5 en ROW-7 laten uitvoeren. Om een beeld te krijgen van de gesteentelagen achter de buitenbuis onder de packer zijn bij wijze van experiment Pulse Neutron Logs (PNL) gebruikt. Deze meettechniek wordt doorgaans gebruikt om olie- of gas-saturatie te meten in een reservoir. Het idee was om deze te testen voor de detectie van eventuele waterhoudende ruimtes in het steenzout (Halië) achter de casing.

In de putten ROW-5 en ROW-7A is geen indicatie gevonden van waterhoudende ruimtes in het steenzout. Maar bij put ROW-4 is in de Zechstein 2 Halië over een lengte van circa 3 meter een afwijkende uitslag aangetroffen die wijst op lokale aantasting van de zoutlaag tussen de twee injectie reservoirs. De CBL log van 2021 wijkt bij dit interval ook af van de CBL log uit 2013. Het advies van de onderaannemer is om een herhaal-meting uit te voeren onder injectie condities. In afwachting van verder onderzoek is ROW-4 uit voorzorg buiten gebruik genomen.

Er zijn twee mogelijke mechanismen voor de observatie in ROW-4:

1. Als gevolg van starten/stoppen van injectie (door bijvoorbeeld onderhoudswerkzaamheden) ondergaat een put thermische cycli (afkoeling door het koude injectiewater, opwarming tijdens stops). Hoewel dit kleine effecten zijn, is het op termijn niet uit te sluiten dat de cement bond wordt aangetast, of dat er barstjes in het cement ontstaan. Hierdoor kan een micro-annulus ontstaan achter de casing, waardoor er injectiewater (laag zout gehalte) in aanraking kan komen met de Halië. Tijdens injectie wordt het injectiewater de micro-annulus ingeperst. Bij een injectie-stop zakt het water onder invloed van zwaartekracht weg naar lageregelegen delen van het reservoir en draineert het water uit de micro-annulus. Omdat het onverzadigde injectiewater niet continue rond kan stromen leidt dit mechanisme niet tot grootschalige zoutoplossing. Door het vergelijken van periodieke PNL logs kan worden geobserveerd of er veranderingen optreden in het halië achter de buitenbuis. Bij het vaststellen van integriteitsverlies is de put niet langer geschikt voor injectie en kan deze worden geabandonneerd. Deze PNL monitoring is inmiddels opgenomen in het geactualiseerde Waterinjectie Management Plan.
2. Mogelijk vindt cross-flow plaats tussen de twee injectie reservoirs via een micro-annulus als gevolg van een dynamisch drukverschil tijdens injectie. Het bestaan van een dergelijke micro annulus is niet uit te sluiten. Het debiet zal zeer laag zijn waardoor eventuele zout oplossing beperkt wordt (de observaties zijn te verklaren met minder dan 1 liter per dag). Ook dit mechanisme kan bijtijds gedetecteerd worden door het vergelijken van periodieke PNL logs.

De gebeurtenis heeft niet geleid tot verspreiding van stoffen in de biosfeer of tot enig gevaar voor mens en milieu. Maar het voorval heeft wel geleid tot verbeteringen in het monitoringssysteem vastgelegd in het Waterinjectie Management Plan. Voortaan zal NAM jaarlijks een PNL log runnen.

### **Eerder onderzoek naar mogelijk oplossen van de afdekkende steenzoutlaag**

In het MER 2006 was al aandacht besteed aan het mogelijk oplossen van de afdekkende steenzoutlaag, indien deze laag in aanraking zou komen met het injectiewater. Dit zou kunnen leiden tot het vrijkomen van injectiewater en/of bodemdaling. Het MER concludeerde dat deze zoutlagen niet of nauwelijks zullen

oplossen in het injectiewater en dat er geen bodemdaling of trillingen als gevolg van waterinjectie worden verwacht, zolang de gemiddelde reservoir druk beneden de oorspronkelijke reservoirdruk blijft.

NAM heeft extra onderzoek gedaan naar het zoutoplossingsrisico<sup>9</sup>. De beide rapporten staan op [Downloads waterinjectie Twente | NAM](#). Deze onderzoeken zijn door SodM onderworpen aan onafhankelijke reviews door de universiteiten van Clausthal en Parijs (ParisTech)<sup>10</sup>.

#### Conclusie review prof. Hou, (Clausthal) m.b.t. de zoutrapporten:

*“Based on my review of all three reports, it can be concluded that the study assumptions are conservative or even too conservative; modelling approaches and conclusions are logic, realistic and acceptable; the long term stability of the halite seal (e.g. cavern development, breach of confinement) due to the halite dissolution in the low salt-saturated injection water is confirmed; and the reported large scale volumes of fresh water injection in the Zechstein carbonate reservoirs (ZEZ2C & ZEZ3C) can be a sustainable safe operation in the long-term (more than 1,000 years).”*

#### Conclusies review team Dr Bruel, (Parijs) m.b.t. de zoutrapporten:

*“Our feeling is that the safety of the long-term storage is not questioned”*  
*“A common survey consisting in (of) water wells monitoring combined with time series of satellite-based measurements of the surface deformation will be sufficient in the early phase to ensure that the storage behaves as expected.”*

Daarnaast heeft TNO op verzoek van het ministerie van EZK een aanvullende verificatie gedaan<sup>11</sup>.

#### Conclusies van TNO m.b.t. zoutoplossing:

*“Het is zeer onwaarschijnlijk, dat een caverne van significant grootte zal worden gevormd door het oplossen van zout ten gevolge van waterinjectie in de Twentevelden”.*  
*“In het onwaarschijnlijke geval, dat een grote hoeveelheid zout wordt opgelost, blijven de effecten aan het maaiveld beperkt tot geleidelijke bodemdaling in de orde van 10 cm (gebaseerd op het Rossum-Weerselo veld). Bij de andere velden zal dit kleiner zijn, vanwege de lagere volumes van geïnjecteerd water”.*

### Opslagvolume Twente

In de vergunningaanvraag van de waterinjectielocaties Rossum-Weerselo is aangenomen dat iedere waterinjectieput een watervolume op kan slaan dat gelijk is aan het geproduceerde gasvolume uit die put. Indien putten voorkomen in hetzelfde reservoir, staan ze mogelijk met elkaar in verbinding. Na 10 jaar waterinjectie is duidelijk geworden dat ROW-2 en ROW-7 via het reservoir met elkaar in verbinding staan. De opslagvolumes aangevraagd voor ROW-2 en ROW-7 zijn respectievelijk 16,5 en 2,6 miljoen m<sup>3</sup>. ROW-2 is buiten gebruik genomen. Het totale opslag volume van beide putten (19,1 miljoen m<sup>3</sup>) kan derhalve opgenomen worden door ROW-7. Aangezien beide putten op de ROW2-locatie staan en dit volume vergund is voor de ROW2-locatie, zijn er geen vergunning-wijzigingen nodig om dit opslagvolume te benutten. Er is op dit moment geen reden om aanpassingen te maken aan de verwachte opslagvolumes van ROW-5 (16,9 miljoen m<sup>3</sup>). De nu beschikbare locaties en putten hebben een totaal opslagvolume van 36 miljoen m<sup>3</sup>. De putten ROW-4, ROW-6 en ROW-9 blijven beschikbaar voor mogelijke waterinjectie in de toekomst.

<sup>9</sup> [https://www.nam.nl/oil-and-gas-production/oil/water-injection-in-twente/downloads-water-injection-twente/jcr\\_content/par/expandablelist/expandablesection\\_527486608.stream/1481301545962/28a5da01a69d64a9560bd9ae4a9376d2c3c63066/halite-dissolution-reservoir-study-update-2016.pdf](https://www.nam.nl/oil-and-gas-production/oil/water-injection-in-twente/downloads-water-injection-twente/jcr_content/par/expandablelist/expandablesection_527486608.stream/1481301545962/28a5da01a69d64a9560bd9ae4a9376d2c3c63066/halite-dissolution-reservoir-study-update-2016.pdf)

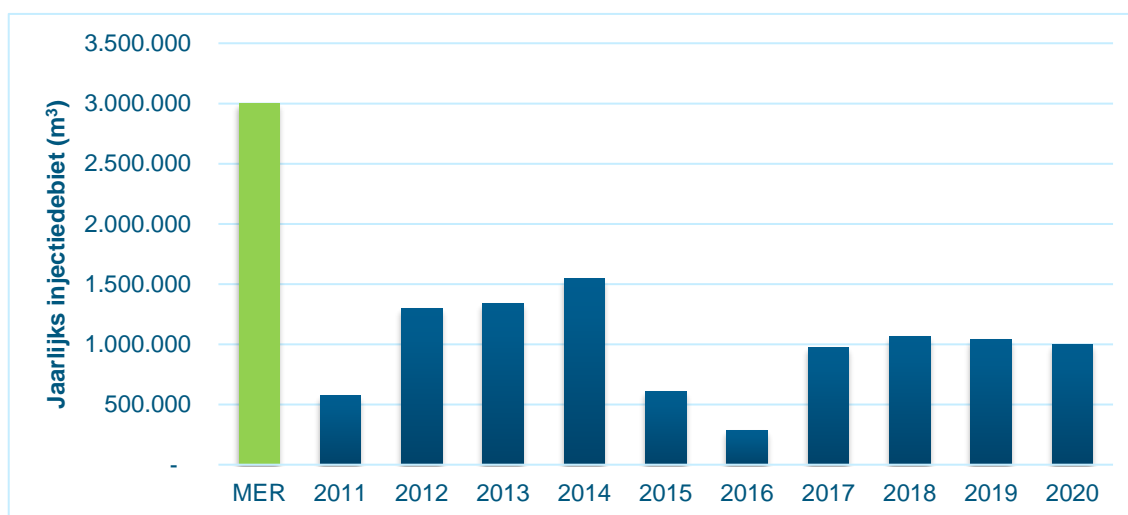
[https://www.nam.nl/oil-and-gas-production/oil/water-injection-in-twente/downloads-water-injection-twente/jcr\\_content/par/expandablelist/expandablesection\\_527486608.stream/1481301515545/d196f132b783306dae4ee4a5bdf8a1b477c00ce3/halite-dissolution-subsidence-update-2016.pdf](https://www.nam.nl/oil-and-gas-production/oil/water-injection-in-twente/downloads-water-injection-twente/jcr_content/par/expandablelist/expandablesection_527486608.stream/1481301515545/d196f132b783306dae4ee4a5bdf8a1b477c00ce3/halite-dissolution-subsidence-update-2016.pdf)

<sup>10</sup> <https://www.sodm.nl/onderwerpen/waterinjectie/documenten/publicaties/2016/06/23/documenten-bij-de-reviews>

<sup>11</sup> <https://www.commissiener.nl/projectdocumenten/00001378.pdf>

### Gevolgen voor het jaarlijks injectiedebiet

Figuur 3-1 geeft de werkelijke hoeveelheid geïnjecteerd water per jaar in de Twente-velden weer. De figuur toont aan dat de hoeveelheid geïnjecteerd water ruim onder het oorspronkelijk verwachte debiet van circa 3 miljoen m<sup>3</sup> per jaar blijft. Vanaf de start in 2011 is een stijgende lijn in de hoeveelheid geïnjecteerd water zichtbaar tot ruim 1,5 miljoen m<sup>3</sup> in 2016. De tijdelijke sluiting van de transportleiding heeft ertoe geleid dat in 2015 en 2016 aanzienlijk minder water kon worden aangevoerd en geïnjecteerd. Vanaf 2016 heeft alleen waterinjectie in het Rossum Weerselo veld plaatsgevonden. Er is hier een vrij constante hoeveelheid van circa 1 miljoen m<sup>3</sup> geïnjecteerd, tot en met 2020. Dit komt overeen met gemiddeld iets minder dan 3.000 m<sup>3</sup> waterinjectie per dag. De nu beschikbare locaties en putten (ROW-5 en ROW-7) hebben voldoende injectiecapaciteit om dit debiet op te nemen. Echter, in geval van onderhoud aan of uitval van een put kan niet al het water opgenomen worden in de andere put. Dit gebrek aan reservecapaciteit is operationeel niet optimaal en daarmee een ongewenste situatie.



Figuur 3-1. Gemeten jaarlijks injectiedebiet (blauw) en het oorspronkelijk verwachte gemiddelde jaardebiet op basis van het MER 2006 (groen).

Op het moment van schrijven van de Herevaluatie ligt de olieproductie en daarmee waterinjectie in Twente stil. SodM stelt een drietal voorwaarden waaraan moet worden voldaan om de putten ROW-5 en ROW-7 weer in gebruik te nemen<sup>12</sup>:

- SodM zal eerst de overkoepelende risicoanalyse beoordelen om vast te stellen of de geconstateerde onregelmatigheid bij ROW-4 implicaties heeft voor de risicoanalyse van de waterinjectie in Twente en of daaruit volgt dat waterinjectie in Twente nog steeds veilig plaats kan vinden.
- NAM dient de benodigde vergunning te verkrijgen van het ministerie van Economische Zaken en Klimaat (EZK) voor het zuiveren van het injectiewater (zie paragraaf 3.4).
- De aanpassingen aan het Waterinjectie Management Plan moeten verankerd zijn middels een instemmingsbesluit door EZK.

Naar verwachting kan in de loop van 2022 aan deze voorwaarden worden voldaan.

<sup>12</sup> <https://www.sodm.nl/sectoren/olie--en-gaswinning/documenten/brieven/2022/05/30/brief-aan-nam-met-oordeel-over-aanvullend-onderzoek-naar-scheur-in-injectiebuis-twente>



### 3.4 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 was er geen deelstroom condenswater. In de loop van de tijd neemt deze 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 (zie Tabel ).

#### Hogere tolueen-waarden

Zoals beschreven in paragraaf 3.2 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 tolueen, waarvoor al gedurende de gehele productieperiode blijkt dat deze regelmatig net boven de maximale waarde van de vergunning komt.

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

Hoewel de overschrijding bij deze hoeveelheden ongevaarlijk is, hecht de NAM er sterk aan om strikt binnen de haar verleende vergunningen te werken. NAM heeft eind 2021 besloten de oliewinning opnieuw stop te zetten om te komen tot een aanpassing waardoor het tolueengehalte weer onder de maximale waarde in de vergunning komt door middel van actief kool filters. Door dit besluit wordt er tijdelijk ook geen productiewater geïnjecteed in Twente. Naar verwachting is het geconstateerde probleem gedurende 2022 opgelost.

Tabel 3-1. Overzicht gemiddelde gemeten 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 <sup>+</sup> )	mg/l	40.000	12.000	8.100
Magnesium (Mg <sup>2+</sup> )	mg/l	2.500	420	280
Barium (Ba <sup>2+</sup> )	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 <sub>2</sub> S) <sup>1</sup>	mg/l	15	1,4	5
IJzer (totaal Fe <sup>2+</sup> en Fe <sup>3+</sup> )	mg/l	50	7,9	10
Kalium (K <sup>+</sup> )	mg/l	1.000	120	120
Strontium (Sr <sup>2+</sup> )	mg/l	2500	250	180
Chloride (Cl <sup>-</sup> )	mg/l	90.000	23.000	16.000
Sulfaat (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	mg/l	50	<19	<10
Bicarbonaat (HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	mg/l	1000	710	210
Koolstofdioxide (CO <sub>2</sub> )	mg/l	500	5953	410
Zuurstof (O <sub>2</sub> )	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 <sub>8</sub> H <sub>10</sub> )	mg/l	0,5	0,2	0,2
Tolueen (C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> CH <sub>3</sub> )	mg/l	1	1,23	1,13
Waterreiniger <sup>2</sup>	mg/l	100	0,005	Niet gebruikt
Zuurstofbinder <sup>2</sup>	mg/l	50	Niet gebruikt	Niet gebruikt
Anti-schuimmiddel <sup>2</sup>	mg/l	0,13	Niet gebruikt	Niet gebruikt
Chroom (Cr)	mg/l	0,25	<0,005	<0,005
Benzeen (C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> )	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

Parameter	Eenheid	Verwachte maximale waarde (vergunning 2010)	Gemiddelde gemeten waarde	
			2015	2020
pH- regelaar2	mg/l	0,28	Niet aanwezig in injectiewater	Niet aanwezig in injectiewater
Biocide2	mg/l	2,4	1,9	2,2
Anti-aanslagvloeistof2	mg/l	0,24	Niet aanwezig in injectiewater	Niet aanwezig in injectiewater
Anti-bariumsulfaataanslagvloeistof2	mg/l	200	Niet gebruik	Niet gebruikt
Calcium (Ca <sup>2+</sup> )	mg/l	8000	2000	1.400
Xylenen (C <sub>6</sub> H <sub>4</sub> C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> )	mg/l	1	0,5	0,56
Anti-corrosievloeistof2	mg/l	200	65,6	53
Zwavelwaterstofbinder2	mg/l	120	13,8	90
Emulsiebreker2	mg/l	21	0,050	1,08

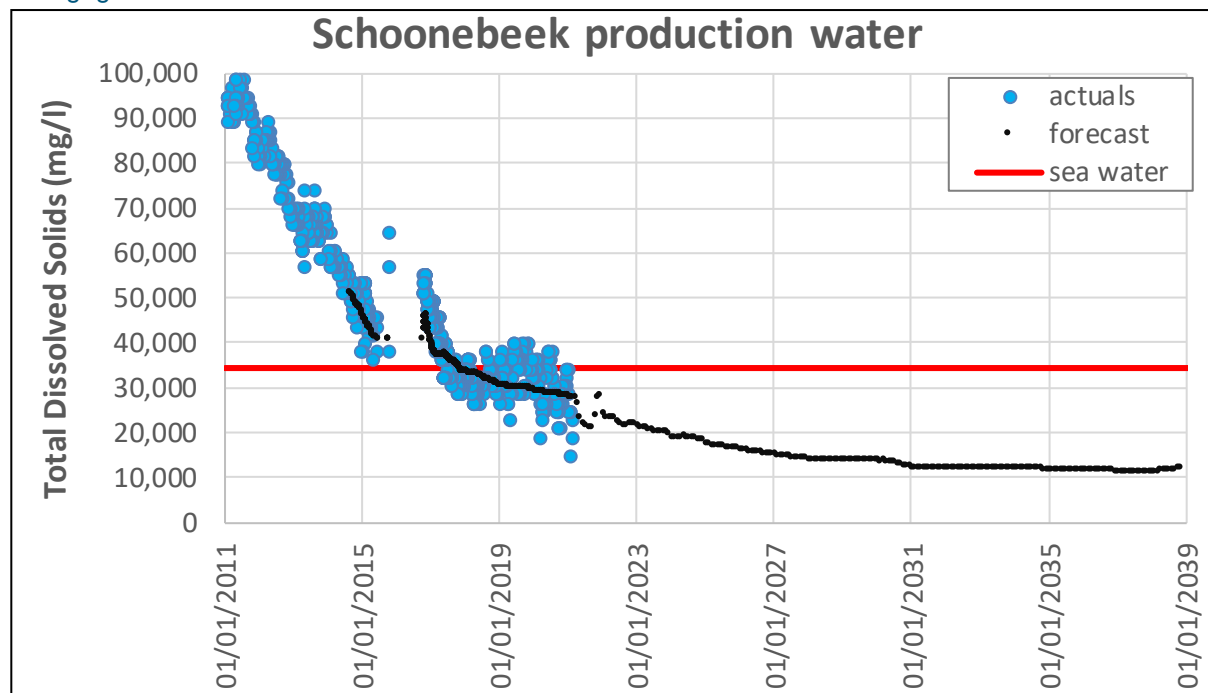
<sup>1</sup> Gemeten sulfide gehalte omgerekend naar H<sub>2</sub>S.

<sup>2</sup> Concentraties van mijnbouw hulpstoffen zijn berekend op basis van verdeling coëfficiënten tussen olie en water

<sup>3</sup> Gemeten concentratie overschrijdt de maximaal verwachte waarde

### Zoutgehalte

Het oorspronkelijke zoutgehalte van de Schoonebeek waterproductie was zo'n 85.000 ppm (Total Dissolved Solids). Door de injectie van gecondenseerd water (stoom) daalt dit gestaag en is nu zo'n 30.000 ppm TDS. In Figuur 3-2 is het gemeten zoutgehalte en de verwachte concentratie in de toekomst weergegeven.



Figuur 3-2. Gemeten en voorspelde afname van het zoutgehalte van het Schoonebeek productiewater (in concentratie TDS (total dissolved solids))<sup>13</sup>

<sup>13</sup> 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.

### Mijnbouwhulpstoffen

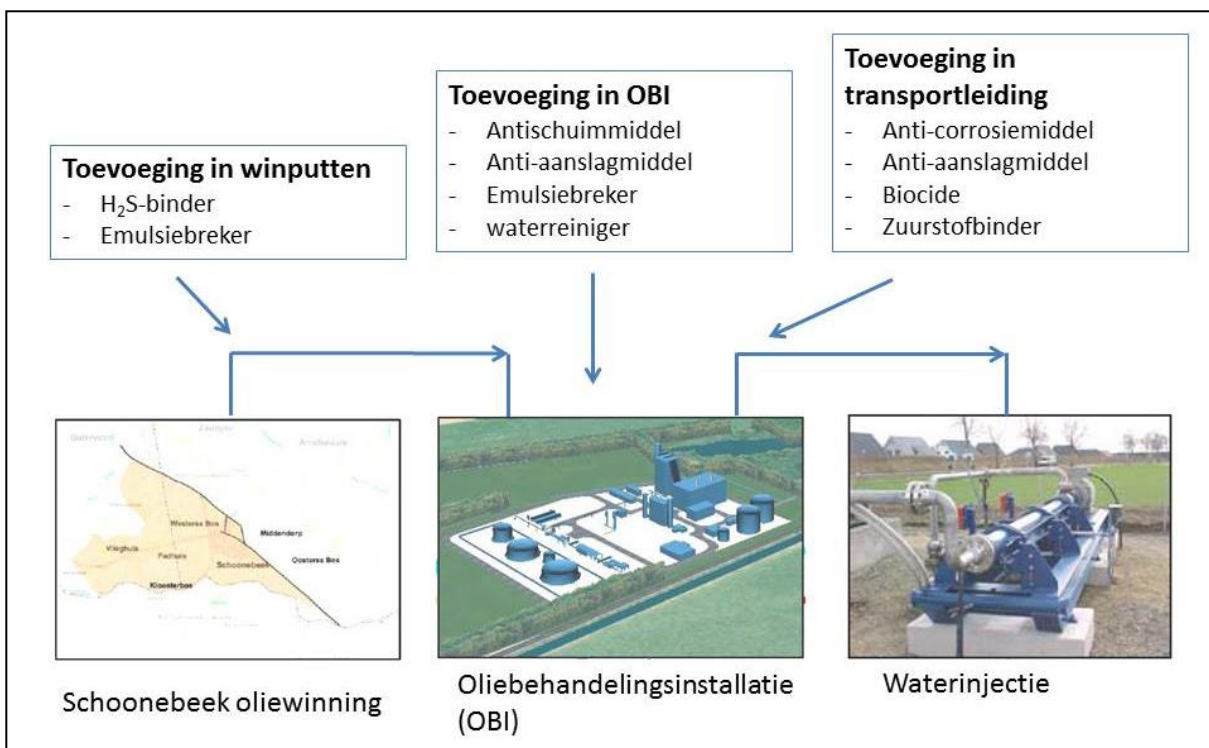
Uit tabel 3-1 blijkt dat een deel van de toegestane mijnbouwhulpstoffen niet worden gebruikt en zodoende niet aanwezig zijn in het productiewater. Onderstaand wordt een toelichting gegeven op de wel gebruikte mijnbouwhulpstoffen en de reden waarom deze worden toegepast. Het schema in Figuur 3-3 geeft aan waar mijnbouwhulpstoffen worden toegevoegd, en welke stoffen het betreft.

Ter bescherming van de buisleidingen in het Schoonebeekveld worden ter plaatse van de winputten de mijnbouwhulpstoffen zwavelwaterstofbinder en emulsiebreker toegevoegd:

- Zwavelwaterstofbinder (H<sub>2</sub>S-binder): het opgepompte mengsel van olie, water en gas bevat zwavelwaterstof (H<sub>2</sub>S). Dit is een corrosief gas dat schade aan de pijpleidingen kan veroorzaken. De zwavelwaterstofbinder verwijdert het H<sub>2</sub>S, om schade aan de pijpleidingen 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 wordt de mijnbouwhulpstof emulsiebreker 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.



Figuur 3-3. Overzicht mogelijke toevoeging van hulpstoffen bij de waterstromen richting waterinjectie in Twente

Ter bescherming van de transportleiding naar de Twentevelden en de injectieputten in Twente worden de mijnbouwhulpstoffen anti-corrosievloeistof en biocide op de OBI continu toegevoegd:

- Anti-corrosievloeistof: verschillende onderdelen van de injectie putten moeten worden beschermd 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 pijpleidingen/skids. Biocide remt de bacteriegroei.

#### **Onderzoek reductie gebruik mijnbouwhulpstoffen**

Voor de biocide en anti-corrosievloeistof wordt door NAM onderzoek gedaan naar biologische afbreekbaarheid. Dit geldt eveneens voor de emulsiebreker, in samenwerking met de leverancier van deze hulpstof. Bij de H<sub>2</sub>S-binder wordt onderzoek uitgevoerd om deze te verwijderen uit het productiewater nadat het H<sub>2</sub>S al is afgebroken (bijvoorbeeld met ozon skids). Hiervoor zal een test worden uitgewerkt. De corrosie-remmer is door SodM voorgeschreven vanwege de putveiligheid. Het gebruik wordt geminimaliseerd en is op vergelijkbaar niveau als toegepast bij geothermie.

#### **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 nabij de putten 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 mijnbouwhulpstoffen en olierestanten) geclassificeerd als een 'niet gevaarlijke afvalstof'.
- 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 Selectie te toetsen alternatieven

### 4.1 Inleiding

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

Paragraaf 4.2 geeft de uitgebreide lijst met opties uit 2016. Paragraaf 4.3 geeft de conclusies van de externe toetsing van de lijst met opties. Paragraaf 4.4 gaat in op de selectiecriteria die gelijk zijn gebleven als in 2016. In paragraaf 4.5 zijn de meest kansrijke opties uit de uitgebreide lijst geselecteerd. Op basis van de gelijkblijvende uitgebreide lijst en selectiecriteria worden in de Herafweging 2022 in wezen dezelfde alternatieven getoetst als in 2016 met enkele aanpassingen op basis van voortschrijdende inzichten. De nieuwe inzichten zijn verder uitgewerkt in Hoofdstuk 5 (waterzuiveringstechnieken) en Hoofdstuk 6 (waterinjectie Drenthe).

### 4.2 Uitgebreide lijst

Tijdens het opstellen van het MER in 2006 zijn verschillende opties voor de verwerking van productiewater benoemd. In de Herafweging 2016 zijn 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. De lijst is gegeven in Tabel 4-1.

De opties zijn geclusterd in thema's met vergelijkbare concepten en een restgroep. Op voorhand is het duidelijk dat er geen mogelijkheden bekend zijn, waarbij oliewinning plaatsvindt zonder productiewater. Ook is duidelijk dat het productiewater na afscheiding van de olie nog te veel stoffen bevat om direct geloosd te worden op het oppervlaktewater of de zee. Het productiewater zal dus óf teruggebracht moeten worden in de ondergrond óf gezuiverd moeten worden. Een combinatie is ook mogelijk. De thema's zijn:

- Thema 1: zuivering met lozing van schoon zoet water op oppervlaktewater of hergebruik met zout als restproduct, 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 hergebruikt voor stoomproductie. De reststroom moet afgevoerd worden voor permanente bovengrondse opslag of is wellicht herbruikbaar.
- Thema 2: zuivering met lozing van schoon zout water op zee, zonder injectie: Binnen dit thema vindt biologische zuivering plaats van het productiewater waarna het zoute water wordt geloosd op zee.
- Thema 3: zuivering met lozing van schoon zoet water op oppervlaktewater dan wel hergebruik voor stoominjectie, met injectie van de geconcentreerde 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 worden op oppervlaktewater. De geconcentreerde afvalwaterstroom heeft een kleiner volume en kan opgeslagen worden in leeggeproduceerde gasvelden of het olieveld Schoonebeek.
- Thema 4: injectie van het volledige volume productiewater, eventueel met beperkte zuivering: Injectie kan plaatsvinden in leeggeproduceerde gasvelden in onder andere Twente, Zuidoost Drenthe, Drenthe of Borgsweer (Groningerveld). Een combinatie is ook mogelijk. Er kan gedeeltelijke zuivering plaatsvinden om alle bodemvreemde stoffen (toegevoegde mijnbouwhulpstoffen) uit het injectiewater te verwijderen.

- 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.

Tabel 4-1. Overzicht van de verwerkingsopties voor productiewater, geclusterd naar thema's

<b>Thema 1 - Zuivering en lozing op oppervlaktewater, zonder injectie</b>
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 voor stroomproductie en afvoer van vervuild zout.
<b>Thema 2 - Zuivering en lozing op zee, zonder injectie</b>
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
<b>Thema 3 – Zuivering met injectie van reststroom in reservoirs</b>
Retour Nieuwater. Zuivering gevolgd door hergebruik deelstroom en injectie van hoofdstroom brijn in Drenthe of Twente.
Zuivering op OBI gevolgd door lozing schone hoofdstroom en injectie van deelstroom brijn in Drenthe of Twente
Zuivering op OBI gevolgd door lozing schone hoofdstroom en injectie van deelstroom brijn terug in olieveld Schoonebeek West.
<b>Thema 4 – injectie van het volledige watervolume, eventueel met beperkte zuivering</b>
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)
<b>Overige opties</b>
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 Ruhleemoor, Duitsland en injectie in potentieel Exxon waterinjectieproject
Injectie in aquifers
Zoutcavernes

### 4.3 Toetsing van de lijst door EMI Twente

NAM heeft EMI Twente<sup>14</sup> in 2021 gevraagd een kwalitatieve analyse op te stellen van beschikbare technieken voor de behandeling van het productiewater<sup>15</sup>. De rapportage is opgenomen in Bijlage A2. Op basis van toetsing van de voorgestelde opties in 2016 en update in 2018<sup>16</sup> concludeert EMI Twente dat de uitgebreide lijst (zie Tabel 4-1) compleet is.

#### 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 daargelaten. De afgelopen jaren zijn er diverse ontwikkelingen geweest, o.a. in het veld van keramische membranen en elektrolyse.”*

#### 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 in deze Herafweging verder uitgewerkt als het Circulair Alternatief (zie Alternatief 3 in Hoofdstuk 7, paragraaf 7.4).

<sup>14</sup> 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.

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

<sup>16</sup> Royal HaskoningDHV, 2018, Waterinjectie Twentevelden, update 2018.



### Toetsing DyVar technologie door SUSTER<sup>17</sup>

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 A3). 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.”*

## 4.4 Selectiecriteria

Bij de afweging tussen de verschillende opties is het van belang dat hierin opties uit verschillende oplossingsrichtingen met elkaar worden vergeleken. Op die manier wordt zicht gekregen op de volle breedte van de keuzes en de gevolgen van die keuzes. Daarom zijn in de Herafweging 2016 uit de uitgebreide lijst de meest kansrijke opties per thema geselecteerd. Bij de Herafweging 2016 waren criteria ontwikkeld om die selectie te maken. De geselecteerde meest kansrijke opties werden uitgewerkt tot alternatieven.

In de Herafweging 2022 zijn dezelfde criteria gebruikt voor de selectie van alternatieven uit de uitgebreide lijst met opties. Er is geen reden geweest om deze aan te passen. In het citaat in paragraaf 4.3 concludeert EMI Twente ook dat *“De criteria die gebruikt zijn om tot de beste optie te komen binnen elke categorie zijn logisch en verklaarbaar.”*

De selectiecriteria zijn:

### 1. 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.

### 2. Technisch (mogelijk uitsluitend criterium)

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. Dat betekent 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.

### 3. 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.

<sup>17</sup> 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

#### 4. **Beleid** (mogelijk uitsluitend criterium)

De 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 (ruimtelijke ordening). 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.

#### 5. **Financieel**

Aanpassingen kosten geld, zodat financiële haalbaarheid een belangrijk criterium is. Op basis van het financiële criterium worden 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 ertoe 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.

#### 6. **Milieu**

Milieueffecten kunnen optreden bij normale bedrijfsvoering en bij calamiteiten. Onder het 'Milieu' criterium wordt gekeken naar de normale bedrijfsvoering. Eventuele effecten bij calamiteiten worden besproken bij het criterium 'Risico'. De CE-afwegingsmethode maakt gebruik van een Levenscyclusanalyse (LCA) 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 thema's 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 thema's sprake is van vergelijkbare opties. Er wordt gekeken naar energieverbruik, emissies naar bodem, water en lucht, geluid, effect op natuur, gebruik hulpstoffen, schade door graafwerkzaamheden.

#### 7. **Risico's**

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.

### 4.5 **Selectie meest kansrijke opties per thema**

De uitgebreide lijst met opties uit paragraaf 4.2 is getoetst aan de selectiecriteria van paragraaf 4.4. In Bijlage A4 is een toelichting gegeven op de afweging van de uitgebreide lijst met opties. Aangezien de lijst met opties en de selectiecriteria niet zijn aangepast ten opzichte van de Herafweging 2016 heeft dezelfde selectie plaatsgevonden als in 2016. Er zijn wel enkele nieuwe inzichten ten aanzien van waterzuiveren en waterinjectie in de geselecteerde opties verwerkt. In de volgende subparagrafen zijn per thema de hoofdlijnen van de selectie beschreven.

#### 4.5.1 Thema 1: Zuivering en lozing op oppervlaktewater, zonder injectie

Het productiewater wordt geheel gezuiverd, met als resultaat schoon zoet water en een grote hoeveelheid zout restmateriaal. 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 technisch moeilijk, omdat deze is geoptimaliseerd in de samenwerking met de bestaande Rioolwaterzuivering (RWZI).

Nieuwbouw ter plaatse van de OBI is makkelijker te realiseren dan een combinatie met de bestaande RWZI. 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

##### Alternatief 1: Vast zout – zout kristallisatie

Er is gekozen voor de optie: Waterzuivering tot schoon zoet water en een vast restproduct (conform 2016). De geselecteerde meest kansrijke optie komt overeen met het gekozen alternatief van 2016.

#### 4.5.2 Thema 2: Zuivering en lozing op zee, zonder injectie

Het productiewater wordt gezuiverd en als zout water via een transportleiding naar een lozingspunt in het noorden gebracht. Lozing kan plaatsvinden op verschillende locaties, zoals de Eemshaven of op de Eems. Afvoeren naar open zee 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 om een nieuwe watertransportleiding aan te leggen naar een binnenhaven, zoals Ems bij Meppen. Hier vandaan kan het productiewater worden verladen op een tanker en worden afgevoerd naar zee.

##### Alternatief 2: Zout water naar de zee

Er is gekozen voor de optie: Waterzuivering tot schoon zout water en lozing op zee (conform 2016). De geselecteerde meest kansrijke optie komt overeen met het gekozen alternatief van 2016, echter met aanpassing van de waterkwaliteit. Zoals uit de bevindingen van Hoofdstuk 3 (Tabel 3-1) blijkt, zal rekening moeten worden gehouden met een enigszins aangepast zoutgehalte (44.000 mg/l in 2015 naar 28.300 mg/l in 2020).

#### 4.5.3 Thema 3: Zuivering met injectie van reststroom in reservoirs

In de opties van dit thema wordt het productiewater gescheiden in verschillende stromen. Er ontstaat een schone waterstroom, die, na verdere zuiveringsstappen in de Ultra-Puur Water fabriek van NieuWater<sup>18</sup> of een nieuwe waterzuivering ter plaatse van de OBI, kan worden hergebruikt voor stoominjectie of meteen wordt geloosd 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 (brijn), die kan worden geïnjecteerd in leeggeproduceerde gasvelden of het oliereservoir Schoonebeek. Injectie in het oliereservoir vormt een moeilijke oplossing is, omdat voorkomen moet worden dat de druk in het oliereservoir steeds verder toeneemt.

<sup>18</sup> Eerste zuiveringsstap in een nieuwe waterzuiveringsfabriek (meeste zouten scheiden), vervolgens zuivering in de Nieuwater om het water op specificatie te brengen voor de stoom boilers.

#### Alternatief 3: Indikken tot compacte bijnstroom met circulair alternatief

Er is gekozen voor de optie: Waterzuivering tot schoon zoet water en een geconcentreerde reststroom (circulair alternatief, aangepast ten opzichte van de Herafweging 2016). Dit is de optie waarbij de ingedikte reststroom wordt geherinjecteerd in de aquifer van het oliereservoir. Ten opzichte van 2016 is de zuivering van dit alternatief aangepast en wordt specifiek gekeken naar hergebruik en injectie in het aquifer van het olieveld.

#### 4.5.4 Thema 4: Injectie van het volledige watervolume, eventueel met beperkte zuivering

Naast de waterinjectie in de Twentevelden zijn in dit thema opties genoemd voor waterinjectie in andere leeggeproduceerde gasvelden. Potentieel realiseerbare opties voor waterinjectie bevinden zich in oude, kleine gasvelden in Drenthe en Groningen. In Drenthe is onderscheid gemaakt tussen de velden in de directe omgeving van Schoonebeek (Zuidoost Drenthe) en de overige Drenthevelden. Bij de Groningervelden is speciaal gekeken naar de mogelijkheid om aan te sluiten bij de bestaande waterinjectie in Borgsweer, dat een onderdeel is van het grote Groningen veld.

#### Alternatief 4: Waterinjectie Drenthe

Er is gekozen voor de optie: Waterinjectie in het gasveld Schoonebeek met varianten (aangepast t.o.v. 2016). Dit is de optie waarbij waterinjectie volledig in leeggeproduceerde gasvelden in Drenthe zal plaatsvinden, nabij Schoonebeek. Ten opzichte van 2016 is de locatie van waterinjectie van dit alternatief aangepast. Er zijn varianten voor de zuivering van de mijnbouw hulpstoffen en de putselectie.

#### 4.5.5 Overige opties

##### 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 over de grens naar Duitsland mag worden getransporteerd;
- Leveringscondities tussen de betrokken bedrijven, met betrekking tot afhankelijkheden en commerciële afspraken.

##### Samenwerking derden – voorsnog 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 stroozout
- Het indikken van productiewater tot vast zout en dit in te brengen in oude zoutcavernes om deze te stabiliseren.

De verkenning heeft ertoe 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 pekelwater vergt weinig tot geen bewerking om er bijvoorbeeld tafelzout 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 pekelwater 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 productwater 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 kwaliteitsvariaties. Dit leidt tot aanvullende zoutopslag en een strikte kwaliteitscorrectie. De huidige strooizoutproducenten kunnen in de huidige situatie aan de vraag voldoen, waardoor eigenlijk geen markt vraag 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 pekel heeft dat dragende vermogen niet en bij instorting wordt pekel tussen de brokstukken door uit de caveerne geperst. Het zoute productiewater van Schoonebeek is vergelijkbaar met onverzadigde pekel en heeft net als pekel geen enkele sterkte of dragend vermogen. Hiervoor zal het Schoonebeek zout tot kristallen omgevormd moeten 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.

#### **Alternatief: geen**

Voor 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.

## 5 Nieuwe inzichten waterzuiveringstechnieken

### 5.1 Inleiding

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 om ook 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 bij het uitwerken van alternatieven voor het MER 2006. Bij de Herafweging 2016 is een overzicht gemaakt van mogelijk zuiveringstechnieken. In de aanloop naar de Herafweging 2022 heeft NAM een brede marktconsultatie uitgevoerd naar mogelijke zuiveringstechnieken.

In paragraaf 5.2 zijn de marktconsultatie en de ontvangen zuiveringstechnieken toegelicht. In paragraaf 5.3 zijn de technieken getoetst op de mate waarin ze zijn ontwikkeld en worden toegepast en op milieufactoren. In paragraaf 5.4 is beschreven welke bouwstenen vanuit de nieuwe inzichten over waterzuiveringstechnieken worden meegenomen in de alternatieven.

### 5.2 Marktconsultatie en ontvangen zuiveringstechnieken

Bij de afronding van de Herafweging 2016 is door het Ministerie van EZK 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 zouden in de daaropvolgende jaren nieuwe technieken beschikbaar kunnen komen, die bij de volgende Herafweging meegenomen dienen te worden.

De afgelopen jaren heeft NAM een marktconsultatie gedaan om nieuwe zuiveringstechnieken in beeld te hebben. Het marktonderzoek heeft zich gericht op de mogelijkheden zo efficiënt mogelijk tot een indikking van de waterstroom te komen. Ten tweede is gekeken naar de mogelijkheden van kristallisatie. De bevindingen van het marktonderzoek zijn uitgebreid beschreven in Bijlage A1<sup>19</sup>. De marktconsultatie bestond uit de volgende stappen:

1. Een brede uitvraag naar bekende en naar minder bekende leveranciers (laatstgenoemden via de NAM-website);
2. Een bijeenkomst 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 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.
3. De input van de leveranciers is verzameld en door een externe partij getoetst op toepasbaarheid en milieufactoren.

De ontvangen zuiveringstechnieken zijn gepresenteerd in Tabel 5-1. De technieken zijn gecategoriseerd op type zuivering en per techniek is weergegeven welke leverancier de techniek kan leveren.

<sup>19</sup> Bij de marktconsultatie is uitgegaan van de opgave 8.000 m<sup>3</sup> productiewater per dag te zuiveren. Dit is de hoeveelheid productiewater in het geval de oliewinning maximaal produceert. In de Herafweging 2021-2022 is uitgegaan van de huidige hoeveelheid waterinjectie in Twente, wat neer komt op circa 3.000 m<sup>3</sup> productiewater per dag.

Tabel 5-1. Overzicht technologieën met bijbehorende mogelijke leverancier en behandelingstype.

Naam techniek /concept	Voorbeeld van een leverancier	Categorie
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 Watertechniek 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

### 5.3 Toetsing zuiveringstechnieken op toepasbaarheid en milieufactoren

#### Toepasbaarheid

De aangeleverde zuiveringstechnieken zijn beoordeeld op de mate waarin de techniek ontwikkeld is en reeds wordt toegepast. Dit wordt met de term Technology Readiness Level (TRL) aangeduid. 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 5-2. 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 5-2. 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

Zuiveringstechnieken die bewezen zijn krijgen een TRL 9. Deze technologieën zijn zodanig ver ontwikkeld dat NAM ze als alternatief kan meenemen in de Herafweging. 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 Herafweging worden meegenomen. Technologieën met een TRL van 7 of lager zijn nog in de proeffase en zijn op korte termijn niet toepasbaar.

Bijlage A1 is de TRL-toetsing van de verschillende zuiveringstechnieken. Het resultaat van de TRL-toetsing is:

- 10 technologieën zijn geclassificeerd met TRL 9. Voor deze technologieën kan op basis van ervaringen bij grootschalige toepassing de werking getoetst worden.
- 3 technologieën liggen 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.

### **Milieufactoren**

Bij het onderzoek in het kader van het MER 2006 en de Herafweging 2016 is gebleken dat de zuiveringsopties tot meer milieueffecten leiden dan waterinjectie. Daarom is gekeken of er zuiveringsmethodieken zijn die tot minder milieueffecten leiden. De zuiveringstechnieken zijn getoetst op gebruik van energie, benodigde chemicaliën en verwerking van het 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.

Bijlage A1 geeft een overzicht van de milieueffecten bij de verschillende zuiveringstechnieken. Met geen van de technologieën zou er een significante impact zijn geweest ten tijde van de Herafweging 2016, met uitzondering van één techniek. De ABX™ technologie van Nijhuis Saur Industries kan de uitkomsten van het LCA-rapport uit 2016 beïnvloeden. Het is 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 worden bepaald.

## **5.4 Bevindingen waterzuiveringstechnieken**

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 is 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. De nieuwe zuiveringstechnieken zijn niet meegenomen in de alternatieven van deze Herafweging, maar NAM houdt de ontwikkelingen nauwlettend in het oog.

Zoals in de Herafweging 2016 al is aangekondigd, is de membraantechnologie een kansrijke vernieuwing om in de afweging mee te nemen. Dit heeft betrekking op de zogenaamde Ultra High Pressure RO (UHPRO). Deze technologie is op de markt beschikbaar en is opgenomen in het aangepaste alternatief voor indikking van het productiewater.



## 6 Nieuwe inzichten waterinjectie Drenthe

### 6.1 Inleiding

In het MER 2006 was aangegeven dat waterinjectie kan plaatsvinden in leeg geproduceerde gasvelden. In de nabijheid van Schoonebeek waren indertijd de gasvelden nog in productie. Daarom is toen gekozen voor transport van productiewater naar de leeg geproduceerde gasvelden in Twente. Inmiddels zijn de gasvelden nabij Schoonebeek grotendeels leeg geproduceerd. Deze kunnen daarom in de Herafweging 2022 worden meegenomen, zoals dat ook in de Herafweging 2016 is gebeurd.

In het verlengde van de opties, waarbij de waterstroom sterk wordt ingedikt, kan ook gekeken worden naar de mogelijkheden om de ingedikte waterstroom te injecteren in het aquifer van een deel van het oliereservoir Schoonebeek. NAM heeft onderzoek gedaan naar de verschillende mogelijkheden voor waterinjectie in het oliereservoir.

In paragraaf 6.2 zijn de geschikte leeg geproduceerde gasvelden en putten in de Drenthevelden geselecteerd. Daarbij is expliciet aandacht besteed aan het voorkomen van aardbevingen en het risico op oplossing van zoutlagen. In paragraaf 6.3 is het leeg geproduceerde gasveld beschreven dat in de Herafweging in Alternatief 4 is meegenomen. In paragraaf 6.4 worden de mogelijkheden in de aquifers van het oliereservoir Schoonebeek beschreven. Hierin staan de mogelijkheden voor waterinjectie op een rijtje, worden ze getoetst op technisch, juridische en commerciële haalbaarheid. Dit leidt tot afbakening van de bouwstenen voor waterinjectie in de aquifer bij het olieveld Schoonebeek.

### 6.2 Selectie leeg geproduceerde gasvelden Drenthe

In het MER 2006 is vastgesteld dat er voor injectie van productiewater een voorkeur is voor het gebruik 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 afgefallen. Inmiddels is het grootste gedeelte van het nog winbare aardgas uit een deel van de gasvelden gewonnen en kan waterinjectie in deze velden overwogen worden. De velden die beschikbaar komen zijn: Schoonebeek Gas, Coevorden, Oosterhesselen, Dalen, Emmen en Roswinkel. De velden zijn in 2016 getoetst op aardbevingsgevoeligheid en de mogelijke oplossing van zoutlagen. Uit deze toetsing is het Schoonebeek gasveld als meest geschikt naar voren gekomen en is in de Herafweging 2022 meegenomen.

#### 6.2.1 Toetsing aardbevingsgevoeligheid

Aardbevingen of trillingen kunnen ontstaan door drukverschillen in de ondergrond. Vooral nabij bestaande breukzones kunnen drukverschillen ertoe leiden, dat gesteentelagen ten opzichte van elkaar bewegen, wat wordt aangeduid als re-activatie van de breukzone. De bewegende bodemlagen veroorzaken aardbevingen. De meeste beweging is kleinschalig waardoor niet of nauwelijks meetbare aardbevingen ontstaan.

Bij het winnen van aardgas is er in de reservoirs een onderdruk ontstaan ten opzichte van de omgeving. In sommige reservoirs heeft dit geleid tot aardbevingen. Het injecteren van water leidt tot een druktoename in de reservoirs. Mogelijk kan dit ook tot aardbevingen leiden. Figuur 6-1 en Figuur 6-2 geven een overzicht van de geregistreerde aardbevingen tijdens gaswinning en waterinjectie in de Drenthevelden.



2. Velden met enkele aardbevingen boven een kracht van 2,0 op de schaal van Richter:
  - o Bij het gasveld Dalen zijn in 1996 twee aardbevingen geregistreerd, met magnitude van 1,6 en 2,2. Nabij het gasveld is in 2000 een aardbeving met magnitude van 1,3 opgetreden. In 2018 was er een aardbeving met magnitude 2.
  - o Bij het gasveld Emmen zijn 10 aardbevingen opgetreden waarvan twee met magnitude 2,0 of hoger.
3. Velden met aardbevingen boven een kracht van 3,0 op de schaal van Richter:
  - o Het gasveld Roswinkel heeft meerdere bevingen met een kracht boven 3,0 gehad, waardoor dit gasveld in het MER 2006 buiten beschouwing is gelaten.

Bij de velden Schoonebeek Gas, Dalen en Coevorden heeft al waterinjectie plaatsgevonden, waarbij geen aardbevingen zijn geregistreerd:

- Dalen: Er waren 4 kleine aardbevingen in het Dalen veld. Deze vonden plaats op grote afstand van de waterinjectie in put DAL-8 (Figuur 6-1). Derhalve worden deze aardbevingen gerelateerd aan gaswinning.
- Coevorden: De twee kleine aardbevingen in het Coevorden gasveld vonden plaats ten tijde van gas productie en niet van waterinjectie (Figuur 6-1).
- Schoonebeek: De eerste twee kleine aardbevingen in het Schoonebeek gasveld vonden plaats ten tijde van gasproductie en niet van waterinjectie. De twee latere kleine aardbevingen vonden plaats op grote afstand van de waterinjectie in putten SCH-597 en ENZ-7. Derhalve worden ook deze aardbevingen gerelateerd aan gaswinning.
- Oosterhesselen: in dit veld zijn geen aardbevingen waargenomen.

### Selectie velden en putten

De NAM heeft een eerste selectie gemaakt, om een indruk te krijgen hoeveel gasvelden en putten mogelijk in aanmerking komen. Selectiecriteria voor reservoirs en putten zijn:

- Geen historie met aardbevingen van magnitude van 2,5 of hoger;
- Putten niet nabij een breukzone (want als een put zich nabij een breukzone bevindt is er eveneens een vergrote kans dat er een aardbeving kan optreden).

Op basis van de historische aardbevingsgegevens zijn de gasvelden Oosterhesselen, Schoonebeek Gas, Coevorden en Dalen geschikt voor waterinjectie. In deze gasvelden zijn voldoende putten beschikbaar die zich op afstand van de breukzones bevinden.

## 6.2.2 Toetsing mogelijke oplossing zoutlagen

Zoals weergegeven in Figuur 3-2 neemt het zoutgehalte van het Schoonebeek productiewater door de injectie van gecondenseerd water (stoom) gestaag af en is nu zo'n 30.000 ppm TDS. Het zoute productiewater zal geleidelijk afnemend tot circa 10.000 mg/l (zie Figuur 3-2). Hiermee wordt het water weliswaar als zoutwater aangeduid, maar het is nog lang niet verzadigd. Verzadigd water kan circa 360.000 mg/l zout bevatten.

De injectiereservoirs in de kalksteenformaties bevinden zich in het Zechstein. Boven en in Twente tevens onder deze kalkformaties komen Zechstein zoutlagen voor. Tussen de injectiereservoirs en het zout bevinden zich ondoordringbare anhydriet lagen die er voor zorgen dat het injectiewater niet in contact komt met het zout. Als het niet-verzadigde injectiewater toch in direct contact zou komen met deze zoutlagen, kan zout vanuit de zoutlagen in oplossing gaan.

Als bovendien het niet-verzadigde injectiewater langs de zoutlagen zou kunnen stromen, kan geleidelijk aan steeds meer zout in oplossing gaan. Als veel zout uit de zoutlagen in oplossing gaat, kan er een met zoutwater gevulde ruimte ontstaan in de zoutlagen. De druk in de directe omgeving van een dergelijke met zoutwater gevulde ruimte, kan ertoe leiden dat deze wordt samengedrukt. De reservoirs en zoutlagen bevinden zich in Twente op ruim 1 km diepte, bij de Drenthevelden op circa 3 km diepte). Het samendrukken zou tot een regionale zone met lichte bodemdaling boven het gebied kunnen leiden. Als dergelijke holtes zich zouden vormen, bevinden ze zich op een te grote diepte om tot lokale verzakkingen en zinkgaten te leiden.

### **Zoutoplossingsmechanisme**

Het risico van zoutoplossing kan beperkt worden door reservoirs en putten te selecteren waarbij gekozen wordt voor:

- Reservoirs met een homogene laag anhydriet aan de boven- en onderzijde, zodat het injectiewater niet in contact komt met de zoutlagen.
- Reservoirs met gunstige geologische opbouw, waarbij verticale stroming beperkt wordt.
- Putten op afstand van breukzones, zodat stroming van injectiewater beperkt wordt langs een breukzone, waar zoutlagen mogelijk in direct contact kunnen staan met het reservoir.

Anhydriet blijkt op grotere diepte een goede afschermdende laag te vormen tussen het kalkgesteente en de Zechstein zoutlagen [Ref. NAM, 2015]. Bij de drukken die heersen op de diepte van de reservoirs is anhydriet stabiel en is het zeer slecht oplosbaar in water. Op geringere diepte (enkele honderden meters) kunnen anhydriet wel lagen water opnemen, waarbij gips ontstaat. Bij gipsvorming zet het gesteente uit. Het uitzetten is alleen mogelijk als de omgevingsdruk niet te groot is. Dit is op grote diepte wel het geval, zodat hier geen gipsvorming ontstaat en anhydriet stabiel is.

Bij een breukzone kan er contact zijn tussen het injectiereservoir en de zoutlagen. Hier geldt dat zoutoplossing bij stilstaand water beperkt is, doordat het zout alleen in oplossing gaat in het water in de directe omgeving van het zout. Er vormt zich een zone met verzadigd zoutwater, wat zich slechts via een zeer traag diffusieproces verder uitspreidt zolang er geen waterstroming optreedt. Modelberekeningen geven aan dat een diffusieproces geleidelijk aan optreedt over een periode circa 10.000 jaar [Ref. NAM, 2015]. Bij verticale waterstroming in het reservoir kan verzadigd zoutwater door de grotere dichtheid naar beneden bewegen waardoor niet verzadigd zoutwater via convectie omhoog beweegt naar de aanwezige zoutlaag. Hierdoor kan verdere zoutoplossing plaatsvinden. In de injectiereservoirs bevinden zich van nature verticale scheuren, waardoor verticale stroming in principe goed mogelijk zou zijn. De verticale scheuren worden in de diepte echter beperkt door de vele horizontale anhydrietlagen in de carbonaatreservoirs. Deze anhydrietlagen zorgen er voor dat convectiestroming slechts beperkt of helemaal niet zal optreden.

Nabij de injectieput vindt de maximale waterstroming plaats. Het is van belang te zorgen dat de put zich op voldoende afstand van een breukzone bevindt en dat er langs de putwand geen water stroomt in de zoutlagen. Daarom worden alleen putten op afstand van breukzones geselecteerd. Bij de put zelf is de integriteit van groot belang, om te voorkomen dat het water buiten het injectiereservoir achter de putwand komt. Monitoring in de putten kan mogelijke integriteitsissues vroegtijdig detecteren zodat risico's beheersbaar zijn.

Bij de geselecteerde reservoirs bevindt zich een homogene en lateraal continue anhydrietlaag, maar er zijn ook breuken aanwezig, waarbij op de breukzone zout in contact staat met het reservoir. De reservoirs zijn geschikt mits de putten op voldoende afstand van de breukzones worden gekozen.

### Selectie reservoirs en putten

Inventarisatie geeft aan dat de volgende putten beschikbaar zijn in de geselecteerde 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 velden. Deze putten zijn getoetst op:

- Verwacht opslag volume.
- Injectiviteit van de put.
- 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.
- Bij de ligging van de velden en injectielocaties is rekening gehouden met de mogelijke aanwezigheid van kwetsbare gebieden, zoals natuurgebieden en grondwaterbeschermingsgebieden.

#### M.e.r.-procedure waterinjectie nabij Schoonebeek

Voor de eventuele benutting van de leeggeproduceerde gasvelden en putten nabij Schoonebeek is in 2020 gestart met een onderzoek en een m.e.r.-procedure. Deze procedure had specifiek betrekking op de benutting een vijftal putten in de gasvelden Schoonebeek Gas, Oosterhesselen en Dalen. De putten zijn geschikt bevonden op basis van de bovenstaande toetsingspunten. In afwachting van de resultaten van deze Herafweging is dit m.e.r.-traject stopgezet. Er wordt thans gewerkt aan een nieuw traject om te komen tot vergunningen voor waterinjectie in het Schoonebeek gasveld. Dit is de meest voor de hand liggende kandidaat om productiewater in op te slaan.

### 6.2.3 Conclusie gasvelden Drenthe

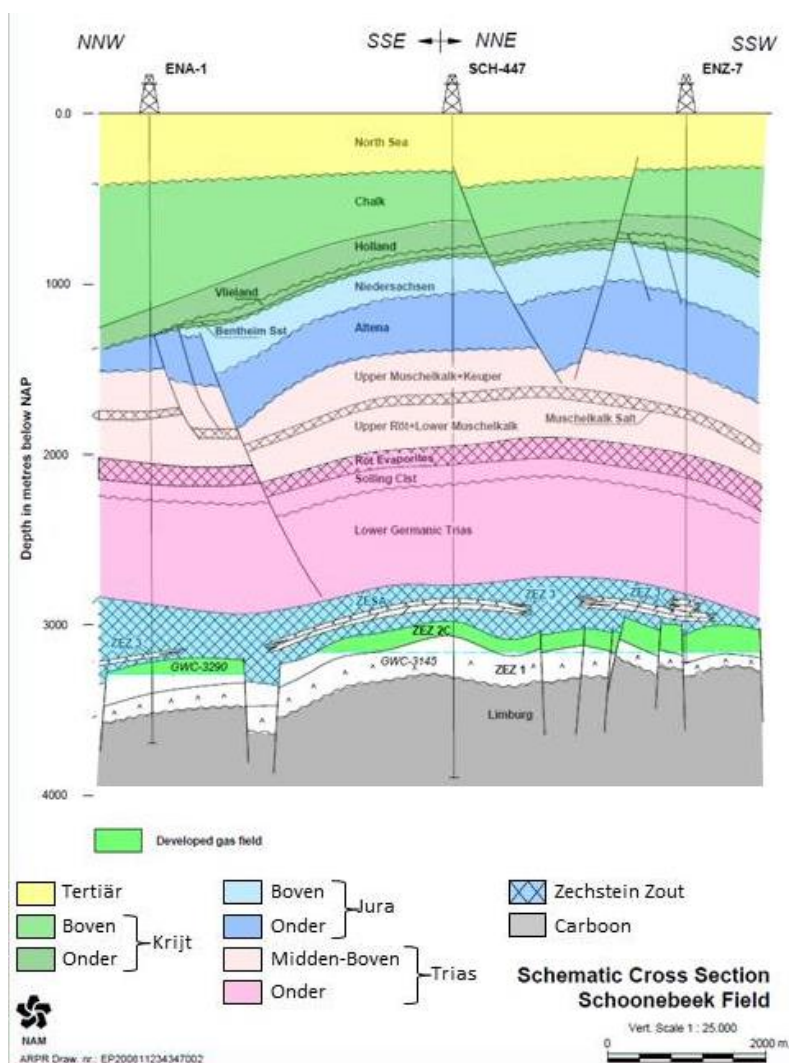
Uit bovenstaande afweging is duidelijk geworden dat er meerdere gasvelden, locaties en putten in Drenthe in aanmerking kunnen komen voor waterinjectie. De verdere uitwerking zal zich beperken tot het gasveld Schoonebeek, dat zich bevindt nabij de oliewinning en inmiddels over voldoende opslagcapaciteit beschikt om de gehele waterinjectie te faciliteren.

De bevindingen uit deze Herafweging geven daarmee ook een indicatie voor de mogelijkheden van waterinjectie in de overige leeg geproduceerde gasvelden.

## 6.3 Beschrijving Schoonebeek Gasveld

### Reservoir

Het Schoonebeek gas reservoir (zie Figuur 6-3) wordt gevormd door het Zechstein 2 Carbonaat, een dolomitische kalksteen van 70 – 200 m dikte. Naar beneden toe is de ZEZ2C begrenst door de Zechstein 1 anhydriet met een variabele dikte van 150 – 250 m. Aan de bovenkant van de ZEZ2C bevindt zich de Zechstein 2 anhydriet (circa 6 m), welke de ZEZ2C afschermt tegen het bovenliggende Zechstein 2 zout (200-300m), waarin zich fragmenten van de Zechstein 3 cyclus bevinden.



Figuur 6-3. Schematisch overzicht van de geologische formaties van het Schoonebeek Gas veld

### Afdekkende lagen

Boven het Zechstein bevinden zich circa 1.500 m kleisteen, siltsteen, zout, kalksteen en mergelsteen van de Trias (Bontzandsteen, Muschelkalk en Keuper). Hierop volgen de Altena en Niedersachsen, behorend tot de Onder en Boven Jura en bestaand uit Kleisteen (Altena) en een compositie van kleisteen met zand en kalk/mergelsteen banken (Niedersachsen), samen met een gemiddelde dikte van circa 450 m. De Jura wordt opgevolgd door Onder- en Boven Krijt met aan de basis de Bentheim Zandsteen, die het Schoonebeek Oliereservoir vormt (circa 30 m) gevolgd door klei en mergelsteen van het Onder Krijt en kalksteen (krijtsteen) van het Boven Krijt (totale dikte circa 450 - 850 m). Het Krijt is overdekt door circa 400 m dikke kleisteen en zanden uit het Tertiair.

### Breuken

Breuken op reservoir (ZEZ2C) niveau kunnen lokaal contact tussen reservoir en het bovenliggende zout (het Zechstein 2 zout) veroorzaken, afhankelijk van de verzet richting van een dergelijke breuk (reservoir contact met de massieve onderliggende en zeer slecht oplosbare Zechstein 1 anhydriet is ook mogelijk). Evenals onder “Rossum-Weerselo” beschreven, is het oppervlak, waar zout in contact is met het reservoir relatief klein en zout vormt bovendien een impermeabele grens voor geïnjecteerd water, waardoor oplossingsverschijnselen in slechts zeer beperkte mate kunnen worden verwacht. Het massieve Zechstein 2 zout boven het reservoir, voorkomt dat er breuken kunnen bestaan, die een verbinding tussen het reservoir en de oppervlakte (maaiveld) kunnen veroorzaken

### Putten

Het Schoonebeek gasveld werd ontdekt in 1957 met het boren van de put SCH-313, een put die werd geboord als onderdeel van het Schoonebeek olieveld. In totaal zijn 10 putten geboord op 4 locaties, de overige putten zijn geboord tussen 1968 en 1995. Vier van deze putten hebben één of meerdere sidetracks. Momenteel telt het Schoonebeek gasveld 4 gasproductieputten, 3 waterinjectieputten (waarvan 1 actief wordt gebruikt) en 2 geabandoneerde putten. Ook bevindt zich de SIMwell-put in het veld, een put die uitsluitend wordt gebruikt voor trainingsdoeleinden.

Uit de puttenselectie is gebleken dat er twee bestaande putten geschikt zijn voor waterinjectie. Het is de verwachting dat er twee aanvullende putten nodig zijn voor waterinjectie.

## 6.4 Beschrijving Schoonebeek Olieveld en Aquifer

### 6.4.1 Regionaal overzicht

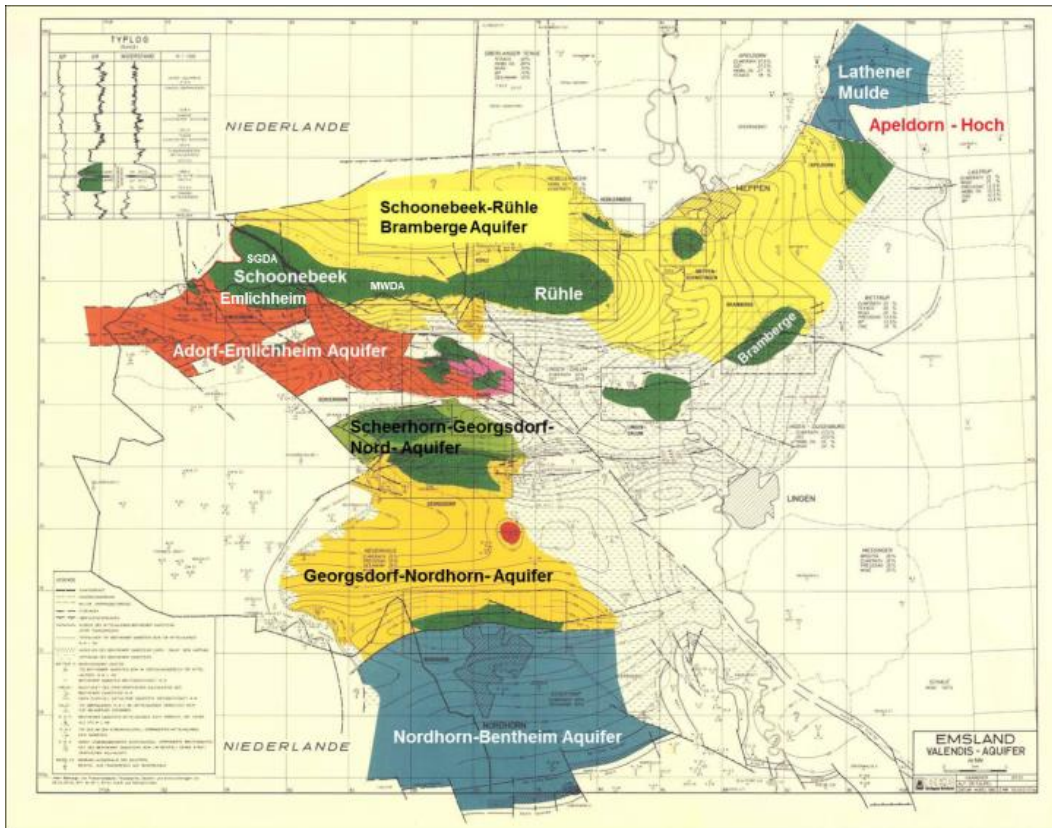
Om een geschikte injectiestrategie te vinden volgt hier een beschrijving van het gesteente, de olie- en waterhoudende delen en de landsgrenzen van het olieveld Schoonebeek.

De Schoonebeek olieaccumulatie is gesitueerd in het Bentheim Zandsteen reservoir. Dit is een “shoreface sandstone”, en derhalve regionaal uitgestrekt (Figuur 6-4). 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.

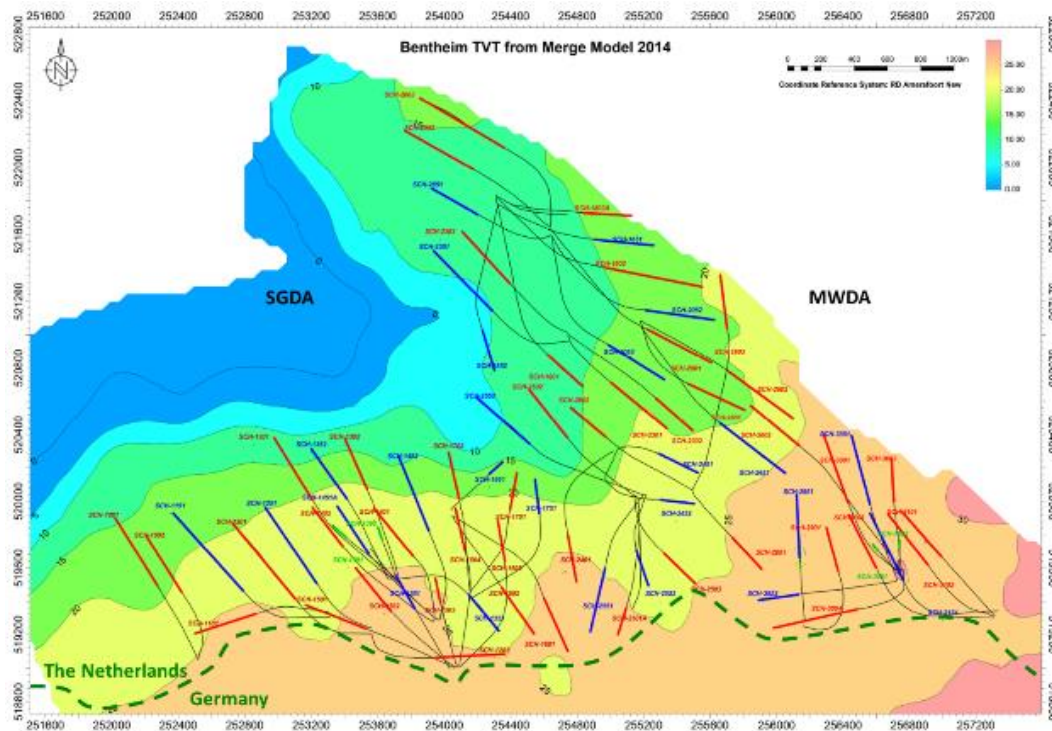
Naar het noorden toe wordt de zandsteenlaag steeds dunner en verdwijnt uiteindelijk, waarmee ook het Schoonebeek olieveld wordt begrensd. Aan de zuidkant wordt het Schoonebeek veld begrensd door de landsgrens met Duitsland; de zandsteen is hier zo'n 25 meter dik. Dezelfde olieaccumulatie strekt zich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

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 6-4). Het grote Schoonebeek olieveld wordt hierdoor verdeeld in twee aparte accumulaties, NAM Schoonebeek SGDA en Schoonebeek MWDA genoemd.

Bij het onderzoek naar gebruik van de aquifer van Schoonebeek blijkt al snel dat volledige injectie van het productiewater een te grote overdruk veroorzaakt en zodoende niet mogelijk is. Echter in het geval dat slechts een gedeelte van het water geïnjecteerd hoeft te worden, zoals het restproduct van een waterzuivering, is het wel zinvol de mogelijkheden van de aquifer in beeld te brengen. In dat geval gaat het om gedicht water, met hogere concentraties, na een waterzuiveringsstap (thema 3).



Figuur 6-4. Regionaal overzicht van de Bentheim zandsteen, met de olie accumulaties in donkergroen, en de verschillende aquifer systemen in rood, geel, lichtgroen en blauw.



Figuur 6-5. Bentheim zandsteen dikte kaart voor de SGDA



### **MWDA en Schoonebeek-Rühle Bramberge aquifer – Schoonebeek Oost**

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.

### **SGDA en Adorf-Emlichheim aquifer – Schoonebeek West**

De Schoonebeek olieaccumulatie ten westen van de breuk wordt begrensd aan de noordzijde door reservoir pinch-out (Figuur 6-5). Aan de zuidzijde strekt de olieaccumulatie zich uit over de landsgrens met Duitsland, en wordt deze het Emlichheim veld genoemd. Productie in Emlichheim schermt 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).

## **6.4.2 Dynamisch gedrag**

### **Schoonebeek SGDA en het Adorf-Emlichheim aquifer**

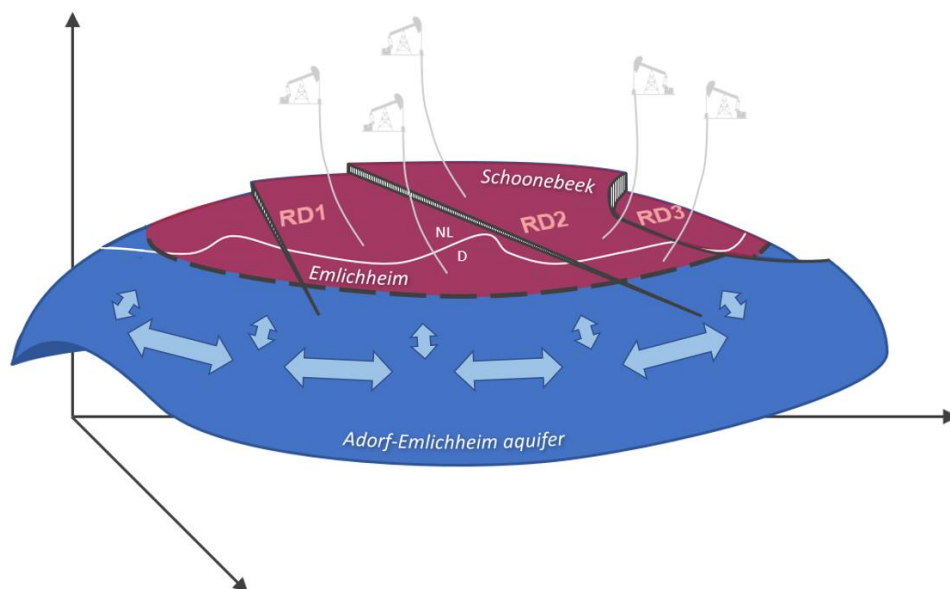
De Schoonebeek SGDA olie accumulatie maakt onderdeel uit van een groter dynamisch systeem<sup>20</sup> (schematische weergave in Figuur 6-4), en kan niet worden bekeken in isolatie. Zoals hierboven beschreven strekt de westelijke olie-accumulatie (Schoonebeek SGDA) zich ten zuiden uit over de landsgrens, 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 m<sup>3</sup> 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.

<sup>20</sup> Zoals te zien in Figuur 6-4 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).

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



Figuur 6-6. Schematische weergave van het dynamische systeem Schoonebeek SGDA, Emlichheim, en de aquifer. Het Schoonebeek veld bevindt zich in de top van de structuur, het Emlichheim veld op de flank.

### Mogelijkheden voor waterinjectie in de aquifer van het olieveld Schoonebeek

Een ingedikte waterstroom kan worden geïnjecteerd in de aquifer van het olieveld Schoonebeek. 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. Daarom 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. Daardoor zal de druk oplopen. Dit kan worden gecompenseerd door meer te produceren (met nieuwe waterproductieputten). De extra productie leidt tot meer ingedikt productiewater, maar doordat hier een indicfactor geldt, zal bij voldoende toename van de productie er weer een balans ontstaan. Hiermee zal geleidelijk aan wel steeds meer zout worden teruggevoerd in de 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 diffusie<sup>21</sup> plaats zal vinden.

De productieputten in Schoonebeek zijn in een geometrische configuratie met nabijgelegen stoominjectieputten geboord, waarbij water in stoom-vorm als energiedrager wordt geïnjecteerd om de olie op te warmen die naar de productieput toe stroomt. Bij afgifte van de warmte condenseert de stoom en stroomt er gecondenseerd (zoet) water naar de productieput. Hierdoor verlaagt het zoutgehalte van het geproduceerde water.

<sup>21</sup> Bij diffusie mengen de zout- en watermoleculen en neemt het verschil in zoutconcentratie geleidelijk af. Bij advectie stromen de zoutmoleculen met het water mee.

Herinjectie van ingedikt (zout) productiewater in een andere nabijgelegen put zal bij doorbraak in de productieput juist tot een verhoging in het zoutgehalte leiden. Voor een inschatting van het netto resultaat van deze processen is gebruik gemaakt van reservoir simulatie modellen.

### 6.4.3 Mogelijkheden voor waterinjectie

Er zijn drie mogelijkheden voor waterinjectie in de aquifer:

- Injectie van ingedikt water in de Schoonebeek-Rühle-Bramberge aquifer (Schoonebeek Oost);
- Injectie van ingedikt water in de Adorf-Emlichheim aquifer (Schoonebeek West);
- Injectie van ingedikt water in het Emlichheim Bentheim zandsteen aquifer (Duitsland).

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

#### **Variant 1: Injectie van ingedikt water in het Schoonebeek-Rühle-Bramberge aquifer**

Waterinjectie vindt plaats ten noord-oosten van het herontwikkelde deel van het Schoonebeek olieveld, aan de andere kant van een hydraulisch scheidende breuk in het aquifer. Het volume van dit aquifer (binnen de landsgrenzen) is aanzienlijk. De druk van het aquifer is zo'n 10 bar boven de initiële reservoirdruk, met name door over-injectie in de oostelijke extentie van de olie accumulatie (het Rühlermoor veld in Duitsland). Injectie van de (zoute) reststroom in dit aquifer zal daarom gepaard moeten gaan met gebalanceerde productie van (minder zout) formatiewater elders uit hetzelfde aquifer, teneinde verhoging van druk te voorkomen (een zogeheten productie-injectie doublet). Omdat de zoete waterstroom uit het indikproces aan de oppervlakte wordt afgevoerd, leidt deze gebalanceerde productie/injectie in het aquifer niet tot netto injectie van water, maar wel tot netto injectie van zout.

Op basis van modelresultaten lijkt het waarschijnlijk dat er ten minste 40 miljoen m<sup>3</sup> ingedikt water kan worden opgeslagen in het Schoonebeek-Rühle-Bramberge aquifer. De gekozen modelrealisaties laten geen doorbraak zien van het ingedikte zoute water in de nieuw te boren productieputten, gelegen op 4 km afstand van de nieuwe injectieputten. Wel bestaat er binnen de geologische onzekerheid kans op een significante water influx vanuit Duitsland (als gevolg van de over-injectie in het Rühlermoor veld), waardoor er om druk-balans te behouden mogelijk tot wel 20% meer geproduceerd moet worden dan er aan ingedikt water geïnjecteerd kan worden. Dit extra geproduceerde water moet ook weer verwerkt worden, wat de efficiëntie van het proces verlaagt.

#### **Variant 2: Injectie van ingedikt water in het Adorf-Emlichheim aquifer**

Er wordt een doublet geplaatst in het aquifer ten westen van het Schoonebeek olieveld, met injectie van ingedikt (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. Dit is thans niet vergund. Mogelijk kan het in de toekomst wel vergund worden en kunnen hierover ook afspraken gemaakt worden met de Operator van het Emlichheim olieveld aan de andere kant van de grens. Op dit moment heeft deze variant alleen betrekking op waterinjectie in het Nederlandse deel van de aquifer.

### Variante 3: Injectie van ingedikkt water in Duitsland in het Emlichheim veld

Hier is aangenomen 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 het Emlichheim veld of de nabijgelegen 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. Er 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.

#### 6.4.4 Toetsing haalbaarheid voor waterinjectie

De drie varianten voor herinjectie in de aquifer van het oliereservoir zijn getoetst op technisch, juridische en commerciële haalbaarheid. Elke opslagvariant dient technisch, juridisch en commercieel haalbaar te zijn. Bij de technische haalbaarheid is getoetst of het beoogde reservoir (segment) beschikt over de juiste eigenschappen (zowel qua debieten als qua bergingvolume), en of door de waterinjectie de olieproductie 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. Tabel 6-1 laat de toetsingsresultaten zien.

Tabel 6-1. Overzicht van mogelijke circulaire concepten met indicatie van haalbaarheid

Variant		Randvoorwaarden		
		Technisch	Juridisch	Commercieel
Variante 1	Injectie van ingedikkt water in de Schoonebeek-Rühle-Bramberge aquifer	Haalbaar	Waarschijnlijk Haalbaar	Haalbaar
Variante 2	Injectie van ingedikkt water in de Emlichheim-Adorf aquifer	Niet haalbaar	Mogelijk haalbaar	Waarschijnlijk haalbaar
Variante 3	Injectie van ingedikkt water in Duitsland in het Emlichheim veld	Mogelijk haalbaar	Waarschijnlijk niet haalbaar	Mogelijk haalbaar

De tabel laat zien dat herinjectie in variante 1 mogelijk is, onder voorwaarde dat er geen juridische beperking zijn. Voor variante 2 kan geen balans tussen waterinjectie en productie worden verkregen door snelle doorbraak van het ingedikte water. Daardoor zal ingedikkt injectiewater de grens passeren. Varianten 2 en 3 zijn afhankelijk van de samenwerking met Duitsland op het gebied van vergunningen en commerciële overeenkomsten, wat nog niet nader verkend is.

#### Technisch

*Is er voldoende opslagcapaciteit in het reservoir voor ingedikkt water?*

Variante 2 is niet haalbaar omdat zelfs bij maximale indikking er voortijdig doorbraak zal optreden van ingedikkt water. Variante 3 kan gezien worden als een optimalisatie van variante 1 en deze is mogelijk haalbaar afhankelijk van de behoefte en mogelijkheden van de Duitse Operator. Variante 1 is technisch haalbaar (als er in voldoende mate wordt ingedikkt).

#### Juridisch

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

Injecteren in de aquifer is nu 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 mogelijk een oplossing kunnen zijn voor de technische beperkingen van variant 2, afhankelijk van de doorlaatbaarheid van breuken in de aquifer aan de Duitse kant. Dit is thans niet vergund, maar mogelijk kan dit wel vergund worden.

*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 KRW (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 KRW (en niet als afval) worden gekwalificeerd. Dit lijkt mogelijk voor onbehandeld productiewater. Wanneer dit water eerst verder ingedikt wordt ontstaat wellicht een andere situatie waardoor het water als afval geclassificeerd kan worden. In dat geval is het waarschijnlijk niet mogelijk om hiervoor een vergunning te verkrijgen..

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

### **Commercieel**

*Is het mogelijk om een afnameverplichting 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).

### **6.4.5 Bevindingen waterinjectiemogelijkheden**

Op basis van de toetsing is gekozen variant 1 nader uit te werken als onderdeel van het Circulair alternatief (Alternatief 3, zie paragraaf 7.4). Waterinjectie in Drenthe is uitgewerkt voor het gasveld Schoonebeek Gas (Alternatief 4, zie paragraaf 7.5). En waterinjectie in Twente is de huidige situatie (zie paragraaf 7.6).

## 7 Te toetsen alternatieven

### 7.1 Inleiding

In Hoofdstuk 4, paragraaf 4.5 zijn de meest kansrijke opties per thema geselecteerd vanuit de uitgebreide lijst met opties. Dit zijn de alternatieven die in dit hoofdstuk in meer detail zijn uitgewerkt en in de volgende hoofdstukken zijn getoetst met de CE-methodiek:

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

Bij ieder alternatief is 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. Na toetsing van de alternatieven en varianten, is gekeken of een slimme combinatie te maken is van de alternatieven en varianten om tot een definitieve en beste oplossing te komen.

Bij Alternatief 1 en 2 vindt geen waterinjectie plaats. Dat betekent dat de waterinjectie in Twente zal worden beëindigd. Bij Alternatief 3 wordt de waterstroom ingedikt en daarmee de hoeveelheid waterinjectie beperkt, tot circa 25% of zelfs 10% van het geplande volume. Alternatief 4 en het referentiealternatief gaan uit van voortzetting van waterinjectie, in Drenthe of Twente.

Ten opzichte van Herafweging 2016 zijn er twee andere uitgangspunten:

1. Te verwerken debiet: In Herafweging 2016 is uitgegaan van een debiet van 8.000 m<sup>3</sup> per dag. Zoals besproken in Hoofdstuk 3 (paragraaf 3.3) is het debiet de afgelopen jaren dit beperkt tot 3.000 m<sup>3</sup> per dag. Herafweging 2022 gaat over de vraag hoe de 3.000 m<sup>3</sup> per dag productiewater die nu naar Twente wordt afgevoerd optimaal verwerkt kan worden.
2. Waterkwaliteit productiewater: Zoals uit de bevindingen van Hoofdstuk 3 blijkt, zal rekening moeten worden gehouden met een enigszins aangepast zoutgehalte (44.000 mg/l in 2015 naar 28.300 mg/l in 2020).

### 7.2 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 H<sub>2</sub>S-binder in het zout terecht komt, zullen de leidingen bij Schoonebeek vervangen worden door H<sub>2</sub>S-resistente (bestendige) leidingen.

### Restproduct bestaat vooral uit gemengd vast zoutproduct

Na de waterzuivering ontstaat een vast zoutproduct, bestaande uit een mengsel van voornamelijk NaCl en CaCl<sub>2</sub> 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 ervan uitgegaan dat het zoutproduct wordt 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 stroozout – of als grondstof voor Cl<sub>2</sub>-productie - gebruikt kunnen worden, hoewel de markt momenteel aangeeft dat daar weinig behoefte aan is. De aanvullende zuiveringsstap wordt als optimalisatie bij dit alternatief gezien en besproken aan het eind van subparagraaf 7.2.2. In het alternatief zelf wordt uitgegaan van opslag van het zoutproduct als meest robuuste oplossing.

### Onderdelen Alternatief 1: Vast zoutproduct middels kristallisatie

Basisalternatief 1 “vast zoutproduct” bestaat uit de volgende onderdelen:

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

## 7.2.1 Zuiveringstechnieken

Bij de waterzuivering staat het indampen van het zout centraal. Daarmee ontstaat een schone waterstroom en een vast zoutproduct. Om ervoor te zorgen dat het zoutproduct zo min mogelijk verontreinigingen bevat (bij voorkeur alleen een mengsel van NaCl en CaCl<sub>2</sub> 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 uitgebreide voorzuivering. De aanwezigheid van een aantal stoffen, zoals Calcium, Magnesium, H<sub>2</sub>S, 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).

## 7.2.2 Waterzuiveringsstappen

### Voorbehandeling

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 ervoor 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 CO<sub>2</sub> (circa 75%), H<sub>2</sub>S 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 H<sub>2</sub>S-gehalte zo hoog is dat verbranding zou leiden tot een te hoge SO<sub>2</sub> uitstoot, wordt het stripgas voor verbranding ontdaan van H<sub>2</sub>S.

### **Toepassing MVR**

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

Zoutwater wordt met mechanische damprecompressie ingedampt tot een geconcentreerde brijn. In een tweede stap wordt het brijn met lagedruk stoom 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 CaCl<sub>2</sub> (14%).
- Het destillaat wordt met stoomstrippen ontdaan van ammoniak, waarna overgebleven verontreinigingen door reactie met ClO<sub>2</sub> (H<sub>2</sub>S verwijdering) en adsorptie aan actieve kool (organische verbindingen) worden verwijderd:
  - NH<sub>3</sub>-strippen (en terugwinning als ammoniumsulfaat). Ammoniak lost na de destillatie weer op in het gecondenseerde water. Het ammoniakniveau zal moeten worden verlaagd tot onder 10 mg/l. Verwijdering van NH<sub>3</sub> vindt plaats middels strippen met stoom.
    - Gestripte ammoniak wordt afgevangen als (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, 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.
  - Sulfide verwijdering; opgeloste sulfide wordt chemisch geoxideerd met een oxidant (ClO<sub>2</sub>). 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 dooradsorptie aan actieve kool (GAC). Er wordt in eerste instantie van uit gegaan dat de gebruikte actieve kool extern wordt geregenereerd.

Eventuele in productiewater aanwezige hulpstoffen komen in het zout terecht. Het zout bevat geen H<sub>2</sub>S-binder, biocide of corrosie remmer, omdat deze in dit alternatief niet worden toegepast. Om gebruik van H<sub>2</sub>S-binder te voorkomen worden de olietransportleidingen tussen de winputten en de OBI vervangen door H<sub>2</sub>S-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.

### 7.2.3 Afvoer water naar watergang

De hoeveelheid te lozen gezuiverd water bedraagt maximaal circa 2.200 m<sup>3</sup> per dag. Ter vergelijking: de hoeveelheid effluent bij de Waterfabriek bedraagt circa 10.000 m<sup>3</sup> per dag. De precieze ligging van de 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.

### 7.2.4 Afvoer reststoffen en varianten voor zout

De reststoffen bestaan uit twee groepen, gezuiverd vast zoutproduct en een kleine spuistroom van ingedikt 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 75 ton per dag. In de loop van de jaren neemt de hoeveelheid zout af tot circa 20 ton per dag. Op basis van de huidige verwachtingen wordt er tot het einde van de oliewinning gemiddeld circa 35 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 3 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<sup>3</sup>, compleet vast zout circa 2.150 kg/ m<sup>3</sup>). Op basis van een geschatte dichtheid van 1.500 kg/ m<sup>3</sup> komt 200 ton per dag neer op een berg van 130 m<sup>3</sup> zout. Uitgaande van een gemiddelde van 95 ton zout per dag gedurende de gehele periode, is het totaal zoutvolume 0,2 miljoen m<sup>3</sup>. Dit zijn 2 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.

### 7.2.5 Optimalisatie variant: Hergebruik zout

Na waterzuivering ontstaat een gemengd vast zoutproduct dat voornamelijk bestaat uit 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.

Dr. Heijman en dr. Barnhoorn (TU Delft) merkt in 2016 in de contraexpertise<sup>22</sup> 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 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 MVR. Dit geeft waarschijnlijk een significante reductie in energieverbruik;
- Mogelijke verkoop van kalk en strooizout.

De nadelen ten opzichte van het basisalternatief 1 zijn:

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

Met name de laatste factor maakt het daadwerkelijk hergebruik van de kalk of zouten onzeker. Als 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 en wordt daarom verder niet meegenomen in de afweging.

### 7.3 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 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 is. Ter hoogte van Scheemda takt een tweede leiding aan. Hiermee wordt door vier bedrijven gezuiverd zout afvalwater afgevoerd.

<sup>22</sup> Dr. Heijman en Barnhoorn, *Contraexpertise verslag Afvalwaterinjectie in Noordoost-Twente, TU Delft, 2016*

De capaciteit van de transportleiding bedraagt circa 2.000 m<sup>3</sup> per uur, waarvan momenteel circa 1.000 m<sup>3</sup> per uur wordt benut. In dit alternatief sluit de NAM aan op deze bestaande leiding, waarbij circa 125 m<sup>3</sup> per uur productiewater wordt toegevoegd (ongeveer 3.000 m<sup>3</sup> 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 de OBI wordt een nieuwe waterzuiveringsinstallatie gebouwd. Het productiewater wordt op de OBI zo ver 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 H<sub>2</sub>S-binder uit het zoute water kan halen. Om te voorkomen dat de zoutwater stroom hiermee verontreinigd is, moet dus worden voorkomen dat H<sub>2</sub>S-binder wordt toegepast. Dit betekent dat de leidingen van Schoonebeek vervangen moeten worden door leidingen met H<sub>2</sub>S-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**

Alternatief 2: “zout water” bestaat uit de volgende onderdelen:

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

### **7.3.1 Zuiveringsstappen van productiewater met biologische zuivering**

Bij de waterzuivering staat een biologische zuivering centraal. Daarmee ontstaat een waterstroom en een reststroom. Om ervoor 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 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 180 ton strontium en 14 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  $\text{CaCO}_3$  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  $\text{H}_2\text{S}$  geoxideerd en wordt stikstof verwijderd met twee biologische processen.

- Biologische sulfide oxidatie met lucht.
- Biologische stikstofverwijdering (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.

### **Actieve 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.

## **7.3.2 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. 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. Er wordt GRE-materiaal toegepast, waardoor de leiding corrosiebestendig is. De totale lengte van dit segment is circa 55 km.

## **7.3.3 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.

Waterschap Hunze en Aa's is beheerder van de VKA-leiding. 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.

Als de NAM aansluit op de bestaande VKA-leiding is er sprake van indirecte lozing. Via een Wabo-vergunning 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.

#### **7.3.4 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.

#### **7.3.5 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. Sinds 2017 is het Habitatrichtlijngebied Waddenzee uitgebreid met het Eems-Dollard (Staatscourant 2017, 22819). Hiermee wordt de begrenzing van het Habitatrichtlijngebied en van het Vogelrichtlijngebied gelijkgetrokken en geldt de daarbij behorende instandhoudingsdoelstellingen aan te vullen. Voor de Eems geldt dat onderzoek wordt gedaan naar verbetering van de waterkwaliteit. Dit geeft condities aan de samenstelling, hoeveelheid en temperatuur van het te lozen water.

Er zijn 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 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 immissietoets plaats waarbij onder andere gekeken wordt naar de Kaderrichtlijn 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 hieraan moeten worden getoetst.

### 7.3.6 Afvoer 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).

## 7.4 Alternatief 3: Circulaire aanpak (aangepast alternatief indikken 2016)

**Indikken van het productiewater, waarbij een deel als gezuiverd schoon zoet water wordt hergebruikt voor stoomproductie en een deel, met verhoogde concentraties, wordt geïnjecteerd** Waterzuivering tot een stroom schoon zoetwater en een ingedikte reststroom (zie Thema 2 in Hoofdstuk 4), is geïdentificeerd als een thema waar met technische optimalisaties tot een beter alternatief kan worden gekomen. Daarbij wordt gekeken naar drie aspecten: de 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 (wat in de 2016 herevaluatie nog niet zo was), zodat deze technologie nu kan worden ingezet als onderdeel van het Circulair Alternatief.

### 7.4.1 Waterzuivering

De waterzuivering van het circulair alternatief is stapsgewijs ontwikkeld:

- Gert Colenbrander heeft in 2020, op verzoek van de lokale belangengroep Stichting Stop Afvalwater Twente, een voorstel gedaan voor een circulair concept, waarbij het productiewater wordt behandeld in de ultrapurwaterfabriek van NieuWater.

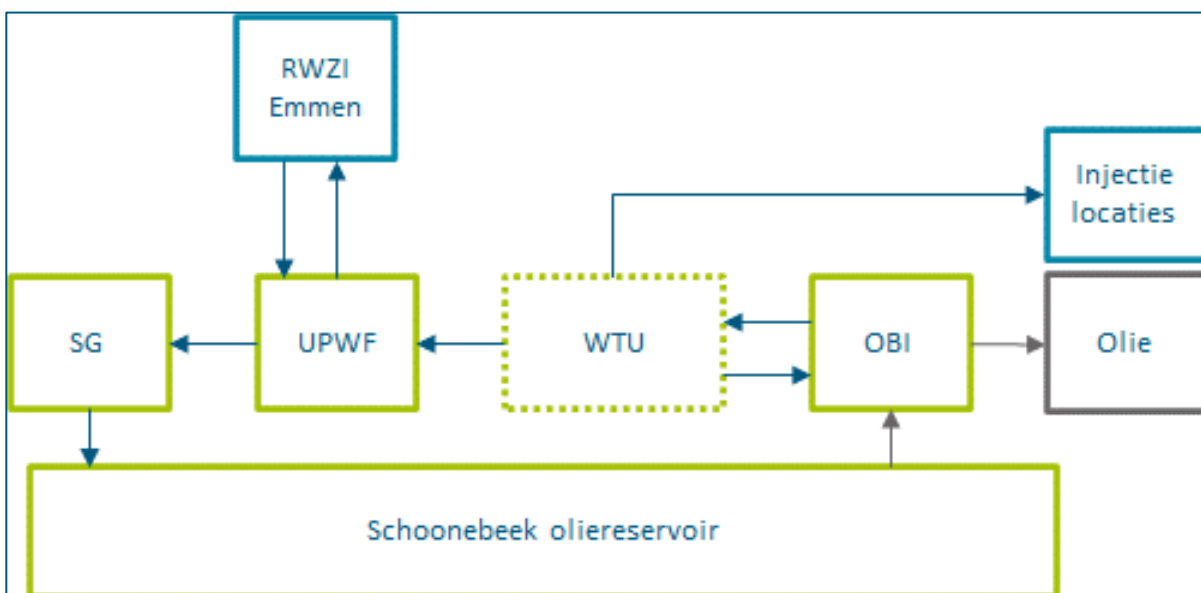
- De onderzoeksgroepen Instituut EMI Twente en professor Boelo Schuur via Suster B.V. zijn gevraagd om het concept van Gert Colenbrander te beoordelen en hier advies op te geven. In haar rapport in bijlage A2 geeft EMI Twente de optimalisaties van het waterzuiveringsconcept weer.
- Royal HaskoningDHV 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.

De waterzuivering levert naast schoon water voor hergebruik (stoominjectie) een sterk ingedikte reststroom op, die alsnog verwerkt moet worden. Voor de waterzuivering is 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, zodat het geheel aansluit op de bestaande componenten van de oliewinning.

### 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 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 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 7-1.



Figuur 7-1. Voorgesteld circulair concept (toelichting afkortingen: RWZI: rioolwaterzuiveringsinstallatie, SG: stoomgeneratie, UPWF: ultrapuur waterfabriek, WTU: voorbehandelingsinstallatie, OBI: olie-behandelingsinstallatie)

Voor de voorbehandelingsinstallatie (WTU) zijn 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 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 7-1. 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 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).



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

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

Uiteindelijk is door NAM alleen concept 1F in deze afweging meegenomen vanwege de relatief gunstige combinatie van concentratiefactor (CF), energiegebruik en chemicaliëngebruik.

Tabel 7-2. Overzicht kengetallen voor de onderzochte varianten

Concept ID	CF	Energy - Feed (kWh/m <sup>3</sup> )	Energy - Product (kWh/m <sup>3</sup> )	Chemicals (ton/d)	Effluent Salinity (mg/L)
1A	2,4	8,0	13,6	0,2	46
1B	1,9	4,8	10,4	12,6	116
1C	3,9	6,0	8,2	12,6	73
1D	5,1	9,4	12,1	12,6	62
1E	5,1	9,4	12,1	1,6	62
1F	4,3	5,4	7,3	1,6	73
2A	7,4	10,9	18,0	0,2	46
2F	7,2	6,9	9,3	1,6	73

### 7.4.2 Benutten schoon zoetwater voor circulair water gebruik

Bij de huidige 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 m<sup>3</sup> oppervlaktewater aan het watersysteem onttrokken. In perioden van hoge neerslag is dat een gunstige ontwikkeling, maar in tijden van droogte is het minder gunstig. Dit aspect is in de ontwerpfase afgestemd met het waterschap en beoordeeld in het MER 2006. De conclusie was indertijd dat een dergelijke aanpassing van het watersysteem geen significante negatieve gevolgen heeft. In het Circulair alternatief wordt het productiewater gezuiverd en kan vervolgens als bron dienen om stoom te produceren. Zo hoeft er vrijwel geen water te worden toegevoegd uit het oppervlaktewatersysteem.

#### Selectie locatie, installaties, pijpleidingen en faciliteiten

De waterzuivering moet worden gebouwd 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 ook een directe verbinding nodig met de huidige waterfabriek, waar het schone water naartoe wordt afgevoerd, en tot ultra puur water voor stoominjectie wordt gezuiverd. De reststroom wordt teruggevoerd naar de OBI, om van daaruit te worden verwerkt.

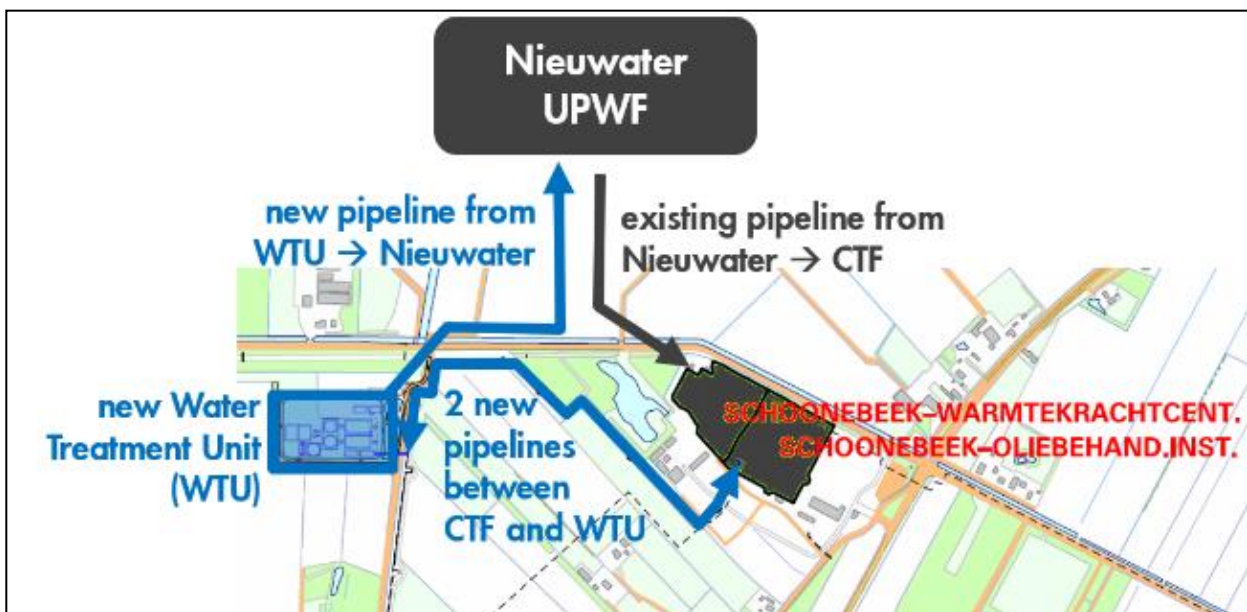
### Nieuwe locatie voor de Water Treatment Unit (WTU)

Op de huidige locatie van de OBI is onvoldoende ruimte om een waterzuiveringsinstallatie te plaatsen. Er is in de nabijheid een voormalig NAM-terrein dat kan worden gebruikt. Het voormalig EVI/ROV terrein bevindt zich net ten westen van de OBI, zie Figuur 7-2. In de figuur zijn drie nieuwe ondergrondse pijpleidingen en een nieuwe elektriciteitskabel aangegeven.

Er zijn drie nieuwe ondergrondse pijpleidingen voorzien:

- Het productiewater wordt via een nieuwe pijpleiding van de OBI 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 via een nieuwe leiding van de WTU naar de Nieuwater UPWF verpompt.

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.



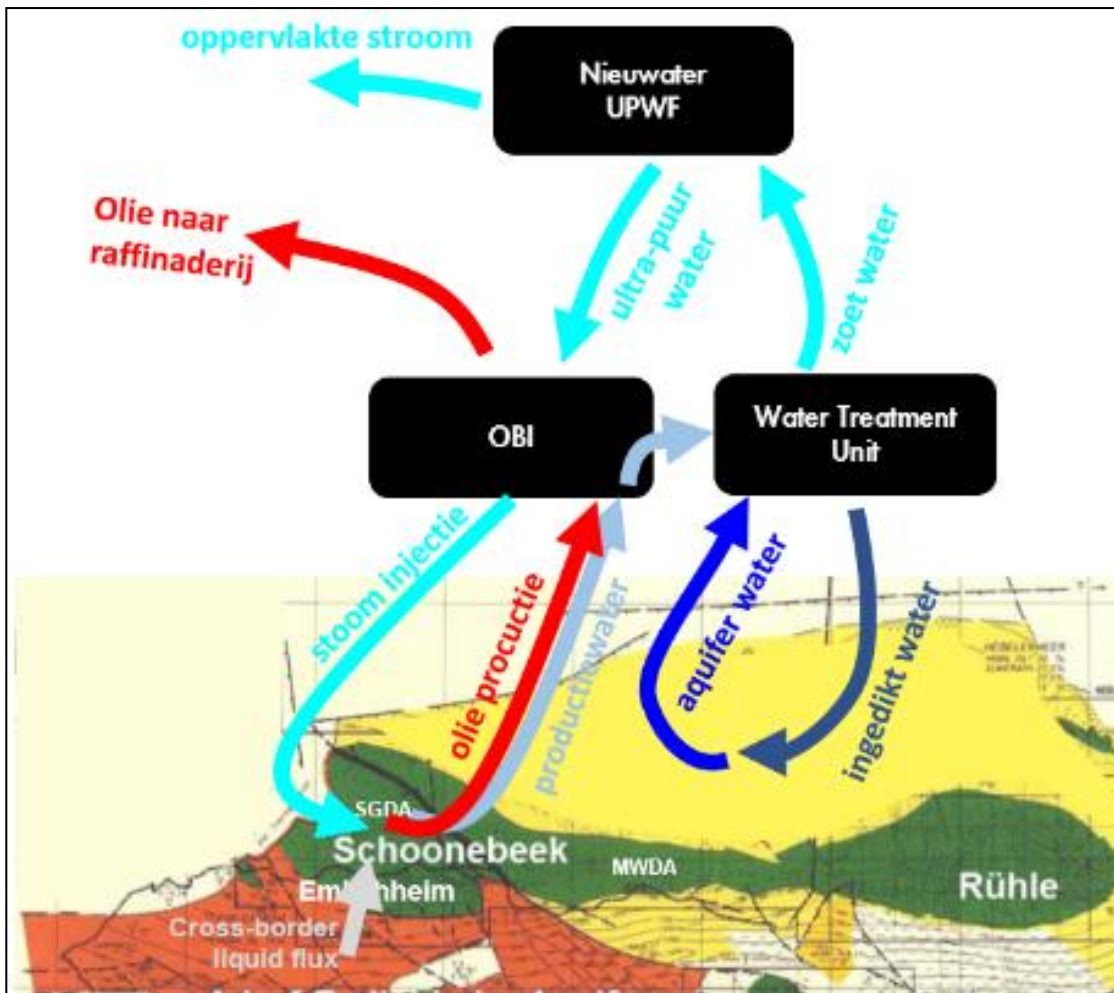
Figuur 7-2. Schematisch overzicht van bovengrondse infrastructuur.

### 7.4.3 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 m<sup>3</sup> per dag (respectievelijk 25% en 10% van de te verwachten 3.000 m<sup>3</sup> productiewater bij de huidige oliewinning).

Zoals beschreven in Hoofdstuk 6, is waterinjectie in Schoonebeek Oost het meest geschikt voor het injecteren van de reststroom in de Schoonebeek aquifer. 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 7-3 toont het mechanisme.



Figuur 7-3. 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 Schoonebeek olieveld, en geen waterinjectie in leeg geproduceerde gasvelden nodig is. Hiervoor zijn nieuwe pijpleidingen nodig en putten om in de aquifer te injecteren en uit te produceren.

#### 7.4.4 Afvoer overtollig zoet water

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.

### 7.4.5 Overige reststromen

Bij de waterzuivering wordt een CaCO<sub>3</sub>-rijke vaste restfractie gevormd, waarin ook bariumzouten en strontiumzouten neerslaan. Er is aangenomen dat deze neerslag niet herbruikbaar is.

Tabel 7-3. Overzicht reststromen.

Formed pellets stream	kg/dag
CaCO <sub>3</sub>	3.434
Mg(OH) <sub>2</sub>	75
BaSO <sub>4</sub>	21
SrCO <sub>3</sub>	291
TSS (Total suspended solids)	3.821
TSS – in de waterstroom	86
TSS – Vaste restfractie	3.735

## 7.5 Alternatief 4: Waterinjectie Drenthe (aangepast t.o.v. 2016)

### Beperkte zuivering en injectie in Drenthe velden

Dit alternatief maakt optimaal gebruik van de nieuw beschikbaar gekomen Schoonebeek gasveld in de omgeving van Schoonebeek. Dit alternatief gaat er van uit dat bij de winputten ter bescherming van de leidingen H<sub>2</sub>S-binder aan het oliewatermengsel wordt toegevoegd. Er zijn voor het alternatief varianten uitgewerkt, waarbij minder mijnbouwhulpstoffen worden toegevoegd. Voor die varianten is het naar verwachting noodzakelijk transportleidingen te vervangen.

### Drenthevelden, selectie van putten en injectielocaties nabij Schoonebeek

Op basis van het onderzoek en de toetsing van de beschikbaar gekomen leeg geproduceerde gasvelden in Drenthe (zie Hoofdstuk 6, Paragraaf 6.2 en 6.4.5) zijn er mogelijkheden voor de opslag van productiewater in het Schoonebeek Gasveld. Hiervoor zijn 2 putten beschikbaar. Daarnaast worden 2 nieuwe putten geboord, om te zorgen dat er bij onderhoud of verminderde injectiedebieten in de putten, toch voldoende waterinjectie kan plaatsvinden.

### Onderdelen alternatief 4: Waterinjectie Drenthe

Alternatief 4: “waterinjectie” bestaat uit de volgende onderdelen:

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

### 7.5.1 Reductie (mijnbouwhulp)stoffen in het productiewater

Alternatief bestaat uit drie varianten, waarbij steeds minder mijnbouwhulpstoffen in het injectiewater aanwezig zijn.

1. Variant 4.1 (basisalternatief 4), waarbij onder meer H<sub>2</sub>S-binder in de oliewinning wordt gebruikt en biocide aan het productiewater wordt toegevoegd. De biocide wordt toegevoegd om koolstofstalen materialen (skids en flowlines) te beschermen. De overige varianten geven de mogelijkheden weer van reductie van deze en andere stoffen.

2. Bij variant 4.2 wordt de toevoeging van biocide aan het productiewater geminimaliseerd. Voor de afvoer van productiewater naar de Schoonebeek locatie zijn aansluitingen op de pijpleiding nodig, gemaakt van GRE<sup>23</sup>. De skids en flowlines worden dan gemaakt van duplex in plaats van koolstofstaal. Deze minimale biocide wordt toegevoegd om duplex materialen (skids en flowlines) te beschermen. Door minimaal gebruik van biocide zullen er reparaties nodig zijn tijdens de levensduur van deze installatieonderdelen.
3. Bij variant 4.3 vindt verdere verbetering van de waterkwaliteit plaats, door de toevoeging van H<sub>2</sub>S-binder te minimaliseren. H<sub>2</sub>S 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.

Tabel 7-4. Overzicht reductie mijnbouwhulpstoffen bij de varianten van Alternatief 4. Daarbij is de gemiddelde verwachte waarde opgegeven

Mijnbouwhulpstoffen	eenheid	Variant 4.1	Variant 4.2	Variant 4.3
Anti-corrosievloeistof	Ton/jaar	66	66	66
Biocide	Ton/jaar	438	2,6	2,6
Emulsiebreker	Ton/jaar	4	4	4
H <sub>2</sub> S-fbinder	Ton/jaar	131	131	0
<b>Totaal</b>	<b>Ton/jaar</b>	<b>639</b>	<b>204</b>	<b>73</b>

De varianten vragen de volgende aanpassingen:

- Variant 4.1. Aanleg Schoonebeek gasveld: 4 nieuwe putten, aansluitingen (piping/ 4 skids) en korte stukjes pijpleiding.
- Variant 4.2. Additioneel ten opzichte van 4.1: eenmalig vervangen van koolstofstaal door duplex materiaal van twee injectie skids, die anders langzaam zouden corroderen als er weinig biocide wordt gebruikt. Door minimaal gebruik van biocide zullen er reparaties nodig zijn gedurende de levensduur van deze installatieonderdelen.
- Variant 4.3. Additioneel ten opzichte van 4.1: vervangen infield pijpleiding door ander materiaal omdat geen H<sub>2</sub>S-binder gebruikt wordt.

## 7.5.2 Afvoer productiewater naar injectielocaties

Voor waterinjectie wordt uitgegaan van een debiet van circa 3.000 m<sup>3</sup> per dag, naar het Schoonebeek gasveld afgevoerd. Nieuwe stukken transportleiding naar mogelijk drie locaties (SCH313, SCH447 en SCH580) worden aangelegd. Naar SCH580 zal een langer stuk pijpleiding worden aangelegd, omdat de twee bestaande leidingen niet geschikt zijn (te lage druk en te kleine diameter). 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 zoals dat ook wordt gedaan in de huidige transportleidingen, met 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.

<sup>23</sup> Duplex staal (heeft het koolstof staal vervangen) wordt nog alleen toegepast op de injectiekids en flowlines naar de putten. De pijpleidingen worden van corrosieresistent materiaal gemaakt (GRE).

### 7.5.3 Waterinjectie

De putten en putlocaties in het Schoonebeek gasveld zullen aangepast moeten worden. Na goedkeuring van de putintegriteit door SodM kunnen deze putten voor waterinjectie benut worden. Tevens worden er twee nieuwe putten geboord. Indien een bestaande put niet geschikt blijkt, zal een extra nieuwe put geboord worden.

Bij de Drenthevelden zijn reeds aanvullende versnellingsmeters geplaatst.

## 7.6 Referentiesituatie: Huidige situatie waterinjectie in Twente (update t.o.v. 2016)

### **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**

In de referentiesituatie vindt waterinjectie plaats in de putten ROW-5 en ROW-7. Deze hebben voldoende injectiecapaciteit en opslagvolume. Echter, in geval van onderhoud aan of uitval van een put kan niet al het water opgenomen worden in de andere put. Dit gebrek aan reservecapaciteit is operationeel niet optimaal en daarmee een ongewenste situatie.

### **Waterzuivering**

In de referentiesituatie vindt er na de waterscheiding bij de OBI verwijdering van tolueen (en andere koolwaterstoffen) plaats. Omdat de tolueenconcentratie hoger is dan de vergunningswaarde, is een actief kool filter geplaatst. 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 m<sup>3</sup> per dag) naar waterinjectielocaties van het Rossum-Weerselo veld.

## 8 Toetsingsmethodiek: CE-afwegingsmethodiek

### 8.1 Inleiding

In het MER 2006 is voor het vergelijken van de alternatieven voor de verwerking van productiewater de zogenaamde CE-afwegingsmethodiek toegepast. De CE-afwegingsmethodiek zet de verschillende aspecten voor het maken van een keuze naast elkaar, zoals belasting van het milieu, risico's en kosten. De methodiek leidt niet tot een specifiek voorkeursalternatief, maar zorgt ervoor dat de gevolgen van keuzes inzichtelijk worden gemaakt. In dat opzicht zijn er parallellen te vinden met de m.e.r.-systematiek. In dit hoofdstuk is de afwegingsmethodiek toegelicht, inclusief de aanpassingen die vanuit voortschrijdend inzicht zijn gemaakt.

In paragraaf 8.2 is de totstandkoming van de CE-afwegingsmethodiek in 2004 toegelicht en in paragraaf 8.3 de CE-afwegingsmethodiek zelf. Tenslotte is in paragraaf 8.4 beschreven hoe de uitgebreide CE-afwegingsmethodiek in dit onderzoek is meegenomen.

### 8.2 Totstandkoming van CE-afwegingsmethodiek in 2004

De CE-afwegingsmethodiek is in 2004 door CE Delft opgesteld. Aanleiding was de constatering dat de bestaande wetgeving met betrekking tot het verwerken van waterstromen bij olie- en gaswinning niet in detail was uitgewerkt. Vooral de vraag wanneer injectie in de diepe ondergrond is toegestaan en wanneer bovengrondse verwerking de voorkeur heeft, werd in de toenmalige wetgeving niet afdoende onderbouwd. Dit zorgde voor verschillende interpretaties, discussies en juridische procedures [Ref. Met water de diepte in, CE, 2004].

In 2004 gaf het Landelijk Afvalbeheer Plan (LAP) aan dat het mogelijk is om een vergunning te verlenen voor waterinjectie, als door onderzoek kan worden aangetoond dat het milieu hygiënisch gezien de voorkeur verdient of dat de kosten van alternatieven niet in verhouding staan tot de milieu hygiënische voordelen.

In een milieueffectrapport (MER) komen alleen de milieueffecten in de biosfeer aan bod. Aangezien waterinjectie vrijwel geen effect heeft op de biosfeer doordat het water in de diepe ondergrond terecht komt, scoort waterinjectie in een regulier MER altijd beter dan alternatieven waarbij het productiewater in de biosfeer wordt verwerkt. Om te komen tot een meer gebalanceerde afweging, heeft CE Delft samen met de bevoegde gezagen en experts uit het werkveld, een breder afwegingskader ontwikkeld [Ref. Met water de diepte in, CE, 2004]. Om de gevolgen van waterinjectie op de ondergrond mee te nemen in de afweging, zijn in het bredere afwegingskader naast milieu en kosten ook de risico's voor de korte termijn (tijdens de uitvoering) en lange termijn meegenomen (mogelijke gevolgen voor volgende generaties). De methodiek waarmee dit afwegingskader wordt toegepast, is vervolgens bekend geworden onder de naam CE-afwegingsmethodiek.

### 8.3 Toelichting CE-afwegingsmethodiek

De methodiek bestaat uit drie stappen (zie Figuur 8-1):

- CE-afwegingskader: toetsing randvoorwaarden waterinjectie (zie Hoofdstuk 9). Voor waterinjectie zijn er randvoorwaarden aan de waterstroom en de te gebruiken reservoirs. Vragen die worden onderzocht zijn:
  - Om welke waterstromen gaat het (betreft het alleen water uit de diepe ondergrond of vindt er menging plaats met andere waterstromen van de productielocatie?)
  - Is het reservoir geschikt en eventueel al bestemd voor alternatief gebruik?

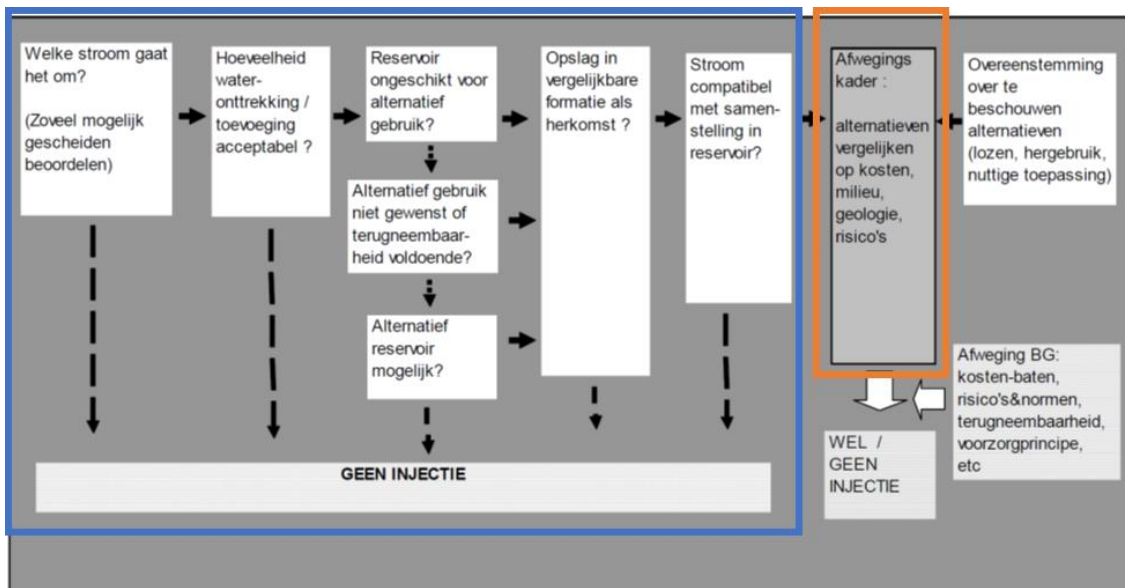
- Is het opgeslagen water terugneembaar?
- Vindt de opslag plaats in een vergelijkbare formatie als de herkomst?
- Is de samenstelling van de te injecteren stroom compatibel met de samenstelling in het reservoir?

Indien aan de voorwaarden wordt voldaan, kan een waterstroom en reservoir in aanmerking komen om onderdeel uit te maken van de zogenaamde doelmatigheidstoets.

- CE-afwegingskader: uitvoering doelmatigheidstoets (zie Hoofdstuk10). Voor alle alternatieven wordt de milieueffecten, risico's en kosten in beeld gebracht.
  - Milieueffecten: hierbij wordt gebruik gemaakt van de Levens Cyclus Analyse (LCA). In dit onderzoek op hoofdlijnen wordt een beperkte vorm gehanteerd, waarbij de nadruk ligt op de benodigde energie, het gebruik van chemicaliën en de hoeveelheid te verwerken restproduct.
  - Risico op korte en lange termijn
  - Kosten.

De doelmatigheidstoets geeft een beeld van de gevolgen van ieder alternatief en kunnen onderling worden vergeleken.

- 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. De methode doet geen uitspraak over voorkeuren voor alternatieven. Het is aan de initiatiefnemer en het bevoegd gezag om de keuzes te maken.



Figuur 8-1. Stappenschema van het CE-afwegingsmethodiek (met de blauwe lijn zijn de stappen van de randvoorwaardentoets aangegeven en met de oranje lijn de stappen van de doelmatigheidstoets).

## 8.4 Toepassing CE-afwegingsmethodiek

Nieuwe technische mogelijkheden, die sinds de ontwikkeling van de CE-afwegingsmethodiek in 2004 zijn ontwikkeld, kunnen worden ingepast in de CE-afwegingsmethodiek. Ook verandering in kosten of risico's kunnen in de afweging worden meegenomen.

Een belangrijk verschil ten opzichte van 2004 is het verzoek om de publieke acceptatie te koppelen aan de CE-afwegingsmethodiek. Iedere benutting van de ondergrond brengt een bepaalde mate van onzekerheid met zich mee. Deze onzekerheid heeft tot voor kort geen belemmering opgeleverd bij de winning van delfstoffen.



Sinds onder meer de discussie over CO<sub>2</sub>-opslag bij Barendrecht is er geleidelijk aan steeds meer weerstand ontstaan tegen verschillende vormen van ondergrondse benutting. Daarbij worden risico's en perceptie van risico's als redenen aangevoerd om activiteiten niet uit te voeren. De CE-afwegingsmethodiek doet geen uitspraken over de gevoelens van onrust bij de bevolking, hoewel dit voor het realiseren van projecten wel van belang is. Om aan deze gevoelens van zorg recht te doen, wordt hier aanvullend aandacht aan besteed.

Een deel van de zorgpunten worden in de CE-afwegingsmethodiek in de vorm van mogelijke risico's meegenomen en zo goed mogelijk beantwoord. Voor de benutting van de ondergrond blijft er een onzekerheid, doordat de ondergrond niet zo zichtbaar is als de bovengrond. Veranderingen kunnen mogelijk pas later worden gesignaleerd en het is sowieso erg lastig om voor de langere termijn met zekerheid uitspraken te doen.

In essentie gaat het er om welke mate van onzekerheid acceptabel is. Indien 100% zekerheid wordt gevraagd, is iedere activiteit onmogelijk en daarmee ook de benutting van de ondergrond. Het niet benutten van de ondergrond kan er echter toe leiden dat er meer activiteiten bovengronds in de biosfeer moeten worden uitgevoerd, eveneens met risico's. Vooralsnog wordt er daarom van uitgegaan dat een beperkte mate van onzekerheid wordt geaccepteerd, mits eventuele gevolgen beperkt en beheersbaar zijn.

## 9 Toetsing randvoorwaarden waterinjectie

### 9.1 Inleiding

De eerste stap van de CE-afwegingsmethodiek kijkt alleen naar de alternatieven met waterinjectie. Dat zijn Alternatief 3 (Circulair alternatief met waterinjectie in aquifer van het Schoonebeek olieveld), Alternatief 4 (Waterinjectie in Drenthevelden) en de referentiesituatie (Waterinjectie in Twente). Bij de eerste stap van de CE-afwegingsmethodiek wordt nagegaan of de waterstroom in aanmerking komt voor opslag in ondergrondse reservoirs (toets waterstroom). Daarna wordt bepaald in hoeverre beschikbare reservoirs in aanmerking komen voor waterinjectie. Tot slot wordt nagegaan of de samenstelling van het te injecteren water geschikt is voor de opslag in een specifiek reservoir (aangeduid als compatibiliteit of bodemeigenheid).

### 9.2 Toetsing randvoorwaarden

De geselecteerde waterinjectiereservoirs en putten uit Hoofdstuk 6 (paragraaf 6.2) beperken het risico van aardbevingen en zoutoplossing. Deze reservoirs zijn getoetst aan de randvoorwaarden voor de CE-afwegingsmethodiek:

- Toets van de waterstroom
- Hoeveelheid water
- Reservoir afweging (ander gebruik, terugneembaarheid, alternatief gebruik)
- Opslag in vergelijkbare formaties als herkomst
- Waterstroom compatibel met samenstelling reservoirs

#### **Toets van de waterstroom, welke waterstromen injecteren?**

Bij deze toets is beoordeeld welke waterstromen samen in het te injecteren water terecht zijn gekomen. Dat heeft te maken met het toevoegen van waterstromen die naast het productiewater zijn ontstaan bij de oliewinning. De toets gaat na in hoeverre het nodig en wenselijk is aanvullende waterstromen te laten meeliften met het productiewater. Bij voorkeur wordt alleen van productiewater uitgegaan, tenzij het toevoegen van andere waterstromen aantoonbaar wenselijk is.

Bij Alternatief 3 en 4 en de referentiesituatie vindt alleen injectie plaats van productiewater, waarin zich formatiewater en condensaatwater bevindt, met in meerdere of mindere mate mijnbouwhulpstoffen toegevoegd. Er worden bij geen van de alternatieven andere waterstromen aan het te injecteren water toegevoegd. Er is daarom geen afweging nodig ten aanzien van andere waterstromen.

#### **Hoeveelheid water acceptabel**

Gedurende de gehele winperiode wordt circa 56 miljoen m<sup>3</sup> zoetwater uit de biosfeer onttrokken, doordat het effluent van de Rioolwaterzuivering niet in het oppervlaktewater komt, maar voor stoominjectie in de ondergrond wordt gebruikt. Bij de olieproductie komt gedurende deze periode circa 80 miljoen m<sup>3</sup> water vanuit de ondergrond terug naar de biosfeer. Bij het Alternatief 4 en de referentiesituatie wordt het water opgeslagen in de injectiereservoirs, zodat netto 56 miljoen m<sup>3</sup> water uit de biosfeer is onttrokken. In het MER 2006 is aangegeven dat dit gedurende de gehele winperiode acceptabele hoeveelheden zijn.

Inmiddels is na 10 jaar productie de verwachte hoeveelheid productie afgenomen tot circa 75 miljoen m<sup>3</sup> water. Bij Alternatief 3 wordt het productiewater ingedikt tot circa een kwart van het geproduceerde water.

Dit komt erop neer dat van de 75 miljoen m<sup>3</sup> circa 19 miljoen m<sup>3</sup> weer wordt geïnjecteerd en circa 56 miljoen m<sup>3</sup> schoon water geschikt is voor stoomproductie of lozing op het oppervlaktewater. Hiermee zorgt Alternatief 3 ervoor dat er netto geen water meer aan het oppervlaktewatersysteem wordt onttrokken.

### **Toetsing benutting reservoirs**

#### *Alternatief gebruik voor reservoir (strategische reservering andere toepassingen)*

De geselecteerde reservoirs zijn ook geschikt voor andere benuttingsmogelijkheden. Daarbij wordt gedacht aan de buffering van aardgas of de opslag van CO<sub>2</sub>. In de Structuurvisie Ondergrond van de provincie Drenthe [Ref. Provincie Drenthe, 2013], worden de reservoirs Schoonebeek Gas, Coevorden en Oosterhesselen genoemd als strategisch gereserveerd voor CO<sub>2</sub>-opslag. Binnen de provincie Drenthe zijn nog meer reservoirs strategisch gereserveerd, zodat gebruik van de reservoirs voor waterinjectie niet wordt uitgesloten.

#### *Terugneembaarheid*

Het productiewater wordt volgens deze alternatieven geïnjecteerd in een leeg geproduceerd gasreservoir met onderdruk ten opzichte van de omgeving. Daardoor zal het water in het reservoir aanwezig blijven. Indien noodzakelijk is het mogelijk het water hier weer uit te pompen. In dat geval zal het terug te winnen geïnjecteerde water gemengd zijn met het nu nog aanwezige formatiewater in het reservoir.

#### *Alternatief reservoir bruikbaar*

Er zijn alternatieve reservoirs beschikbaar. Er heeft een afweging plaatsgevonden tussen de reservoirs, waarbij de bij Alternatief 3 en 4 genoemde reservoirs als voorkeur naar voren zijn gekomen.

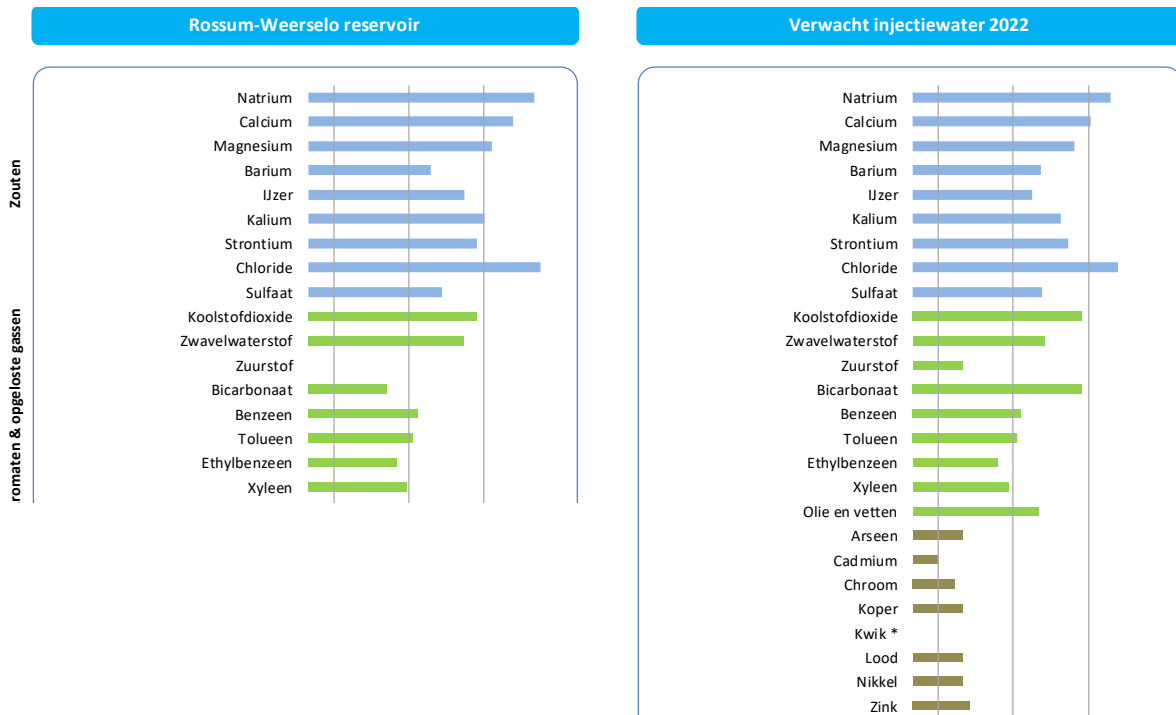
### **Toetsing type opslagformaties**

Waterinjectie vindt voor Alternatief 4 en de referentiesituatie plaats in de Zechstein kalksteenformaties. Deze zijn in het MER 2006 getoetst. De vergelijkbaarheid van formaties heeft er mee te maken dat voorkomen moet worden dat er ongewenste chemische reacties gaan ontstaan in het reservoir, waardoor de sterkte en integriteit van het gesteente kan worden aangetast. Hierbij wordt als criterium aangehouden dat formaties vergelijkbaar zijn, niet dat het om dezelfde formatie dient te gaan. Het productiewater is afkomstig uit Bentheim zandsteen en wordt geïnjecteerd terug in het reservoir (Alternatief 3) of in Zechstein kalksteenformaties (Alternatief 4).

De formatie waar het water wordt geïnjecteerd komt blijkt uit een andere geologische tijd. Het formatiewater is afkomstig uit een zandsteenformatie en wordt geïnjecteerd in een kalksteenformatie (hoofdzakelijk bestaande uit dolomiet). De formaties komen overeen in die zin dat ze beide poreus zijn met een relatief hoge doorlatendheid en met water, deels olie en gas gevuld zijn geweest. De formaties worden afgesloten door een ondoorlatende laag, getuige het feit dat olie / gas al miljoenen jaren opgeslagen is.

### **Toetsing compatibiliteit water en reservoirs**

In de leeg geproduceerde gasvelden bevindt zich nog oorspronkelijk formatiewater. Dit water bevat veel zouten en andere stoffen, min of meer vergelijkbaar met het water in de oliereservoirs. Dit is in ieder geval geen schoon water dat als drinkwater bruikbaar zou kunnen zijn.



Figuur 9-1. Overzicht van het reservoirwater in Rossum Weerselo in Twente (links) en het injectiewater (rechts). De grijze balken geven aan dat meetgegevens ontbreken.

De samenstelling van het te injecteren water verschilt per alternatief, afhankelijk van de waterzuivering. Bij het Circulair Alternatief 3 vindt brijninjectie plaats, met veel hogere concentraties zouten in het te injecteren water ten opzichte van Alternatief 4 (Drenthevelden) en de referentiesituatie. De mate waarin uit het productiewater door waterzuivering stoffen zijn verwijderd, verschilt per alternatief en variant.

Het te injecteren water bestaat uit productiewater afkomstig uit het reservoir, zonder aanvullend toegevoegde waterstromen. Dit injectiewater bestaat als gevolg hiervan uit formatiewater verdund door gecondenseerde stoom, met daarnaast:

- Reservoiirstoffen (uit het oliereservoir);
- Toegevoegde mijnbouwhulpstoffen.

De toets op compatibiliteit van het te injecteren water met het al aanwezige water in het reservoir, laat variatie zien in de samenstelling van het te injecteren water en onzekerheid bij de waterkwaliteit van het water in het reservoir. Als gevolg hiervan zal het te injecteren water enigszins afwijken van het al aanwezige formatiewater in het injectiereservoir. In het injectiereservoir komen naar verwachting dezelfde stoffen voor maar in hogere of lagere concentraties (op de mijnbouwhulpstoffen na).

De Zechsteinformaties bestaan uit kalkgesteente. De sterkte en structuur van deze gesteenteformaties zullen gezien de samenstelling van het te injecteren water, niet door waterinjectie worden aangetast. Daarmee is er ten aanzien van compatibiliteit waterinjectie mogelijk.

### 9.3 Resultaat toetsing randvoorwaarden

De voorgestelde reservoirs en de waterstroom voor Alternatief 3 en 4 en de referentiesituatie voldoen aan de randvoorwaarden uit de CE-afwegingsmethodiek, onder de volgende voorwaarden:

- De waterstroom bestaat uitsluitend uit productiewater, met toevoegingen bedoeld voor bescherming van de materialen.
- Reservoirs kunnen voor alternatief gebruik worden ingezet, zoals gasopslag of CO<sub>2</sub>-opslag. In de omgeving zijn echter veel meer reservoirs beschikbaar waar eveneens gasopslag of CO<sub>2</sub>-opslag mogelijk is, zodat de benutting van deze reservoirs tot slechts geringe beperkingen in de toekomst zal leiden.
- De reservoirs hebben vergelijkbare eigenschappen met het oliereservoir in de zin van aanwezigheid van water en koolwaterstoffen (zoals gas en olie), ten aanzien van de ondoorlatendheid van de afdekkende laag en de poriën waardoor voldoende doorlatendheid in het reservoir beschikbaar is.
- De reservoirs en putten zijn zodanig gekozen dat risico van aantasting van het gesteente, oplossing van zoutlagen of het induceren van aardbevingen niet waarschijnlijk is.

## 10 Doelmatigheidstoets

### 10.1 Inleiding

Het tweede deel van de CE-afwegingsmethodiek bestaat uit het in beeld brengen van de gevolgen voor milieu, de risico's op korte en lange termijn en de verwachte kosten. Er is hiervoor een maatgevende situatie van 2023 gekozen, aan het begin van de periode dat de oliewinning naar verwachting weer operationeel is.

### 10.2 Toetsing milieu

In de CE-afwegingsmethodiek worden de milieuaspecten getoetst met een Levenscyclusanalyse (LCA). Hierin wordt berekend wat de impact is van verschillende alternatieven op aspecten zoals broeikas effecten, toxicologische effecten, bijdrage aan vermisting en verzuring, energieverbruik en waterverbruik.

Milieuaspecten dienen binnen de gebruikelijke normen te blijven. Zoals in het MER 2006 al is aangegeven, heeft dat bij de waterzuivering vooral te maken met geluid binnen de geluidsnormen en lozing van water op het oppervlaktewater. Bij watertransport is vooral in de aanlegfase het beperken van schade door vergraving van belang, voor de bodem, het grondwater, natuur en mogelijk archeologie. Voor lozing van zout water in de Eems is het van belang dat aan de waterkwaliteitseisen wordt voldaan. In het MER 2006 zijn deze milieuaspecten uitgewerkt. Voor deze Herafweging is ervan uitgegaan dat bij alle alternatieven milieueffecten optreden, maar dat dit niet zal leiden tot het afwijzen van alternatieven. Als een alternatief geselecteerd wordt en in detail wordt uitgewerkt, zullen deze milieuaspecten alsnog in detail aan bod komen.

De toetsing in de Herafweging is uitgevoerd op de factoren, die bij ook bij de Herafweging 2016 bepalend waren voor de uitkomst. Deze factoren zijn:

- Verwacht energieverbruik (de hoeveelheid benodigde energie);
- Hoeveelheid reststoffen;
- Gebruik chemicaliën.

Vergelijking van alternatieven op basis van deze drie factoren geeft een indicatie van de verhouding in milieubelasting van de verschillende alternatieven. De classificatie in scores van 0, - en - - zijn relatief om onderscheid tussen de verschillende alternatieven en varianten zichtbaar te maken.

#### 10.2.1 Energieverbruik

Het benodigde energieverbruik per alternatief geeft een belangrijke bijdrage aan de milieubelasting. De energie wordt nog deels (elektriciteit) of vrijwel uitsluitend (stoom) opgewekt op basis van fossiele energie en dat is een milieubelastende activiteit, onder meer door de emissies van CO<sub>2</sub>. Het energieverbruik is uitgedrukt in TJ/jaar (TJ staat voor Terajoule, 10<sup>16</sup> Joule) aan primaire energie. Bij de bepaling van het primaire energieverbruik is - net als bij Herafweging 2016 - elektriciteit met een factor 2,4 is vermenigvuldigd en stoomgebruik met een factor 1,1 volgens de rendementen voor opwekking met de referentie technologieën. De factoren zijn overgenomen uit het Protocol Monitoring Hernieuwbare Energie (RVO, 2015)<sup>24</sup>.

<sup>24</sup> De referentie technologieën zijn stoomproductie met een aardgasgestookte stoomketel en elektriciteitsproductie door grootschalige energiecentrales, zoals dat in 2013-2015 operationeel was. De factoren vertegenwoordigen de hoeveelheid fossiele energie die nodig is om 1 eenheid elektriciteit of stoom te produceren. De factoren veranderen met toenemende verduurzaming van

### Verwacht energiegebruik bij beschouwde alternatieven

Er is vooral veel energie nodig bij een waterzuivering waarbij via indamping alle stoffen uit het water worden verwijderd. In mindere mate is er energie nodig bij waterzuivering voorafgaand aan het lozen en het injecteren van water. Bij het indikken van het productiewater middels membraantechnologie is eveneens in beperkte mate energie nodig.

Bij transport en opslag in de referentiesituatie en Alternatief 4 wordt het energieverbruik bepaald door de benodigde injectiedruk in de putten (hierbij is uitgegaan van circa 8 Wh<sub>e</sub>/m<sup>3</sup> aan pompvermogen). Er lijkt nauwelijks verschil in energieverbruik tussen waterinjectie in Twente (lagere velddruk, meer drukverlies bij transport) en waterinjectie in Drenthe (hogere velddruk, nieuwe pijpleiding). Afwijking tussen beide varianten zal circa 10% bedragen. De huidige inschatting van de druk voor watertransport en -injectie bedraagt 70 bar. Vooralsnog vindt waterinjectie plaats met relatief weinig energie. Dit geeft minder milieubelasting dan bijvoorbeeld lozen van gezuiverd productiewater.

In onderstaande tabel zijn de bevindingen opgenomen per alternatief. Hierbij is onderscheid gemaakt naar het energieverbruik bij de waterzuivering, het transport en de verwerking via opslag, lozing of waterinjectie. In Tabel 10-1 is in de onderste rij met een relatieve score een classificatie aangebracht. De benodigde hoeveelheid energie laat zich in twee groepen verdelen, zoals in de classificatie is weergegeven.

Tabel 10-1. Overzicht energieverbruik per alternatief

Energieverbruik (TJ/jaar)	Alternatief 1: Zoutproduct	Alternatief 2: Zoutwater	Alternatief 3: Brijninjectie	Alternatief 4: Waterinjectie	Referentie
Zuivering	749	14	39	0	0
Transport	0	0	0	0	0
Opslag / injectie / lozing	0	3	10	41	41
<b>Totaal</b>	<b>749</b>	<b>17</b>	<b>49</b>	<b>41</b>	<b>41</b>
<b>Relatieve score</b>	- -	<b>0</b>	-	-	-

### Verwachte energiegebruiken bij (geoptimaliseerde) varianten

Bij de alternatieven zijn varianten doorgerekend. Het energieverbruik bij de varianten van Alternatief 4 is vergelijkbaar met het beschouwde alternatief.

## 10.2.2 Hoeveelheid reststoffen

De hoeveelheid reststoffen en het type reststoffen is bepalend voor de mogelijkheid van hergebruik of de noodzaak te storten. Een deel van de reststoffen wordt afgevoerd naar zee of opgeslagen in de reservoirs. Voor de verwerking van reststoffen, die niet worden geloosd of geïnjecteerd, wordt in het verlengde van de Ladder van Lansink bepaald, dat na preventie de voorkeur ligt bij hergebruik. Als laatste en minst wenselijke optie geldt het verbranden of storten van afval. Als negatief effect voor de omgeving en het milieu geldt daarom vooral de hoeveelheid te storten reststoffen.

In Tabel 10-2 zijn de hoeveelheden reststoffen per alternatief weergegeven, uitgedrukt in ton per jaar. Uit de tabel blijkt dat er duidelijke verschillen tussen de alternatieven zijn. In de tabel is met een relatieve score een classificatie aangebracht. Daar waar de reststoffen of de verwerking van reststoffen binnen de reguliere bedrijfsvoering mogelijk is, wordt een score van 0 aangehouden.

*de productie van elektriciteit en stoom. Ter vergelijking door het in de afgelopen jaren toegenomen aandeel hernieuwbare energie in elektriciteitsproductie zou de vermenigvuldigingsfactor voor elektriciteit anno 2019 1,7 zijn (PBL, 2021).*

Dit is het geval bij waterinjectie voor Alternatief 4 en de referentiesituatie. Bij Alternatief 3 moeten reststoffen gestort worden, waardoor een score van – geldt. Bij lozing van zoutwater op zee in Alternatief 2, geldt dat er een beperkte hoeveelheid reststoffen, binnen de lozingsnormen, effect op het ontvangende water kunnen hebben. Daarnaast is er een beperkte te lozen fractie, waardoor een score van – geldt. Positief bij dit alternatief is dat er kalksteen geproduceerd wordt, wat nuttig toegepast kan worden. Hierdoor worden milieugevolgen van kalksteenproductie op alternatieve wijze voorkomen. Bij het storten van vast zout zullen specifieke maatregelen nodig zijn, waarvoor de score - - is gegeven.

Tabel 10-2. Overzicht reststoffen per alternatief

Reststoffen Ton per jaar	Alternatief 1: Zoutproduct	Alternatief 2: Zoutwater	Alternatief 3: Brijninjectie	Alternatief 4: Waterinjectie	5: Referentie
Lozing	865	26.507	0	0	0
Injectie	0	0	26.715	28.078	28.078
Hergebruik	73	1.516	0	0	0
Storten	27.433	113	1.363	0	0
<b>Relatieve score</b>	<b>- -</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>0</b>	<b>0</b>

Bij de alternatieven zijn varianten doorgerekend. Bij Alternatief 4 geldt dat er geen verschil zal zijn tussen de varianten in de hoeveelheid reststoffen. Voor alle varianten geldt een score van 0.

### 10.2.3 Gebruik chemicaliën

De invloed van het gebruik van chemicaliën is gelegen in het feit dat het stoffen zijn die aangemaakt moeten worden en in veel gevallen geïmporteerd. Veel en bijzondere chemicaliën geven daarvoor een zwaardere belasting van het milieu, dan alternatieven waarbij geen chemicaliën nodig zijn. Er is onderscheid gemaakt tussen eenvoudige en complexe chemicaliën. De gedachte daarbij is dat de productie en het gebruik van complexe chemicaliën een groter negatief effect per geconsumeerde eenheid heeft op het milieu. Als benadering is er van uit gegaan dat veelvuldig gebruikte chemicaliën gemakkelijk produceerbaar en verkrijgbaar zijn, terwijl voor fijnchemische producten meerstaps productieketens met energie-intensieve stappen en toxische grondstoffen en halfabricaten nodig zijn.

In onderstaande tabel is voor alle alternatieven aangegeven in hoeverre naar verwachting gebruik wordt gemaakt van eenvoudige of complexe chemicaliën. Vooral de mijnbouwhulpstoffen zoals corrosieremmer, H<sub>2</sub>S-binder en biociden geven een grotere hoeveelheid complexe chemicaliën, die als minder wenselijk vanuit milieubelasting worden gezien. In de tabel is met een relatieve score een classificatie aangebracht. De benodigde hoeveelheid complexe chemicaliën is als maatgevend aangehouden voor de milieubelasting. Er zijn drie groepen zichtbaar, bij de waterinjectie alternatieven zijn veel complexe chemicaliën nodig, bij waterlozing weinig tot niet.

Tabel 10-3. Overzicht gebruik chemicaliën per alternatief

Chemicaliën Ton per jaar	Alternatief 1: Zoutproduct	Alternatief 2: Zoutwater	Alternatief 3: Brijninjectie	Alternatief 4: Waterinjectie (varianten 1,2,3)	5: Referentie
Eenvoudig	1.215	1.024	546	0	0
Complex	47	1	204	689 / 204 / 73	204
<b>Totaal</b>	<b>1.266</b>	<b>1.036</b>	<b>750</b>	<b>689 / 204 / 73</b>	<b>204</b>
<b>Relatieve score</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>-</b>	<b>- - / - / -</b>	<b>-</b>



Bij de alternatieven zijn varianten doorgerekend. Bij Alternatief 4 hebben de varianten wel een verschillend effect op het gebruik van chemicaliën, vooral de complexe chemicaliën. Doordat bij variant 4.2 minimaal biocide wordt gebruikt, neemt de hoeveelheid af van 689 ton per jaar, tot 204 ton per jaar. Bij variant 4.3 wordt geen biocide toegepast en eveneens geen H<sub>2</sub>S-binder. De hoeveelheid complexe chemicaliën neemt verder af tot 73 ton per jaar. De afname van benodigde complexe chemicaliën leiden tot een aangepaste score, hoewel in alle varianten complexe chemicaliën nodig zijn voor corrosie-remmer. De score voor variant 4.2 en 4.3 wordt –.

### 10.2.4 Samenvatting milieueffecten

In onderstaande tabel zijn de classificaties samengebracht. In de tabel zijn de classificaties van varianten aangegeven, tussen haakjes achter de score van het alternatief.

Tabel 10-4. Samenvattend overzicht van de milieueffecten per alternatief (met tussen haakjes de score van varianten).

Milieu	Alternatief 1: Zoutproduct	Alternatief 2: Zoutwater	Alternatief 3: Brijninjectie	Alternatief 4: Waterinjectie (varianten 1,2,3)	5: Referentie
Energieverbruik	--	0	-	-	-
Reststoffen	--	-	-	0	0
Chemicaliën	0	0	-	-- / - / -	-
<b>Totaal Milieu</b>	--	-	-	-- / - / -	-

Om vanuit de afzonderlijke scores tot een totaalscore voor milieu te komen, is vooral gekeken naar de hoeveelheid '- -' scores. Daarmee wordt immers aangeduid dat er een significant negatief milieueffect is. Een score van 0 of een '-' geeft slechts geen of beperkte milieueffecten aan. In het geval van een of meerdere '- -' scores is de totaalscore als '- -' aangegeven. Bij minimaal één '-' score is de totaal score een '-'. Indien alle scores op 0 komen, wordt de totaalscore als '0' gegeven.

Uit de milieuscores blijkt dat Alternatief 1 duidelijk meer negatieve effecten op het milieu heeft dan de andere alternatieven.

## 10.3 Benoemen risico's

Formeel is een risico de kans dat een gebeurtenis optreedt vermenigvuldigd met de gevolgen van de gebeurtenis. In de praktijk wordt een gebeurtenis zelf echter ook veelal als risico aangeduid. In deze rapportage is getracht de ongewenste gebeurtenissen te benoemen, en daarbij een indicatie te geven van de bijbehorend risico's.

### 10.3.1 Omgaan met risico's (veiligheid, gezondheid en milieu)

Risico's hebben betrekking op veiligheid, gezondheid en milieu. Dit zijn allemaal aspecten die horen bij het leven in de biosfeer. Risico's in de diepe ondergrond hebben een andere lading. Als de effecten van een gebeurtenis beperkt blijven tot de diepe ondergrond, geeft dit geen risico voor de biosfeer. De gebeurtenis levert daarmee geen risico's op voor veiligheid, gezondheid en milieu. Alleen als deze effecten op termijn invloed kunnen hebben op het leven in de biosfeer, dan is er sprake van een risico.

Veel van de aangedragen zorgpunten uit de regio hebben betrekking op risico's; gebeurtenissen die onder normale omstandigheden niet zullen optreden, maar waarvan de kans dat ze onverhoopt plaatsvinden mogelijk niet kan worden uitgesloten. De lekkage van de transportleiding, de beschadiging van put ROW-2 en de meetonregelmatigheid bij ROW-4 zijn recente voorbeelden van gebeurtenissen die onder normale omstandigheden niet horen voor te komen, maar uiteindelijk wel zijn opgetreden.

Onderzoek naar risico's vormt een integraal onderdeel van de CE-afwegingsmethodiek, zodat het meenemen van de zorgpunten met betrekking tot risico's in dit onderzoek aansluit op de beschikbare aanpak. Er wordt onderscheid gemaakt naar risico's die kunnen optreden in de operationele fase en lange termijn risico's, die veel later na beëindiging van de activiteiten kunnen optreden. Bij de laatste categorie is het de gedachte dat de volgende generaties niet met de gevolgen van de huidige activiteiten moeten worden geconfronteerd. In de regio Twente is de teerput van Vasse een bekend fenomeen, waar keuzes uit het verleden tot een probleem voor de huidige generatie hebben gezorgd.

De risico's kunnen per alternatief verschillen. Indien productiewater wordt gezuiverd tot schoon zout water voor lozing op zee, zullen er geen risico's zijn die betrekking hebben op ondergrondse opslag, maar mogelijk wel risico's dat er toch verontreinigingen in het zoute water komen en daarmee in zee. Veel risico's komen echter bij meerdere alternatieven voor, zoals het risico dat er opnieuw een lekkage ontstaat in een transportleiding, aangezien alle alternatieven gebruik maken van transportleidingen. Doordat de waterkwaliteit van het te transporteren water per alternatief kan verschillen, geldt dat de gevolgen en daarmee de grootte van het risico verschillend kunnen zijn. Onderstaand is een overzicht gegeven van de risico's die in de Herafweging zijn meegenomen. Vervolgens is aangegeven bij welke alternatieven deze risico's van toepassing zijn, en in hoeverre het korte of lange termijn risico's betreft. In de volgende paragrafen 10.4 (korte termijn) en 10.5 (lange termijn) zijn de risico's getoetst per alternatief.

### 10.3.2 Overzicht risico's per onderdeel

De risico's hebben betrekking op afzonderlijke onderdelen van de alternatieven. De waterstroom volgend zijn dat risico's bij de zuivering, transport, lozing op oppervlaktewater of zee, waterinjectie en de verwerking van restproducten. Afhankelijk van het alternatief komen niet al deze onderdelen voor.

#### Waterzuivering

- Verontreiniging van de omgeving (bodem, lucht, water) door stoffen (korte termijn risico). Als chemicaliën of andere stoffen uit het zuiveringsproces onverhoopt in de ondiepe ondergrond komen, ontstaat bodem- en grondwaterverontreiniging.
- Waterstroom door een lekkage in de zuivering naar het oppervlaktewater (korte termijn risico). Zo kunnen stoffen in het oppervlaktewater komen. Hierdoor wordt het lokale watersysteem aangetast.

#### Watertransport

- Lekkage uit de transportleiding (korte termijn risico, op de lange termijn vindt geen transport meer plaats). Bij lekkage komt water uit de transportleiding in de bodem terecht. Dit kan afhankelijk van het alternatief schoon zoet water zijn, schoon zout water of zout water met aanvullende stoffen. Hierbij is onderscheid te maken naar de plaats waar de lekkage plaatsvindt en in hoeverre zich hier een kwetsbaar natuurgebied of waterwingebied bevindt.

#### Waterlozing in de biosfeer (oppervlaktewater of zee)

- Samenstelling of temperatuur van het te lozen water kan door een procesverstoring in de zuivering tijdelijk afwijken van de normen (korte termijn risico). Hierbij is van belang in hoeverre het lozingspunt nabij een gevoelig gebied ligt, met natuurwaarden of een functie voor benutting van het water.

#### Waterinjectie

- Lekkage bij de injectieputten (korte en lange termijn risico), met als mogelijk gevolg verspreiding van productiewater in de ondergrond richting grondwater, of naar een sloot waar de landbouw gebruik van maakt.

- Lekkage injectiewater uit reservoir (lange termijn risico), waardoor het productiewater zich zou kunnen verspreiden naar omliggende diepe bodemlagen.
- Aantasting zoutlagen boven het reservoir (korte termijn risico, mogelijk lange termijn risico). De Zechstein kalksteenreservoir bevinden zich onder of tussen dikke steenzoutlagen (Haliet). Oplossing van dit zout door het niet verzadigde injectiewater kan leiden tot vermindering van de integriteit van de steenzoutlagen. In de operationele fase zal er steeds nieuw water het reservoir instromen, wat bij contact met zoutlagen tot oplossing kan leiden. Op de langere termijn is er sprake van stilstaand water in het reservoir en zou er alleen een diffusieproces kunnen ontstaan, zoals blijkt uit onderzoeken van de NAM (zie Bijlage A5).
- Aardbevingen (korte en mogelijk lange termijn risico), ten gevolge van de injectie van productiewater. Door een veranderende drukverdeling in de ondergrond zouden hierdoor aanwezige breukzones gereactiveerd kunnen worden.

### Verwerking restproducten

- Transport restproducten (korte termijn risico), als een vrachtwagen met restproducten een ongeluk heeft en de restproducten op de weg, in de sloot of in de lucht komen. Deze toename van transportbewegingen kan de veiligheid van bewoners in gevaar brengen.
- Lekkage van restproducten uit bovengrondse opslag naar het milieu (lange termijn risico). Restproducten zonder een hergebruikfunctie en die niet afgebroken kunnen worden, blijven voor lange tijd opgeslagen in de biosfeer, bij voorkeur in een afgeschermd stortplaats om verontreiniging van de omgeving te voorkomen. Op de lange termijn kunnen deze restproducten alsnog naar de omgeving weglekken.

### 10.3.3 Beschrijving risico's en gevolgen

Bij de beschrijving van de risico's wordt aangegeven wat de mogelijke gevolgen zijn voor gezondheid, veiligheid en milieu. Ook wordt beschreven hoe de kans dat ze optreden minimaal kan worden gemaakt. Hierbij is aandacht voor gerichte monitoring en de mate waarin de gevolgen kunnen worden verwijderd. Dit leidt uiteindelijk tot een inschatting van de grootte van de risico's.

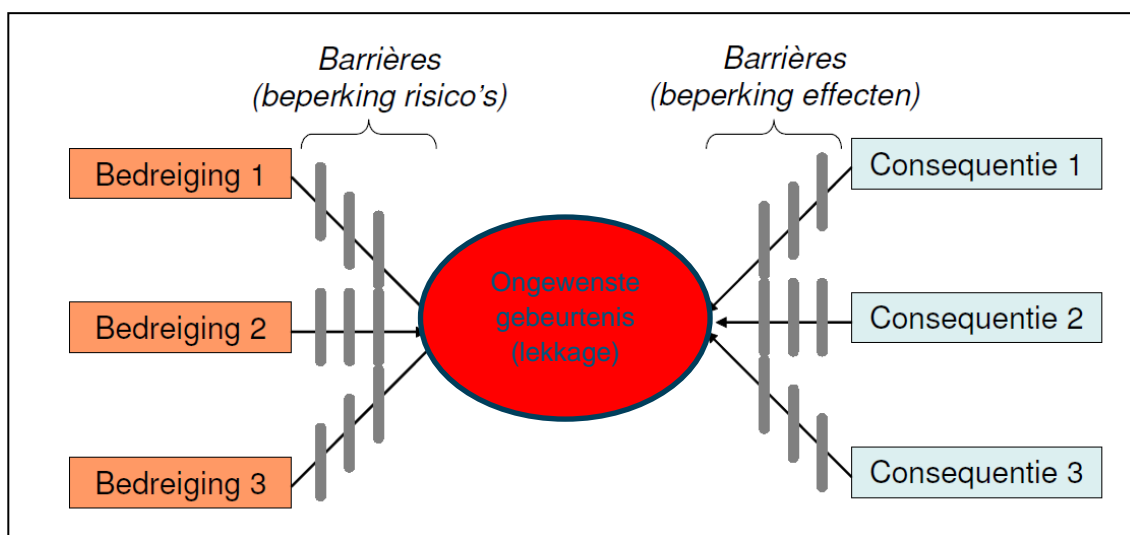
De risicobepaling voor bijvoorbeeld een lekkage in een leiding kan rekenkundig worden bepaald, als externe veiligheid. Vanuit statistische gegevens wordt berekend hoe groot de kans is dat een gebeurtenis optreedt en wat de gevolgen zijn. Dit wordt uitgedrukt in plaatsgebonden risico en groepsrisico. Deze statistische gegevens zijn niet beschikbaar voor de activiteiten in de diepe ondergrond. Er wordt daarom gebruik gemaakt van een kwalitatieve aanpak, waarin voor iedere ongewenste gebeurtenis de mechanismen worden beschreven om de kans te verkleinen én om de gevolgen te beperken.

Om op een systematische manier de risico's van bovengrondse en ondergrondse activiteiten met elkaar te kunnen vergelijken wordt bij de CE-afwegingsmethodiek gebruik gemaakt van de bow-tie methodiek. Dit is een overzichtelijke wijze van het presenteren van oorzaak en gevolg van een risicovolle gebeurtenis, met daarbij ruimte om mitigerende maatregelen aan te geven.

#### Bow-tie methodiek

De bow-tie methodiek geeft inzicht in de mogelijke gebeurtenissen en de mate waarin gevolgen beperkt kunnen blijven. Dit geldt zowel voor de risico's op korte termijn als de risico's op langere termijn. Bij de bow-tie methodiek worden de ongewenste gebeurtenissen benoemd, met daarbij de oorzaken hoe deze kunnen optreden en de gevolgen als het daadwerkelijk gebeurt (zie Figuur 10-1).

Vervolgens worden barrières benoemd, die kunnen voorkomen dat een oorzaak leidt tot de ongewenste gebeurtenis én de barrières die de gevolgen van een dergelijk gebeurtenis beperken. In de onderstaande paragrafen zijn de korte en lange termijn risico's via deze methodiek beschreven.



Figuur 10-1. Schema van de bow-tie methode, waarbij een ongewenste gebeurtenis is geïdentificeerd, de mogelijke bedreigingen die de gebeurtenissen kunnen veroorzaken (links) en de mogelijke consequenties van de gebeurtenissen (rechts). De barrières moeten voorkomen dat een bedreiging echt plaatsvindt (links) en dat de gevolgen van een gebeurtenis zoveel mogelijk beperkt worden (rechts).

## 10.4 Toetsing risico's korte termijn (operationele risico's)

De risico's op korte termijn hebben betrekking op de risico's tijdens de operationele fase. Hierbij wordt de kans bepaald dat een gebeurtenis plaatsvindt en de gevolgen van de gebeurtenis op de omgeving. Per onderdeel van de verwerking van de productiewaterstroom worden deze risico's besproken en gescoord aan de hand van de risicoclassificatie.

### Classificatie risico's korte termijn

De risico's worden beschreven en vervolgens wordt er een classificatie gegeven als indicatie van de omvang van de gevolgen. Dit is een classificatie van gevolgen, waarbij ieder gevolg negatief is of nihil. Als er per onderdeel meerdere risico's worden gescoord, dan wordt de meeste negatieve score opgenomen in de eindscore.

Tabel 10-5. Overzicht classificatie risico korte termijn

Classificatie	Omschrijving / Gevolgen
0	Gevolgen zijn nihil, als er iets gebeurt dan is het binnen de hekken van de mijnbouwlocatie, tijdelijk en herstelbaar
-	Gevolgen zijn buiten de hekken van de mijnbouwlocatie, deze zijn tijdelijk en herstelbaar
--	Gevolgen zijn serieus en acceptatie van het risico is alleen met expliciete monitoring en gerichte acties verantwoord
---	Zonder aanpassing is het risico zo groot dat uitvoering niet verantwoord is

### 10.4.1 Waterzuivering

Waterzuivering vindt in verschillende mate plaats bij de alternatieven. Het type zuivering en de schaal en complexiteit van de waterzuivering verschilt per alternatief. Waterzuivering leidt tot twee categorieën risico's:

- Verontreiniging van de omgeving door stoffen. De waterzuivering bevindt zich op het terrein van de OBI. Indien stoffen vanuit de waterzuivering in de bodem, lucht op het water komen, ontstaat een tijdelijke verontreiniging. Het betreffen geen direct gevaarlijke stoffen, voor de medewerkers of voor de omgeving en er is dus geen veiligheidsrisico. Daarnaast kunnen verontreinigingen in bodem of water gesaneerd worden. Bewoners bevinden zich op minimaal 200 meter afstand van de waterzuivering. Het effect lijkt hiermee binnen de mijnbouwlocatie te blijven, de effecten zijn minimaal, herstelbaar en tijdelijk van aard (**score 0**).
- Waterstroom in oppervlaktewater. In geval van een lekkage kan een deel van de (on)behandelde en mogelijk zoute waterstroom in het oppervlaktewater terecht komen. De verontreiniging kan zich dan over een groter gebied verspreiden en kan het lokale watersysteem aantasten. In de omgeving van de OBI bevindt zich een watergang die door de waterstroom verontreinigd kan raken. Deze kan afgesloten worden zodat verdere verspreiding niet zal plaatsvinden. De verontreiniging is tijdelijk van aard, maar kan mogelijk tot buiten de OBI komen. Indien nodig kan het verontreinigde water weggepompt worden. Vandaar een **enkel negatieve score (-)**.

In het ontwerp van de waterzuivering en bij het functioneren van de waterzuivering zullen voorzorgsmaatregelen getroffen worden, zodat de kans minimaal is dat er een lekkage uit de waterzuivering optreedt. Dit kan conform de reguliere bedrijfstandaard.

Tabel 10-6. Korte termijn risicoscore bij de waterzuivering per alternatief.

Alternatief	Eigenschappen waterzuivering	Risico
Alternatief 1: Vast zout en schoon water lozen	Op 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.	Verontreiniging van de omgeving door stoffen. Effecten blijven binnen inrichting, zijn minimaal, tijdelijk en herstelbaar (score 0). Waterstroom lekt in oppervlaktewater. Effecten zijn tijdelijk van aard en herstelbaar, maar kunnen tot buiten de mijnbouwlocatie komen (score -).
Alternatief 2: Zout water naar de zee	Op het terrein van de OBI wordt een nieuwe waterzuiveringsinstallatie gebouwd. Het productiewater wordt op de OBI zover gezuiverd, dat schoon zout water over blijft.	Verontreiniging van de omgeving door stoffen. Effecten blijven binnen inrichting, zijn minimaal, tijdelijk en herstelbaar (score 0). Waterstroom lekt in oppervlaktewater. Effecten zijn tijdelijk van aard en herstelbaar, maar kunnen tot buiten de mijnbouwlocatie komen (score -).
Alternatief 3: Circulair alternatief	Het productiewater wordt behandeld met ontzoutingstechnieken waarbij een schoon effluent en een geconcentreerde afvalstroom (brijn) vrijkomen. De ontzoutings- en zuiveringsinstallaties worden nabij de OBI-locatie in Schoonebeek gebouwd.	Verontreiniging van de omgeving door stoffen. Effecten blijven binnen inrichting, zijn minimaal, tijdelijk en herstelbaar (score 0). Waterstroom lekt in oppervlaktewater. Effecten zijn tijdelijk van aard en herstelbaar, maar kunnen tot buiten de mijnbouwlocatie komen (score -).
Alternatief 4: Waterinjectie Drenthe	Bij dit alternatief is geen sprake van waterzuivering.	Geen waterzuivering (score 0).
5: Referentiesituatie	Bij de referentiesituatie is geen sprake van waterzuivering.	Geen waterzuivering (score 0).

#### 10.4.2 Watertransport (alle alternatieven, verschillende leidingmaterialen, verschillende watersamenstelling)

Watertransport vindt plaats bij alle alternatieven. De afstand, het type transportleiding en de mate waarin watertransport langs kwetsbare gebieden plaats vindt, verschilt per alternatief. Watertransport leidt tot het risico van lekkage uit de leiding:

- Lekkage uit de transportleiding leidt tot aantasting van de bodem in de directe omgeving. Om te voorkomen dat een lekkage optreedt, kunnen verschillende maatregelen worden genomen. Nabij kwetsbare gebieden zoals natuur- en waterwingebieden, zal extra bescherming nodig zijn of een aangepaste route voor de transportleiding. Bescherming van de transportleiding tegen aantasting van binnenuit vindt plaats door de materiaalkeuze van de leiding en indien nodig de toevoeging van anti-corrosiemiddel, biocide en H<sub>2</sub>S-binder. Externe factoren kunnen de transportleiding ook beschadigen, zoals graafwerkzaamheden door derden. Om dit risico te beperken zijn er standaardregels voor buisleidingen en graafwerkzaamheden (zoals meldingsplicht).
- Als een lekkage optreedt zijn er maatregelen om de effecten te beperken. Door monitoring van de druk in de transportleiding kunnen (grote) lekkages snel gedetecteerd worden. Het leidingtraject wordt periodiek geïnspecteerd en lokaal zijn terreinbeheerders en agrariërs op de hoogte van de ligging van het traject, zodat lekkages kunnen worden opgemerkt en doorgegeven. In geval van een lekkage wordt de verontreinigde bodem gesaneerd, zodat de verontreinigingen opgeruimd worden. Het risico op lekkage is hiermee tijdelijk van aard en herstelbaar. Omdat de lekkage buiten de inrichting plaats kan vinden krijgt het een **enkel negatieve score (-)**. Uitzonderingen hierbij zijn buisleidingen in natuur- of waterwingebieden. Deze krijgen een dubbel negatieve score omdat de negatieve effecten in deze gebieden groter zijn (**score - -**). Gerichte monitoring op lekkage zal in dat geval noodzakelijk zijn om de risico's voldoende te kunnen beperken.

##### Risico van lekkage in natuurgebieden

Indien productiewater in natuurgebieden terecht komt, kan dit leiden tot schade aan het natuurgebied, waarbij herstel vele jaren kan duren. In de omgeving van de huidige transportleiding naar Twente bevinden zich Natura 2000-gebieden zoals het Springendal en Dal van de Mosbeek, en de Engbertsdijkvenen. Bij nieuwe tracés zal rekening moeten worden gehouden met nog andere natuurgebieden. Een eventuele verontreiniging met productiewater kan worden gesaneerd, maar de sanering zelf kan leiden tot negatieve effecten door verstoring van kwetsbare natuur.

##### Interactie tussen ondiepe grondwaterlagen en de diepere ondergrond

De ondiepe grondwaterstroming is lokaal kwetsbaar voor veranderingen. Dit geldt voor kwelstromen en freatische grondwaterstanden, waar een evenwicht gezocht wordt tussen agrarische en natuurbelangen. Daarbij is peilbeheer en regulering van grondwateronttrekking van belang. De waterinjectie in diepe grondwaterlagen heeft geen invloed op deze ondiepe grondwaterstroming. Daarvoor is de diepte waarop waterinjectie plaatsvindt te groot (meer dan 1.000 meter diepte) en zijn er veel scheidende lagen tussen de gasreservoirs en de ondiepe kwetsbare waterlagen. Waterinjectie in lege gasreservoirs heeft zodoende geen effect op verdrogingsbestrijding of andere maatregelen die aan het maaiveld worden doorgevoerd.

De risicoscore bij watertransport is per alternatief toegelicht in onderstaande tabel.

Tabel 10-7. Korte termijn risicoscore bij watertransport per alternatief.

Alternatief	Eigenschappen watertransport	Risico
Alternatief 1: Vast zout en schoon water lozen	Nieuw aan te leggen leiding naar Stieltjeskanaal, circa 10 km. Transport van schoon zoet water.	Lekkage van schoon zoet water leidt niet tot milieu-impacts (score 0).
Alternatief 2: Zout water naar de zee	Nieuwe leiding en mogelijk deels gebruik van bestaande VKA-leiding, circa 100 km. Transport van schoon zout water. De leiding bevindt zich op voldoende afstand van kwetsbare gebieden.	Bodemverontreiniging, geeft tijdelijke aantasting. Lekkage van schoon zout water is tijdelijk en kan gesaneerd worden (score -)
Alternatief 3: Circulair alternatief	Bestaande leiding naar gasveld Drenthe. Transport van geconcentreerd zout water met opgeloste stoffen. De leiding bevindt zich op voldoende afstand van kwetsbare gebieden.	Bodemverontreiniging, geeft tijdelijke aantasting. Lekkage van geconcentreerd zout injectiewater is tijdelijk en kan gesaneerd worden (score -).
Alternatief 4: Waterinjectie Drenthe	Bestaande leiding naar gasveld Drenthe. Transport van zout water met opgeloste stoffen. Afhankelijk van de variant wordt biocide en H <sub>2</sub> S-binder toegevoegd. De leiding bevindt zich op voldoende afstand van kwetsbare gebieden.	Bodemverontreiniging, geeft tijdelijke aantasting. Lekkage van zout injectiewater is tijdelijk en kan gesaneerd worden (score -).
5: Referentiesituatie	Bestaande pijp-in-pijp-leiding naar Twente. Transport van zout water met opgeloste stoffen.	Bodemverontreiniging, geeft tijdelijke aantasting. Vanwege pijp-in-pijp constructie is een extra barrière aanwezig. Lekkage van zout injectiewater is tijdelijk en kan gesaneerd worden (score -).

### 10.4.3 Waterlozing in de biosfeer (oppervlaktewater of zee)

Bij Alternatief 1 en 3 wordt schoon, zoet water op het oppervlaktewater bij het Stieltjeskanaal geloosd, of wordt hergebruikt voor stoomproductie. In Alternatief 3 is dit watervolume kleiner (ongeveer 75% van het totaal). In Alternatief 2 wordt het gezuiverde zoute water naar de Eems verpompt. Bij Alternatief 4 en de referentiesituatie is geen sprake van lozing. De risico's van lozing van het water zijn afhankelijk van:

- De samenstelling en temperatuur van het te lozen water. Dit kan tijdelijk afwijken van de normen. Als een verontreiniging door de waterzuivering heen komt, verslechtert dit de waterkwaliteit van het oppervlaktewater of op zee. Dit kan optreden bij procesverstoringen in het zuiveringsproces. Het betreft een tijdelijk effect, maar kan zeer slecht voor de lokale waterkwaliteit zijn, als de vervuilde waterlozing gedurende langere tijd optreedt of in een kwetsbare omgeving komt. Vanwege de ernst van het effect krijgt dit een dubbel negatieve score als er geen mitigerende maatregelen genomen worden (**score - -**). Als de waterkwaliteit bij het lozingspunt continue gemonitord wordt, kunnen problemen snel worden gesignaleerd en verholpen. De waterlozing kan dan direct worden gestopt. Ook kan eventueel gebruik worden gemaakt van een waterbuffer, zodat het niet direct in de omgeving komt. In geval van een procesverstoring kan dan actie ondernomen worden voordat het water in het milieu komt. Met mitigerende maatregelen krijgt de lozing op het Stieltjeskanaal een enkel negatieve score, omdat het een zeer tijdelijk effect betreft en de vervuiling snel verdunt raakt (score -). Lozing in de Eems komt uiteindelijk in de Waddenzee terecht. Dit betreft een beschermd natuurgebied met hoge natuurwaarden. Daarom wordt bij lozing in de Eems ondanks de mitigerende maatregelen toch een dubbel negatieve score toegekend (**score - -**).

De risicoscore bij de waterlozing is per alternatief toegelicht in de onderstaande tabel.

Tabel 10-8. Korte termijn risicoscore bij waterlozing per alternatief.

Alternatief	Eigenschappen Waterlozing	Risico
Alternatief 1: Vast zout en schoon water lozen	Lozing van schoon zoet water in Stieltjeskanaal. Monitoring waterkwaliteit.	Verontreinigen komen in oppervlaktewater terecht, indien zuivering niet goed functioneert. Na signalering via de monitoring wordt de lozing gestopt en is het effect tijdelijk. Vanwege de doorstroming van het water raakt de verontreiniging verdund en verdwijnt uiteindelijk (score -).
Alternatief 2: Zout water naar de zee	Lozing van schoon zout water bij nader te bepalen lozingspunt in de Eems. Monitoring waterkwaliteit.	Verontreinigen komen in zee bij Eems terecht, indien zuivering niet goed functioneert. Na signalering via de monitoring wordt de lozing gestopt en is het effect tijdelijk. Vanwege eb en vloedwerking raakt de verontreiniging verdund en verdwijnt uiteindelijk. Vanwege hoge natuurwaarden weegt het risico zwaarder (score - -).
Alternatief 3: Indikken tot brijn en waterinjectie	Lozing van kleiner volume (ca. 75%) schoon zoet water in Stieltjeskanaal. Monitoring waterkwaliteit.	Verontreinigen komen in oppervlaktewater terecht, indien zuivering niet goed functioneert. Na signalering via de monitoring wordt de lozing gestopt en is het effect tijdelijk. Vanwege doorstroming van het water raakt de verontreiniging verdund en verdwijnt uiteindelijk (score -).
Alternatief 4: Waterinjectie Drenthe	Geen waterlozing.	Geen lozing (score 0).
5: Referentiesituatie	Geen waterlozing.	Geen lozing (score 0).

#### 10.4.4 Waterinjectie - algemeen

In Alternatief 3, 4 en de referentiesituatie wordt het productiewater in het olieveld of lege gasvelden geïnjecteerd. Waterinjectie in de diepe ondergrond leidt tot verschillende risico's. De risico's zijn te verdelen in drie onderdelen (lekkage bij putten, aantasting zoutlaag, aardbevingen). Voor ieder onderdeel staat in onderstaande paragrafen beschreven welke maatregelen de kans dat dit risico optreedt verkleinen en welke maatregelen de effecten van het risico beperken als het toch optreedt.

##### Classificatie risico's waterinjectie korte termijn

De classificatie van de risico's is gebaseerd op de volgende overwegingen, waarbij een score van een enkele min (-) wordt gegeven als een risico niet is uit te sluiten, twee minnen (- -) in het geval er een kleinschalig effect zal optreden en drie minnen (- - -) indien er een duidelijk effect in de biosfeer optreedt:

- Lekkage injectieputten. Als een injectieput lek is, kan productiewater uit de put naar de omgeving stromen, of omgekeerd kan water uit de ondergrond naar de put stromen. Dit geldt niet alleen voor de injectieputten, maar ook de overige putten in het reservoir (zoals de geabandonneerde putten in het Schoonebeek olieveld). Bij een lekkage in de put op grote diepte ontstaat een vergelijkbare situatie als bij een lekkage uit het reservoir (zie hieronder). Als de putlekkage op geringe diepte plaatsvindt, kan het productiewater vermengen met het zoete of brakke grondwater en uiteindelijk het oppervlaktewater. Zeker als het grondwater en oppervlaktewater functies hebben als drinkwater voor mens of natuur, is dat (zeer) onwenselijk.



Als de samenstelling van het productiewater zodanig is dat het, vermengd met oppervlaktewater of grondwater, gevaar voor de gezondheid oplevert, is de score drievoudig negatief (**score - - -**). Als dit geen directe gevaren voor de gezondheid of het milieu oplevert, is de score dubbel negatief (**score - -**). Door gerichte monitoring kan een lekkage snel worden getraceerd en gesaneerd, waardoor slechts weinig water uit de put weg kan lekken en weggepompt kan worden. In dat geval zijn de effecten tijdelijk en herstelbaar. De score is dan enkel negatief (**score -**).

- Aantasting van de zoutlaag boven het reservoir. Als er geen scheidende laag (b.v. Anhydriet) aanwezig is boven het reservoir, kan mogelijk een deel van het zout oplossen. Er moet dan wel circulatie in het reservoir kunnen optreden, zodat steeds nieuw onverzadigd water het zout kan oplossen. Vanwege de lage verticale permeabiliteit in het reservoir is dit onwaarschijnlijk. Als het niet duidelijk is of zoutoplossing daadwerkelijk tot effecten in de biosfeer zal leiden, maar als de mogelijkheid bestaat geeft het een score van drievoudig negatief (score - - -). Indien zoutoplossing alleen zeer plaatselijk is, bijvoorbeeld bij een breukzone en er is weinig waterstroming, zal het effect op korte termijn gering zijn, wat een dubbel negatieve score geeft (score - -). Als zoutlagen aanwezig zijn, maar er geen contact verwacht wordt, is de risicoscore enkel negatief, omdat het effect niet geheel is uit te sluiten doordat monitoring effectief niet mogelijk is (score -).
- Aardbevingen (korte en mogelijk lange termijn) kunnen ontstaan ten gevolge van de injectie van productiewater. Hierdoor verandert de drukbalans in de diepe ondergrond, waardoor aanwezige breukzones gereactiveerd kunnen worden. Als deze breukzones onder spanning staan, voldoende groot zijn en hard genoeg om plots te verschuiven, dan kan dit tot een aardbeving leiden. Als er kans is op dusdanig krachtige aardbevingen dat er schade aan gebouwen optreedt en mensen gewond kunnen raken (een veiligheidsrisico), dan is de score driedubbel negatief (score - - -). Indien aangetoond is dat het aardbevingsrisico sterk verkleind wordt door alleen injectievelden en putten te gebruiken waar de kans en magnitude van aardbevingen als gevolg van injectie klein is, dan is er sprake van een dubbel negatieve score (score - -). Het gaat dan om velden en putten die niet in de buurt van grote breukvlakken liggen of tijdens de periode van gaswinning aardbevingen hebben gekend. Als het aardbevingsrisico verder verkleind kan worden door een seismisch monitoringsnetwerk en een injectieprotocol, dan is er sprake van een enkel negatieve score (score -). In het injectieprotocol staat beschreven welke maatregelen en acties genomen worden bij een waargenomen trilling.

### Ruimtelijke risico's bij lekkages

Lekkage dient voorkomen te worden en als het optreedt zoveel mogelijk beperkt en hersteld. Daarbij is het van belang zicht te hebben in hoeverre in de omgeving kwetsbare gebieden voor komen. Dit geldt voor lekkage vanuit een transportleiding, door de putwand of vanuit de diepe ondergrond uit een reservoir.

De bodemlagen in de biosfeer worden deels benut voor de winning van grondwater, voor drinkwater of anderszins zoals beregening van agrarische gronden. Het zoete grondwater bevindt zich in de regio Drenthe en Twente in de regel tot maximaal 150 tot 200 meter diepte.

De risico's van lekkage bij de put en op aardbevingen door waterinjectie zijn hieronder beschreven. In deze paragrafen zijn de preventieve maatregelen en de monitoring benoemd die toegepast worden om de kans op een gebeurtenis te minimaliseren en adequaat te handelen als zich een calamiteit voordoet. De maatregelen tegen lekkage uit het reservoir staan beschreven bij de lange termijn risico's (paragraaf 10.5).

#### 10.4.5 Waterinjectie – risicobepaling lekkage bij de put (score -)

Voor het injecteren van productiewater wordt meestal gebruik gemaakt van bestaande putten. Deze putten zijn soms tientallen jaren geleden geboord en sindsdien gebruikt voor gaswinning. Indien nodig worden nieuwe putten geboord. De putten zijn van staal en hebben meerdere cilindrische stalen buizen. Hierbinnen bevindt zich een vervangbare injectiebuis. In de ruimte tussen de injectiebuis en de putwand bevindt zich een vloeistof, evenals tussen de verschillende andere stalen buizen. Hierin wordt de druk gemeten, waardoor een eventuele lekkage gedetecteerd wordt voordat deze in de bodem kan komen. Door deze putconstructie wordt in de ondiepe ondergrond het grondwater gescheiden van het injectiewater door 3 of 4 metalen buiswanden.

##### Risico

Het productiewater wordt via de injectiebuis in het reservoir gebracht. De volgende risico's zijn relevant:

- Productiewater lekt tijdens de injectie uit de put naar de ondergrond, specifiek naar de biosfeer en veroorzaakt daar verontreiniging. In het geval van een ondiepe lekkage komt het injectiewater samen met het aanwezige grondwater. Deze verontreiniging van grondwater dient voorkomen te worden.
- Direct rondom een put zou injectiewater via mogelijke scheurtjes in het cement (als deze van een slechte kwaliteit is) rondom de verbuizing naar de onder- of bovenliggende steenzoutlaag (Haliet) kunnen stromen. Door krimp en rek van de metalen verbuizing als gevolg van operationele activiteiten kan in de loop der tijd een klein scheurtje (micro-annulus) ontstaan achter de casing, waardoor er injectiewater (laag zout gehalte) in aanraking kan komen met de haliet. Tijdens injectie wordt het injectiewater hierin geperst. Bij een injectie stop zakt het water onder invloed van zwaartekracht weg naar lageregelegen delen van het reservoir. Het water draineert dan uit deze ruimte. Omdat het onverzadigde injectiewater niet continue rond kan stromen leidt dit mechanisme niet tot grootschalige zoutoplossing. Het water raakt snel verzadigd en kan niet nog meer zout oplossen.
- Daarnaast kan het injectiewater ook in contact komen met het zout als er een lek in de ondergrondse verbuizing is ontstaan. Ook dit mechanisme leidt niet tot grootschalige zoutoplossing omdat het onverzadigde injectiewater niet continue rond kan stromen.
- Slechts een combinatie kan een continu stromingspad opleveren wat mogelijk wel tot aantasting van de zoutlaag zou kunnen leiden. Zelfs in het slechts denkbare geval waarin er een lek in de verbuizing is, gecombineerd met scheurtjes in het cement, dan zal het water het pad van de minste weerstand kiezen: de perforaties. Zolang deze toegankelijk zijn zal nagenoeg al het water via de perforaties stromen, waardoor eventuele zout oplossing beperkt wordt.

In de injectie-reservoirs bevinden zich ook andere putten die niet worden gebruikt voor waterinjectie. Sommige van deze putten zijn reeds definitief geabandonneerd. Tijdens abandonnering is de definitieve afsluiting van deze putten getest. SodM ziet hierop toe. De afsluiting van deze putten is gegarandeerd zolang de druk in het reservoir niet te hoog oploopt. Indien de druk door waterinjectie toch te hoog op zou lopen, dan kan er een risico op lekkage ontstaan. Bij de gasvelden in Twente en Drenthe is de druk in de operationele fase laag. Daarom is dit risico opgenomen bij de lange termijn risico's (volgende paragraaf). Echter, bij het Schoonebeek Oost olieveld ligt de huidige druk dicht bij de oorspronkelijke druk en gaat het om enkele honderden geabandonneerde putten. Daarom dient tijdens de operationele fase het risico op lekkage van gas, olie en water geminimaliseerd te worden.

##### Preventieve maatregelen

Bij het boren van de put is rekening gehouden met veiligheidseisen om lekkage te voorkomen. Tussen de injectiebuis en de putwand bevinden zich zoals bovenstaande beschreven meerdere metalen buiswanden; de ruimten hiertussen is gevuld met cement of een vloeistof, waarvan de druk aan het oppervlak wordt gemeten.

Deze verschillende barrières scheiden het injectiewater van de bodemlagen boven het injectiereservoir. Bij het injecteren van productiewater wordt anti-corrosie middel en indien nodig zuurstofbinder toegevoegd om te zorgen er geen aantasting van de stalen put plaatsvindt.

### Selectie van de putten

Bij de selectie van mogelijke injectieputten is putintegriteit als criterium meegenomen. Alleen de putten die aantoonbaar een goede injectiebuis, putwand en cementering hebben, worden gebruikt bij waterinjectie. Indien nodig kunnen nieuwe putten geboord worden.

### Monitoring

Om de conditie van de putten en het reservoir te monitoren vindt elk jaar een aantal activiteiten plaats volgens het Waterinjectie Management Plan (zie Bijlage A6).

- Regelmatige inspectie van de injectieputten. Deze inspectie is gericht op de kwaliteit van de stalen verbuizingen in de put en de kwaliteit van de cementlaag waarmee de verbuizing is vastgezet in het gesteente.
- Alle bovengrondse putafsluiters worden getest en onderhouden.
- De injectiedruk en volumes worden continu gemonitord op de injectiepompen. Deze zijn uitgerust met een druk begrenzing, waardoor de druk niet hoger kan worden dan scheurvormingsdruk in de afdichtende lagen. Hierdoor wordt de kans op mogelijke scheurvorming in de onder en bovenliggende afdichtende anhydrietlagen sterk gereduceerd. Bovendien wordt ervoor gezorgd dat de gemiddelde druk in het reservoir niet boven de oorspronkelijke reservoirdruk uitkomt waarmee het risico op lekkage via geabandonneerde putten in het Schoonebeek olieveld wordt geminimaliseerd.
- Daarmee samenhangend worden ook de drukken van de annulaire ruimten buiten de injectieverbuizing (tubing) gemeten, zodat een eventuele lekkage in de put tijdig kan worden opgemerkt. Ook wordt jaarlijks het vloeistofniveau in annulaire ruimte tussen binnen- en buitenbuis gemeten.
- Door het vergelijken van periodieke PNL logs wordt geobserveerd of er veranderingen optreden in het Hallet achter de casing.
- Jaarlijks wordt gemeten hoe dik de wand is van de tubing (injectiebuis) en de casing onder de packer (afsluiter). Als de tubing onvoldoende dikte heeft, wordt deze vervangen door een nieuwe tubing.
- In de putten worden metingen uitgevoerd op incidentele basis. Jaarlijks wordt een plan gemaakt waarin de noodzakelijke metingen aangegeven staan. Ook de kwaliteit van de cementering wordt met behulp van een inspectie getoetst. Daarnaast vinden er metingen plaats die de druk in het reservoir meten.

### Actie bij ongewenste situatie

In het geval de metingen aantonen dat de putdikte van één van de stalen verbuizingen of de cementintegriteit onvoldoende is, kunnen putwerkzaamheden uitgevoerd worden om de injectieput te herstellen. Als de put niet meer voldoet en ook niet gerepareerd kan worden, kan de put permanent worden afgesloten door deze over verschillende diepte intervallen volledig te vullen met verschillende cement pluggen. Hierdoor kan geen stroming meer in of buitenlangs de put plaatsvinden. Monitoring zorgt ervoor dat in geval van een lekkage de waterinjectie direct gestopt wordt, waardoor de hoeveelheid gelekt water beperkt blijft. Indien de put op voldoende afstand van een kwetsbaar gebied staat, zal de grondwaterstroming naar een kwetsbare zone beperkt blijven als de lekkage binnen een jaar wordt gesignaleerd. Een lekkage die de biosfeer bereikt kan met behulp van een nieuwe ondiepe put worden verwijderd.

#### 10.4.6 Waterinjectie – risicobepaling zoutoplossing (score -)

Tijdens de waterinjectie in de Zechstein gasreservoirs komt het water in het reservoir, in de omgeving van zoutlagen, zoals verderop beschreven bij de lange termijn risico's in paragraaf 10.5.

##### **Risico**

Het injectiewater bevat zout, maar is niet verzadigd met zout. Er is een risico dat zout uit de zoutlagen in het water oplost, waardoor de integriteit van de zoutlagen afneemt.

##### **Preventieve maatregelen**

Selectie van reservoirs met een lateraal continue anhydriet laag en selectie van putten op afstand van breukzones waar zoutlagen mogelijk in contact staan met het reservoir. En bij de selectie van de putten is de integriteit zodanig dat geen water langs de buitenkant van de putwand in contact komt met de zoutlagen. Hierdoor zal naar verwachting zoutoplossing niet of in zodanig beperkte mate optreden dat dit geen merkbaar effect heeft op de biosfeer.

##### **Monitoring**

Monitoring van mogelijke zoutoplossing bij breukzones kan niet direct worden geregistreerd. Indirect is het mogelijk na te gaan of er zoutoplossing heeft plaatsgevonden door meting van bodemdaling boven het gasveld. Monitoring van zoutoplossing rondom de injectieput is wel mogelijk en wordt uitgevoerd door jaarlijkse PNL-metingen in de put.

##### **Actie bij ongewenste situatie**

In het geval tijdens de waterinjectie een duidelijke indicatie ontstaat van mogelijke zoutoplossing, kan verdere waterinjectie in overleg met SodM worden aangepast.

#### 10.4.7 Waterinjectie – risicobepaling seismische activiteit

Zowel gaswinning en waterinjectie zorgen voor drukveranderingen in het reservoir en kunnen in potentie tot aardbevingen leiden. Van nature zijn er spanningen aanwezig in de diepe ondergrond. Een breukvlak dat onder kritische spanning staat, kan door een veranderde spanningsbalans een kritisch punt overschrijden, waardoor de gesteentelagen aan weerszijde van de breuk langs elkaar schuiven.

##### **Risico**

De vele aardbevingen in het zeer grote Groningengasveld zijn het bekendste voorbeeld van bevingen als gevolg van gaswinning. Ook in kleine gasvelden komen soms aardbevingen voor zoals in Annerveen, Eleveld, Roswinkel en Emmen. In Nederland is slechts één aardbeving geregistreerd waarbij een mogelijke associatie met waterinjectie niet uitgesloten is.

In Twente is nog nooit een aardbeving geregistreerd. Zolang de gemiddelde reservoir druk beneden de oorspronkelijke reservoirdruk blijft, worden er geen trillingen als gevolg van waterinjectie in Twente verwacht. Dit heeft voornamelijk te maken met het feit dat bij waterinjectie in een leeg gasveld, de druk laag is en geleidelijk teruggaat naar de oorspronkelijke en stabiele situatie. Dit drukherstel veroorzaakt in principe geen aardbevingen. Daarom is de kans op aardbevingen als gevolg van waterinjectie klein. De afwezigheid van meetbare aardbevingen gedurende zowel de hele periode van gasproductie en de 11 jaar van waterinjectie in de Twentevelden bevestigt dit.

In de velden Schoonebeek gas, Coevorden en Dalen heeft zich als gevolg van de gaswinning een aantal bodemtrillingen voorgedaan. Waterinjectie in deze velden heeft echter niet geleid tot bodemtrillingen. De kans op een geïnduceerde seismische activiteit als gevolg van waterinjectie hangt primair af of er in de nabijheid van het injectiepunt natuurlijke breuken aanwezig zijn, die onder kritische spanning staan. Daarbij komt dat geïnduceerde seismische activiteit meestal pas voor mensen aan het oppervlak voelbaar is als een groot deel van het breukvlak plotseling kan schuiven. Deze grote breuklijnen zijn zichtbaar op de seismische beelden van de ondergrond.

In het Schoonebeek olieveld is nog nooit een aardbeving geregistreerd. Naast olieproductie heeft in het verleden ook water injectie plaatsgevonden. Aan de Duitse kant van het veld gebeurt dit nog steeds op relatief grote schaal. Gezien de relatief ondiepe situering van het veld (ca 900m) is het reservoirgesteente niet volledig geconsolideerd. Daarom is het risico op aardbevingen zeer gering.

### **Preventieve maatregelen**

Wereldwijd is bij de meeste gevallen waarin waterinjectie tot een aardbeving heeft geleid de druk in het injectiereservoir opgelopen tot boven de oorspronkelijke druk. Er ontstaan dan spanningen in de ondergrond, die daar eerder niet zijn geweest. Als deze spanningen sterk genoeg zijn kunnen eventueel aanwezige breukvlakken verschuiven met een beving tot gevolg. In Nederland is het daarom ook niet toegestaan om de druk te verhogen tot boven het oorspronkelijke niveau. Dit verlaagt het risico op aardbevingen aanzienlijk. Dit is beschreven voor de Twentevelden in Threat assessment for induced seismicity in the Twente water disposal fields [NAM, 2015]. Daarnaast is een protocol voor seismische activiteit opgesteld op verzoek van SodM. In dit protocol is vastgelegd hoe het risico op mogelijke bevingen beheerst wordt. Het beschrijft, hoe wordt voorkomen dat aardbevingen in de eerste plaats optreden en welke acties genomen worden als zich een trilling voordoet.

In 2021 en 2022 een studie uitgevoerd naar de seismische risico's door injectie in het Schoonebeek gasveld. De hoofdconclusie is dat het seismisch risico lager wordt ingeschat dan tijdens de gasproductiefase [NAM, 2022].

Ook moet injectie vermeden worden in de buurt van actieve breuken. Met behulp van de seismische informatie worden de breuklijnen in kaart gebracht. De kans bestaat dat kleinere breuklijnen niet zichtbaar zijn in de seismiek.

### **Selectie van reservoirs en putten bij de alternatieven**

Bij de selectie van mogelijke gasvelden en injectieputten is het seismisch risico als criterium meegenomen. Alleen de putten waarvan dit risico laag is komen in aanmerking als injectieput (zoals beschreven in Hoofdstuk 6, paragraaf 6.2).

### **Monitoring**

Om bodemtrillingen te voorkomen en om adequaat te kunnen handelen bij een beving wordt er bij de injectieput gemonitord. Tijdens de injectie wordt periodiek de lokale reservoirdruk gemeten in de injectieputten. De gemeten druk wordt vergeleken met de gemodelleerde druk. Als op basis van deze metingen blijkt dat de werkelijke druk anders toeneemt dan gemodelleerd, dan gedraagt het reservoir zich niet zoals verwacht. De gemodelleerde druk is gebaseerd op de hoeveelheid gas die oorspronkelijk uit het reservoir is geproduceerd. Er kan bijvoorbeeld sprake zijn van verstopping rondom de put of beperkte doorlatendheid naar een deel van het reservoir. Door de drukmetingen wordt deze verminderde doorstroming gedetecteerd en kan de injectiesnelheid daarop aangepast worden. Dit voorkomt dat de druk plaatselijk rond de injectieput hoger oploopt dan bedoeld. Daarnaast is een maximale injectiedruk vastgesteld die de integriteit van de afsluitende bovenlaag waarborgt.

Bij de waterinjectieputten kan ook een seismologisch netwerk worden geïnstalleerd (indien nog niet aanwezig). In Twente is in 2015 een dergelijk netwerk met geofoons en versnellingsmeters geïnstalleerd. Bij de Drenthe velden zijn recent additionele versnellingsmeters in gebruik genomen. Deze netwerken kunnen eventuele trillingen waarnemen en precies lokaliseren. Dit verschaft extra informatie over het bevingrisico als gevolg van de waterinjectie. Zo kunnen metingen gekoppeld worden aan het seismisch risicomanagement systeem en kunnen er passende acties genomen worden (Protocol Monitoring seismische activiteit, 2015; Technical evaluation of Twente water injection wells. 2015).

### Acties bij aardbeving

Door het seismologisch netwerk worden trillingen direct gedetecteerd. In het seismisch protocol staat beschreven dat bij trillingen boven een bepaalde grens de injectie verlaagd of gestopt wordt [NAM, 2015]. Dit verkleint het seismisch risico omdat bevingen als gevolg van waterinjectie naar verwachting niet direct tot één grote beving leiden, maar geleidelijk in intensiteit toenemen.

### 10.4.8 Waterinjectie – scores

Bij Alternatief 1: Vast zout en schoon water lozen en Alternatief 2: Zout water naar zee, vindt geen waterinjectie plaats. Er zijn daarom geen risico's van injectie en deze alternatieven scoren neutraal (**score 0**).

In de overige alternatieven wordt het productiewater geïnjecteerd. De effecten kunnen buiten de inrichting van NAM optreden en kunnen in potentie serieuze gevolgen hebben. Alleen putten waarvan aangetoond is dat deze geschikt zijn voor waterinjectie komen in aanmerking. Vanwege de juiste putkeuze is het risico op lekkage, zoutoplossing en aardbevingen beperkt. Daarnaast vindt gerichte monitoring plaats en kunnen er acties ondernomen worden in geval een calamiteit optreedt. Daarom zijn de risico's tijdelijk van aard en herstelbaar. Alternatief 3, 4 en 5 krijgen daarom een enkel negatieve score op risico's van waterinjectie (**score -**). Bovendien is er nog nooit in Nederland een injectieput ingesloten vanwege lekkage naar het grondwater, wat aangeeft dat de kans dat een dergelijke calamiteit op kan treden laag is.

Tabel 10-9. Korte termijn risicoscore bij waterinjectie per alternatief.

Alternatief	Eigenschappen	Risico
Alternatief 1: Vast zout en schoon water lozen	Geen waterinjectie.	Niet van toepassing (score 0).
Alternatief 2: Zout water naar de zee	Geen waterinjectie.	Niet van toepassing (score 0).
Alternatief 3: Circulair Alternatief	Injectie van geconcentreerd zout water met opgeloste stoffen in de aquifer van olieveld Schoonebeek.	Waterinjectie kan leiden tot lekkage. Effecten kunnen buiten de inrichting optreden en grote impact hebben. Vanwege gebruik van nieuwe injectieputten, selectie van geschikte- injectie locaties en beperking van injectiedruk en reservoirdruk is het risico beperkt. Daarnaast kunnen er acties ondernomen worden in geval een calamiteit optreedt. Daarom zijn de risico's tijdelijk van aard en de gevolgen herstelbaar (score -).
Alternatief 4: Waterinjectie Drenthe	Injectie van zout water met opgeloste stoffen in Drenthevelden. Afhankelijk van de variant wordt biocide en H <sub>2</sub> S-binder toegevoegd.	Waterinjectie kan leiden tot aardbevingen, zoutoplossing of lekkage. Effecten kunnen buiten de inrichting optreden en grote impact hebben. Vanwege putselectie is het risico beperkt. Daarnaast vindt gerichte monitoring plaats en kunnen er acties ondernomen worden in geval een calamiteit optreedt.

Alternatief	Eigenschappen	Risico
		Daarom zijn de risico's tijdelijk van aard en de gevolgen herstelbaar (score -).
5: Referentiesituatie	Injectie van zout water met opgeloste stoffen in Twentevelden.	Waterinjectie kan leiden tot aardbevingen, zoutoplossing of lekkage. Effecten kunnen buiten de inrichting optreden en grote impact hebben. Vanwege putselectie is het risico beperkt. Daarnaast vindt gerichte monitoring plaats en kunnen er acties ondernomen worden in geval een calamiteit optreedt. Daarom zijn de risico's tijdelijk van aard en de gevolgen herstelbaar (score -).

### 10.4.9 Verwerking restproducten

In Alternatief 1, 2 en 3 wordt het productiewater gezuiverd voordat het verder wordt verwerkt. Na de zuivering wordt het water geloosd op zee, op het oppervlaktewater of geïnjecteerd in de diepe ondergrond. Naast de gezuiverde stroom ontstaan altijd reststromen met de geconcentreerde afvalproducten. Bij Alternatief 4 (waterinjectie Drenthe) en de referentiesituatie zou eventueel een beperkte waterzuivering toegepast kunnen worden, waarna het water in de ondergrond wordt geïnjecteerd.

Bij waterzuivering ontstaan restproducten. Deze restproducten worden bij voorkeur hergebruikt of afgebroken. Dit is echter niet mogelijk voor alle restproducten. Een deel van de restproducten moet opgeslagen worden in de biosfeer. Deze stoffen worden vervoerd naar en opgeslagen in een speciale stortplaats, waar de restproducten 'voor eeuwig' geïsoleerd moeten blijven van hun omgeving (mens en milieu). Transport en opslag van deze reststoffen brengt zowel korte en lange termijn risico's met zich mee.

- Transport van de restproducten (korte termijn risico). Als een vrachtwagen of schip met restproducten een ongeluk krijgt, kunnen de restproducten op de weg, in het water of in de lucht komen. Vooral bij lekkage in het water kan een relatief groot gebied vervuild raken. Afhankelijk van de aard van de vervoerde reststoffen worden er standaard eisen gesteld aan het vervoer om deze risico's te beperken. In geval van een ongeluk wordt het vervuilde gebied direct gesaneerd, waardoor de effecten tijdelijk van aard zijn en herstelbaar. Bij Alternatief 4 en de referentiesituatie is geen zuivering, of een zuivering met dusdanig weinig restproducten dat de risico's tijdens transport nihil worden geacht (score 0). De hoeveelheid reststoffen bij Alternatief 1, 2 en 3 is groter. Dit transport brengt een relatief klein risico met zich mee, maar kan buiten de mijnbouwlocatie optreden. Het risico tijdens transport krijgt daarom een enkel negatieve score (score -). Een gericht risico-verkeersplan zal bij Alternatief 1 van extra groot belang zijn om deze transportrisico's voldoende af te dekken.
- Lekkage van restproducten uit de opslag in het milieu (voornamelijk lange termijn risico). Restproducten zonder een hergebruikfunctie en die niet afgebroken kunnen worden, blijven voor lange tijd of zelf permanent opgeslagen in de biosfeer. Afhankelijk van de aard van de stoffen zijn er verschillende wettelijke eisen aan de opslag om te voorkomen dat de stoffen in het milieu terecht kunnen komen. Dit kan plaatsvinden door verwaaiing of lekkage naar de bodem en grondwater. Vanwege deze eisen zijn op de korte termijn de risico's op lekkage dusdanig klein dat hier een neutrale score aan wordt toegekend (score 0). De effecten blijven binnen de inrichting van de opslaglocatie, worden gemonitord en zijn herstelbaar. Op de (zeer) lange termijn kunnen deze opslaglocaties echter degraderen waarbij de stoffen uiteindelijk in het milieu terecht komen. Dit risico is opgenomen in het volgende hoofdstuk over lange termijn risico's.

De risicoscore bij de verwerking van de reststoffen wordt per alternatief samengevat in onderstaande tabel.

Tabel 10-10. Korte termijn risicoscore bij verwerking reststoffen per alternatief.

Alternatief	Eigenschappen	Risico
Alternatief 1: Vast zout en schoon water lozen	Transport van 75 ton zout per dag voor hergebruik of permanente opslag.	Het risico van lekkage uit de opslag op korte termijn wordt als nihil beschouwd. De effecten zijn tijdelijk, binnen de inrichting en herstelbaar (score 0). Vanwege de grote hoeveelheid transportbewegingen van de restproducten is de kans op een ongeluk relatief groot. Daarbij kunnen restproducten lokale verontreiniging buiten de mijnbouwlocatie veroorzaken. Met een gericht verkeersplan zijn deze risico's te beperken (score -).
Alternatief 2: Zout water naar de zee	Transport van minder dan 4,5 ton reststoffen per dag voor hergebruik, verwerking of permanente opslag. Veruit de meeste reststoffen worden hergebruikt.	Het risico van lekkage uit de opslag op korte termijn wordt als nihil beschouwd. De effecten zijn tijdelijk, binnen de inrichting en herstelbaar (score 0). Transport van de reststoffen kan tot een ongeluk buiten de mijnbouwlocatie leiden. Deze risico's zijn tijdelijk van aard en herstelbaar (score -).
Alternatief 3: Indikken tot brij en waterinjectie	Transport van 4,5 ton reststoffen per dag voor hergebruik, verwerking of permanente opslag. Circa de helft van de reststoffen wordt hergebruikt.	Het risico van lekkage uit de opslag op korte termijn wordt als nihil beschouwd. De effecten zijn tijdelijk, binnen de mijnbouwlocatie en herstelbaar (score 0). Transport van de reststoffen is dermate weinig, dat risico's nihil worden geacht (score -).
Alternatief 4: Waterinjectie Drenthe	Bij dit alternatief is geen sprake van waterzuivering.	Geen reststoffen. Effecten zijn nihil, (score 0).
5: Referentiesituatie	Er is geen sprake van waterzuivering.	Geen reststoffen. Effecten zijn nihil, (score 0).

### Toelichting risico bij transport van totale hoeveelheid zout bij Alternatief 1

Bij Alternatief 1 ontstaat in totaal circa 75 ton zout per dag, dat in de loop van de tijd zal afnemen tot naar verwachting 60 ton zout. In eerste instantie zijn hiervoor gemiddeld 7 vrachtwagens per dag nodig om het zout af te voeren naar een stortlocatie. Uiteindelijk zal dat reduceren tot mogelijk 2 vrachtwagens per dag. Door de lange periode waarbij dagelijks gereden moet worden, is hier extra aandacht nodig voor de veiligheid van de omgeving waar deze vrachtwagens gaan rijden. De Onderzoeksraad voor de Veiligheid meldt naar aanleiding van een onderzoek eind 2012:

*“Per jaar vinden op de Nederlandse snelwegen gemiddeld duizend vrachtwagenongevallen plaats, waarbij circa 23 doden en 105 ernstig gewonden vallen. Bovendien zijn de slachtoffers meestal de andere weggebruikers.”*

De score van een min voor het risico bij transport van zout met behulp van vrachtwagens is op bovenstaande gebaseerd. De score geeft aan dat het van belang is bij een detailuitwerking hier aandacht aan te besteden door alternatieve afvoermogelijkheden uit te werken of een zodanige locatie en route te kiezen dat de kans op ongelukken geminimaliseerd wordt.



#### 10.4.10 Totaaloverzicht risico's korte termijn

Tabel 10-11 vat de score op korte termijn risico's per alternatief en per stap in het verwerkingsproces samen. Dit leidt tot een totaalscore per alternatief, gebaseerd op de maximale score die optreedt binnen dat alternatief.

Tabel 10-11. Samenvatting risico's korte termijn per alternatief.

Risico korte termijn	Alternatief 1: Vast zout en schoon water lozen	Alternatief 2: Zout water naar de zee	Alternatief 3: Circulair alternatief	Alternatief 4: Waterinjectie Drenthe	5: Referentiesituatie
Waterzuivering	-	-	-	0	0
Watertransport	0	-	-	-	-
Waterlozing	-	--	-	N.v.t.	N.v.t.
Waterinjectie	N.v.t.	N.v.t.	-	-	-
Restproducten	-	-	-	0	0
<b>Totaal</b>	-	--	-	-	-

Uit de tabel blijkt dat bij de volledige zuivering tot vast zout het korte termijn risico dubbel min is, evenals het risico bij de lozing van zoutwater op de Eems. Voor alle andere alternatieven is er een beperkt korte termijn risico. Wat betreft de risico's op korte termijn worden op basis van deze score geen alternatieven uitgesloten.

### 10.5 Toetsing risico's lange termijn

De risico's op lange termijn hebben betrekking op de periode nadat de activiteiten zijn afgerond. Het is onwenselijk als volgende generaties rekening moeten houden met beperkingen veroorzaakt door de uitvoering van de voorgestelde alternatieven.

In paragraaf 10.3 is een opsomming gegeven van mogelijke risico's voor zowel de korte als de lange termijn. Daaruit blijkt dat er geen lange termijn risico's, na afronding van de operationele fase en het afbreken van installaties, zijn bij de waterzuivering, het transport en de afvoer naar het oppervlaktewater of op zee. Mogelijke lange termijn risico's hebben betrekking op de lange termijn situatie, lang nadat de oliewinning is gestopt en alle faciliteiten zijn verwijderd. Bij Alternatief 1 is het de verwachting dat ook op de lange termijn de opslag van zoutproducten aan maaiveld aanwezig is. Onderstaand worden de lange termijn risico's hiervan weergegeven. Bij de waterinjectie alternatieven zal op de lange termijn water in de diepe ondergrond aanwezig zijn, met mogelijke risico's. Bij afvoer van zoutwater naar de zee is er op lange termijn door de snelle vermenging tijdens de operationele fase, geen herkenbaar effect of risico te verwachten.

#### Classificatie risico's lange termijn

De risico's zijn ingedeeld aan de hand van de onderstaande risicoclassificatie. De classificatie geeft een indicatie van de omvang van de risico's. Een belangrijk verschil met de korte termijn risico's is dat deze risico's op een veel grotere tijdschaal spelen. Waar het bij de korte termijn risico's niet relevant is of de calamiteit optreedt na 1 of 10 jaar, maakt het bij de lange termijn risico's wel uit of dit plaatsvindt. Bij lange termijn wordt gekeken naar een periode van meerdere decennia tot meer dan 100 jaar. Hoe verder in de toekomst, hoe meer andere onzekerheden ook toenemen, waardoor dit specifieke risico in relevantie afneemt. Daarom is er een andere risicoclassificatie voor de korte en de lange termijn risico's. Het is een absolute classificatie van risico's, waarbij ieder risico negatief is of nihil.

Tabel 10-12. Overzicht classificatie risico lange termijn

Classificatie	Omschrijving / gevolgen
0	De kans op een gebeurtenis met negatieve gevolgen is nihil op een maatschappelijk relevante tijdschaal (binnen 100 jaar)
-	De kans op een gebeurtenis met negatieve gevolgen is niet uit te sluiten op een maatschappelijk relevante tijdschaal. Er worden maatregelen genomen om deze kans te minimaliseren
--	De kans op een gebeurtenis met negatieve gevolgen is redelijkerwijs aanwezig op een maatschappelijk relevante tijdschaal. Alleen met expliciete voorzorgmaatregelen is het risico verantwoord
---	Zonder aanpassing is de kans op de gebeurtenis met negatieve gevolgen zo groot op een maatschappelijk relevante tijdschaal, dat uitvoering niet verantwoord is

### 10.5.1 Waterinjectie: opslag water in de ondergrond

In Alternatief 3 en 4 en bij de Referentiesituatie wordt het productiewater opgeslagen in olieveld Schoonebeek of leeggeproduceerde gasreservoirs. Hier dient het water voor de (zeer) lange termijn te blijven en niet uit de diepe ondergrond naar de biosfeer te kunnen lekken. Dit soort risico's zijn moeilijk meetbaar, vanwege de lange tijdschaal. De kans op de gebeurtenis kan niet direct gemeten worden en wordt daarom ingeschat aan de hand van kwalitatieve kennis, modellen en extrapolaties van meetdata. Bij de risico-inventarisatie is het van belang onderscheid te maken tussen het gedrag van vloeistoffen en gassen. Na waterinjectie zal het water onder in het reservoir terecht komen, terwijl het nog resterende aardgas zich boven in het reservoir zal ophopen. De volgende lange termijn gebeurtenissen zijn in theorie mogelijk:

- Lekkage uit de diepe ondergrond door of langs de afgesloten putten;
- Lekkage uit het reservoir via breuken in de afsluitende deklaag;
- Aantasting bovenliggende steenzoutlaag door zoutoplossing.

#### Achtergrondinformatie

De ondergrondse gasreservoirs, die bestaan uit een poreus gesteentepakket met daarbovenop afsluitende lagen, zijn geologisch gezien stabiel. Gedurende miljoenen jaren heeft het gas zich onder de afsluitende laag verzameld en is zo miljoenen jaren in een natuurlijk evenwicht onder hoge druk bewaard gebleven. De aanwezigheid van het aardgas is bewijs dat stoffen niet uit het reservoir konden ontsnappen.

Als gevolg van de gaswinning is in het reservoir de druk verlaagd ten opzichte van de oorspronkelijke evenwichtsdruk. Dit kan leiden tot bodemdaling en zelfs aardbevingen. Door het opnieuw vullen van het reservoir met productiewater wordt de drukdaling door de gasproductie in zekere mate gecompenseerd. In Nederland geldt de regel dat de gemiddelde reservoirdruk door waterinjectie niet hoger mag worden dan de oorspronkelijke reservoirdruk. Zo wordt voorkomen dat er ondergrondse spanningen ontstaan die voor de gaswinning niet aanwezig waren. Lokaal mag de druk bij de injectieput wel tijdelijk hoger zijn, maar ook niet zodanig hoog worden dat afsluitende lagen kunnen worden beschadigd. Deze processen worden beheerst met het Waterinjectie Management Plan (zie Bijlage A6).

Drukverandering als gevolg van de waterinjectie kan bodemtrillingen veroorzaken. Dit is voornamelijk een korte termijn risico, en is beschreven in paragraaf 10.4.4. In theorie kunnen langzame chemische processen in de diepe ondergrond ook de drukbalans in de diepe ondergrond verstoren. Calciet afzettingen in een natuurlijk breukvlak zouden bijvoorbeeld kunnen oplossen, waardoor de wrijvingsweerstand in de breuk afneemt en deze kan verschuiven.

Zo kunnen ook nog na de waterinjectie bodemtrillingen ontstaan. Dit wordt echter als een zeer beperkt risico beschouwd en is daarom alleen bij de korte termijn risico's beschreven.

### 10.5.2 Lekkage via afgesloten putten (score –)

De put doorboort de afsluitende laag, zodat de productie van olie of gas mogelijk werd. De doorvoering van de put door de afsluitende laag vormt over het algemeen het zwakste punt in het opslagreservoir.

#### Risico

Na de waterinjectie wordt de put afgesloten. Door corrosie over honderden of duizenden jaren kan de stalen put of de cementpluggen degraderen waardoor potentiële lekkagepaden ontstaan. Omdat de put al bestond en niet specifiek voor de waterinjectie is geboord bestaat dit risico onafhankelijk van het gebruik als waterinjectieput. Een verschil is wel dat na de waterinjectie het reservoir op een hogere druk wordt afgesloten dan na alleen de gaswinning of oliewinning. Vanwege deze hogere druk moet de afgesloten put beter bestand zijn tegen eventuele lekkage van gassen.

De cementering langs de buitenzijde van de put en de cementpluggen vormen normaal een ondoordringbare barrière. Lekkage kan echter ontstaan als gevolg van corrosie of slechte plaatsing van het cement. Stoffen kunnen via deze lekkagepaden naar andere formaties in de ondergrond stromen die normaal van elkaar gescheiden zijn. De doorvoering van de put fungeert dan als pad waarlangs verticale migratie van stoffen in de diepe ondergrond mogelijk wordt. Omdat gassen lichter zijn dan water, kunnen gassen zoals methaan die nog in het 'lege' gasreservoir aanwezig zijn omhoog borrelen via lekkagepaden langs de put. Zo kunnen gassen ondiepe bodemlagen bereiken en uiteindelijk zelfs in de atmosfeer terecht komen.

In watervoerende pakketten met drinkwater in Nederland komt een kleine hoeveelheid gassen voor, zoals methaan. Deze gassen zijn onder meer via een natuurlijk proces in het water gekomen. Dit is niet schadelijk voor de omgeving. Echter is methaan wel een sterk broeikasgas, dat bijdraagt aan de klimaatverandering. Methaanlekkage uit de afgesloten put is daarom ongewenst.

Het geïnjecteerde water kan niet vanzelf omhoog stromen. Water bevindt zich tussen de poriën van het gesteente en zal alleen stromen naar een gebied met een lagere druk. Omdat het reservoir onder zijn oorspronkelijke druk wordt afgesloten, heerst er een lichte onderdruk ten opzichte van zijn omgeving. Als de afsluitende laag boven het reservoir om een bepaalde reden toch niet meer geheel afsluit, dan zal in theorie juist water uit bovenliggende lagen het reservoir instromen. Het geïnjecteerde productiewater zal dus niet omhoog naar de drinkwater aquifers kunnen stromen.

In de leeggeproduceerde gasvelden en het olieveld zijn meerdere putten aanwezig. Dus niet alleen de injectieput zelf, maar ook de overige putten vormen een potentieel lekkagepad waarlangs (gas)lekkage kan ontstaan. Het is dus van belang dat deze andere putten ook goed afgesloten zijn.

In de diepe ondergrond zijn echter verschillende ondoordringbare lagen aanwezig die de opwaartse gasstroom tegengehouden (zoals zout of kleisteen lagen). Daarom is het risico op lekkage van gassen na correcte abandonnering klein. Maar of geabandonnerde putten na honderden of zelfs vele duizenden jaren geen lekkage vertonen is niet uit te sluiten.

#### Selectie van de putten

Gezien de bovenstaande risicobeschrijving, dienen geselecteerde putten te voldoen aan een goede putintegriteit, waarbij de putwand voldoende dikte heeft en de cementering in orde is.

Voor het gasveld Schoonebeek Gas is een uitgebreide putselectie uitgevoerd. Daarbij zijn die putten geselecteerd waarbij de cementering gecontroleerd is en in goede staat verkeert.

De kwaliteit van de putwanden is eveneens getoetst en alleen putten met goede kwaliteit zijn voor de alternatieven geselecteerd.

Voor herinjectie in het oliereservoir zullen nieuwe putten worden geboord, die voldoen aan de gestelde eisen.

#### **Preventieve maatregelen en monitoring**

Door op de juiste wijze en volgens de beste standaarden een put af te sluiten wordt het risico op lekkage van gassen sterk beperkt. In Nederland ziet SodM erop toe dat de put correct afgesloten wordt. Dit geldt ook voor andere eventueel aanwezige gasputten in het reservoir die niet voor waterinjectie zijn gebruikt. De put wordt definitief afgesloten met meerdere cementpluggen van 100+ meter en daartussen zit niet-corrosieve vloeistof. Boven kwetsbare secties wordt de put ook nog lateraal uitgeboord zodat een holle ruimte ontstaat. Deze gehele ruimte wordt vervolgens gevuld met cement zodat er geen verticale migratie tussen formaties onder en boven de put mogelijk is (een zogenaamde pancake plug als preventieve maatregel). Daarnaast wordt de put circa 3 meter onder het maaiveld afgeknipt en dichtgelast. De bovengrondse locatie wordt verwijderd en teruggebracht naar de oorspronkelijke staat.

#### **Acties in geval van lekkage van gassen**

Zodra een lekkage wordt geconstateerd, kan de put worden hersteld om de gasstroom te stoppen. Of op de zeer lange termijn (ruim 100 jaar) herstelwerkzaamheden aan de put nog mogelijk zijn is echter onzeker. Ook is dan misschien niet meer bekend wat de oorzaak van de lekkage is, omdat de kennis over de gasput verloren kan zijn gegaan. Het reservoir wordt als gevolg van de injectie op hogere druk afgesloten dan na beëindiging van de gaswinning. Hierdoor neemt als gevolg van de waterinjectie het risico op lekkage van gassen mogelijk toe. Omdat de lekkage van gassen zoals methaan bijdraagt aan het broeikas effect, krijgt dit risico een enkel negatieve beoordeling (score -).

### **10.5.3 Lekkage uit reservoir (score 0)**

Het injectiewater wordt opgeslagen in een leeg geproduceerd gasreservoir of oliereservoir, afgesloten door een ondoordringbare laag. De uiteindelijke waterdruk is lager dan de poriëndruk in het omliggende gesteente. Er is dus een naar binnen gekeerde drukcomponent. Hierdoor is de kans zeer gering dat het water uit het reservoir stroomt.

- Lekkage reservoir. Injectiewater en van nature voorkomend formatiewater kunnen uit het opslagreservoir stromen als het reservoir te ver gevuld wordt of door aantasting van de afsluitende gesteentelaag of -lagen boven het reservoir. Dit wordt aan de hand van modelering en monitoring nauwkeuring gecontroleerd. Omdat op deze diepte echter geen drukgradiënt aanwezig is die het water omhoogstuwt, blijft water dat toch uit het reservoir zou kunnen komen in de diepe ondergrond aanwezig. Daarnaast vinden de processen in de ondergrond op een lange tijdschaal plaats, waardoor dit risico op de korte termijn niet relevant is. Daarom is dit risico verder beschreven bij de lange termijn risico's.

#### **Risico's**

Als er breuken vanuit het reservoir door de afsluitende laag heen lopen kunnen deze (gaan) fungeren als een migratiepad. Omdat de olie of het aardgas niet heeft kunnen ontsnappen is het in eerste instantie zeker dat de breuken niet doorlatend zijn en er geen gassen of vloeistoffen doorheen kunnen stromen. Vanwege de gaswinning en daarna de waterinjectie treden er echter spanningsveranderingen op in het reservoir. Hierdoor kunnen breuken verschuiven of niet meer geheel afsluiten. Breuken kunnen ook gevuld zijn met bijvoorbeeld steenzout of kalksteen. Indien dit oplost kan ook een lekkagepad ontstaan.

Hierdoor kan het water uit het reservoir in contact komen met het vergelijkbare zoute water uit de bovenliggende lagen. Vanwege de naar binnen gekeerde drukgradiënt zal water juist het reservoir in stromen.

Mocht het geïnjecteerde water toch buiten het reservoir kunnen komen, dan bevindt het zich nog steeds op grote diepte, samen met ander zout formatiewater. Het water wordt dan onderdeel van dat lokale diepe watersysteem. Op deze diepten bevat het watersysteem zout water en er is weinig tot geen sprake van watertransport. Gezien de omgevingsdruk zal het productiewater zich gedragen zoals het overige aanwezige water, met vergelijkbare samenstelling. Dit water zal het zoete grondwater niet bereiken, anders zou dit ook gelden voor het overige zoute water. Wegens de afwezigheid van zout water aan het oppervlak is dit niet het geval.

Chemische veranderingen kunnen het reservoir in theorie aantasten. Omdat het injectiewater uit vergelijkbare formaties in de diepe ondergrond komt is het van vergelijkbare chemische samenstelling. Reservoir-eigen (compatibele) stoffen in het injectiewater zullen normaal gesproken geen problemen veroorzaken met betrekking tot de integriteit van het reservoir. Wel zal altijd preventief geverifieerd moeten worden of er bijvoorbeeld geen geochemische reacties zoals zwellen van kleien of afzetting van zouten plaats kan vinden, waardoor de productiewaterinjectie kan worden belemmerd. Zoutoplossing wordt als aparte categorie besproken.

De stoffen die nodig zijn om bijvoorbeeld bacteriëngroei te remmen of corrosie te beperken, beïnvloeden de integriteit van het reservoir niet. Desondanks wordt het gebruik van chemicaliën (niet bodem-eigen stoffen) bij de waterinjectie zoveel mogelijk beperkt. Deze chemicaliën blijven door de goede afsluitende lagen opgesloten in het reservoir.

Hoewel niet uit te sluiten, is de kans op lekkage van water uit het reservoir gering en indien het optreedt, zal het water mengen met vergelijkbaar water in de diepe ondergrond. Deze diepe watersystemen zijn stabiel en het is daarom zeer onwaarschijnlijk tot niet mogelijk dat het water vervolgens naar hoger gelegen bodemlagen in de biosfeer zal migreren op een maatschappelijk relevante tijdschaal.

### **Preventieve maatregelen en monitoring**

Er is een aantal aspecten van het reservoir waarmee rekening gehouden moet worden om te verzekeren dat het injectiewater permanent opgeslagen blijft in het reservoir. Dit zijn:

- Reservoirdruk;
- Opslagvolume;
- Aanwezigheid van breuken door de afsluitende laag heen;
- Zoutoplossing (apart in volgende paragraaf 10.5.4).

#### *Reservoirdruk*

Vanwege het gewicht van de bovenliggende gesteentelaag is de druk in de diepe ondergrond hoog. De afsluitende laag heeft bewezen het aardgas miljoenen jaren vast te kunnen houden bij deze oorspronkelijke druk. Door de gaswinning is de druk in het 'lege' gasveld lager geworden. Zolang tijdens de waterinjectie de oorspronkelijke druk niet overschreden wordt, kan men aannemen dat het injectiewater of resterende gassen niet kunnen ontsnappen uit het reservoir.

#### *Opslagvolume*

Het reservoir wordt niet verder gevuld dan tot het niveau waar het aardgas zich heeft geaccumuleerd. Als de druk namelijk hoger oploopt kan het injectiewater in sommige gevallen langs de zijkant van het reservoir stromen.

#### *Breuken*

Doorlatende breuken kunnen fungeren als migratiepad door de afsluitende laag. Zoutlagen vormen de ideale afsluiting van reservoirs omdat deze zich plastisch gedragen. Eventueel ontstane breuken sluiten zich weer in de zoutlaag. Klei(steen)lagen vertonen deze zelfhelende eigenschappen minder. Indien een opslagreservoir alleen afgesloten wordt door een klei(steen) formatie is het daarom van belang dat hier geen doorlatende breuken doorheen lopen.

### **10.5.4 Zoutoplossing (score -)**

Een bijzondere situatie bestaat waar productiewater wordt opgeslagen in een reservoir waar de afschermdende lagen (bestaande uit anhydriet) rond het reservoir worden omringd door steenzout. Omdat het injectiewater niet verzadigd is met zout, kan het injectiewater de steenzoutlaag ten dele oplossen, als deze in direct contact met elkaar komen. Er zijn extra studies gedaan naar de mogelijke oplosbaarheid van dit steenzout. Deze studies geven aan dat de kans op het oplossen van het steenzout op maatschappelijk relevante tijdschaal nihil is, zolang de juiste reservoirs voor waterinjectie gekozen worden.

De aanwezigheid van ondoorlaatbare en onoplosbare anhydriet- en kleilagen vormt een natuurlijke barrière tussen het injectiewater en het steenzout, wat daardoor niet in oplossing kan gaan. Er worden daarom opslagreservoirs gekozen waar geen of zo min mogelijk steenzout in direct contact staat met het injectiewater. Als dit toch gebeurt, raakt het injectiewater snel met zout verzadigd en stopt de oplossing alsnog. Er is namelijk een tweede voorwaarde voor zoutoplossing nodig: het injectiewater moet kunnen blijven stromen om steeds vervangen te worden door 'vers' injectiewater. Na beëindiging van de waterinjectie is er geen sprake meer van waterstroming.

In theorie zou op de lange termijn toch stroming kunnen ontstaan, omdat water dat het zout oplost zwaarder wordt dan het overige water. Hierdoor zakt het in het reservoir naar beneden en wordt het vervangen door vers water. Zo kan in theorie een convectie cel binnen het reservoir ontstaan, waardoor steeds onverzadigd water naar de zoutlaag getransporteerd wordt. Vanwege de reservoir eigenschappen kan water slechts zeer moeizaam verticaal stromen. Op basis van modelleringen van NAM duurt het daarom minimaal 8000 jaar voordat een dergelijk mechanisme zich kan vormen (Halite dissolution modeling, 2016; Evaluatierapport waterinjectie Twente, 2016). Uit de modelstudies bleek daarom dat deze risico's nihil zijn bij de juiste reservoir keuze. Uit een tweede studie (Subsidence caused by Halite dissolution due to water injection into depleted Carbonate gas reservoirs encased in Halite) is gebleken dat in het geval dat op termijn het injectiewater door zoutoplossing toch volledig zoutverzadigd zou worden, dit tot een bepaalde mate van regionale bodemdaling zou kunnen leiden, wat naar verwachting geen schade of milieurisico's tot gevolg zal hebben. Omdat de lange termijn risico's van zoutoplossing echter blijvende onzekerheden behouden wordt een enkel negatieve score toegekend (**score -**).

### **10.5.5 Verwerking restproducten: opslag in stortplaatsen aan maaiveld**

In alle alternatieven is sprake van waterzuivering. Uitzondering hierop zijn Alternatief 4 en de referentiesituatie, waar dit alleen als variant is onderzocht. Bij waterzuivering ontstaan restproducten. De meeste restproducten kunnen verwerkt worden door afvalverwerkers, zoals dit ook gebeurt bij andere waterzuiveraars in Nederland. De restproducten worden dan verbrand of hergebruikt. Dit levert geen lange termijn risico's op (**score 0**).

Alleen bij Alternatief 1: Vaste zoutproducten, wordt zodanig grote hoeveelheden zout geproduceerd, dat dit niet naar gewone verwerkers afgevoerd kan worden. Mogelijk kan dit zout direct hergebruikt worden, maar de kans is groot dat het langdurig of permanent opgeslagen moet worden in een speciale stortplaats. De opslag van dit zout in de biosfeer geeft daarom een langdurige belasting van de omgeving. Op de lange termijn bestaat het risico dat deze stortplaatsen degraderen en er reststoffen vanuit de stortplaatsen in de bodem kunnen infiltreren en zo tot milieuschade leiden. De kans dat dit gebeurt wordt op de (zeer) lange termijn als redelijk groot beschouwd. Alleen met expliciete voorzorgmaatregelen en een lange termijn beheerbeleid van de stortplaats is dit risico te verantwoorden. Daarom krijgt dit alternatief een dubbel negatieve score op de lange termijn risico's gerelateerd aan opslag van de restproducten (**score - -**).

### 10.5.6 Overzicht risico's lange termijn

De onderstaande tabel vat de score per alternatief en lange termijn risico samen. Dit leidt tot een totaalscore per alternatief, gebaseerd op de maximale score die optreedt binnen dat alternatief.

Tabel 10-13. Samenvatting risico's lange termijn per alternatief.

Risico lange termijn	Alternatief 1: Vast zout en schoon water lozen	Alternatief 2: Zout water naar de zee	Alternatief 3: Circulair Alternatief	Alternatief 4: Waterinjectie Drenthe	5: Referentiesituatie
Lekkage putten	N.v.t.	N.v.t.	-	-	-
Lekkage reservoir	N.v.t.	N.v.t.	0	0	0
Zoutoplossing	N.v.t.	N.v.t.	0	-	-
Restproducten	- -	0	0	0	0
<b>Totaal</b>	<b>- -</b>	<b>0</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>

Uit de tabel blijkt dat bij de volledige zuivering tot vast zout en lozing van schoon water het lange termijn risico dubbel negatief is (**score - -**), vanwege de grote opslag van de restproducten. De alternatieven met waterinjectie hebben een enkel negatieve beoordeling, vanwege de onzekerheden van opslag in de diepe ondergrond op lange termijn (**score -**). De lange termijn risico op lekkage van gassen uit de put en zoutoplossing kunnen negatieve effecten hebben. De kans dat deze risico's zich voordoen op een maatschappelijk relevante tijdschaal is echter klein, vanwege de genomen voorzorgsmaatregelen. Daarmee krijgen deze risico's een enkel negatieve beoordeling (**score -**). De lange termijn risico's op lekkage uit het reservoir worden als nihil beschouwd, vanwege de strenge selectie van de opslagreservoirs en voorzorgsmaatregelen bij injectie. Daarom krijgt dit risico een neutrale beoordeling (**score 0**). Het lozen van schoon zout water in zee leidt niet tot lange termijn risico's (**score 0**). Wat betreft de lange termijn risico's worden op basis van deze score geen alternatieven uitgesloten.

## 10.6 Toelichting kosten

Onderstaand is een indicatie van de kosten per alternatief weergegeven. Bij meer gedetailleerde uitwerking zal een begroting met grotere betrouwbaarheid mogelijk zijn. In de huidige situatie is uitgegaan van robuuste oplossingen, waarbij mogelijke kostenbesparingen bij optimalisatie zijn gemeld. Het huidige kostenniveau is als maatgevend gebruikt, hoewel gezien de langere doorlooptijd van nog circa 28 jaar hier in de toekomst afwijking van zal optreden.

Doel van het kostenoverzicht is een indruk te krijgen van de absolute kosten die bij de verschillende keuzes horen. Daarnaast maakt het kostenoverzicht de verschillen tussen verschillende alternatieven en varianten duidelijk. Daarmee kan worden gekomen tot een afweging van kosten ten opzichte van risico of milieueffect.

### 10.6.1 Methodiek om kosten te bepalen

Voor het vaststellen van de kosten voor de verschillende waterzuiveringsopties heeft Royal HaskoningDHV gebruik gemaakt van beschikbare kostenmodellen. Dit heeft betrekking op zowel de investeringskosten als de operationele kosten. Royal HaskoningDHV heeft hiervoor gebruik gemaakt van beschikbare kostenmodellen uit de Nederlandse waterindustrie, gebaseerd op eerder uitgevoerde projecten. Voor specifieke onderdelen zoals de MVR en kristallisatie unit zijn prijzen bij internationaal werkende leveranciers van dergelijke installaties opgevraagd. De investeringskosten en operationele kosten voor het watertransport en de waterinjectie zijn intern door NAM bepaald, op basis van eerdere door NAM uitgevoerde projecten. Het zijn relatief grove inschattingen, die in de praktijk nog aanzienlijk af kunnen wijken. Echter, het is de verwachting dat de orde grootte wel juist is en dat de onderlinge verschillen daadwerkelijk zullen optreden.

Voor de operationele kosten geldt dat de gehele periode van 2022 tot circa 2050 naar verwachting circa 28 jaar zal duren. Als indicatie van de kosten is nu rekening gehouden met een periode van 10 jaar. Dit is een benadering van de netto-contante-waarde methode, waarbij de huidige kosten en toekomstige kosten kunnen worden vergeleken.

Voor de alternatieven bestaan de aanlegkosten uit het ontwikkelen en realiseren van een waterzuivering, het selecteren van een leidingtracé en het aanleggen van watertransportleidingen, het realiseren van lozingspunten en daar waar waterinjectie wordt voortgezet in andere velden, het aanpassen van de benodigde locaties en putten.

#### Baten

Naast kosten zijn er voor de oliewinning Schoonebeek baten in de vorm van de oliewinning. Deze worden voor alle alternatieven en varianten gelijkgesteld, ervan uitgaande dat hetzelfde volume olie winbaar is. Doordat deze baten niet onderscheidend zijn, heeft dit geen invloed op de afweging tussen alternatieven en varianten.

### 10.6.2 Aanpassingen Schoonebeek

De hoeveelheid meegeproduceerd H<sub>2</sub>S zorgt ervoor dat aanpassingen bij het puttenveld van Schoonebeek noodzakelijk zijn. Het is daarbij de vraag in hoeverre de huidige leidingen van het Schoonebeekveld tussen de winputten en de OBI bestand zijn tegen de hogere H<sub>2</sub>S-gehalten in het oliewatermengsel. Hiervoor zijn modelberekeningen uitgevoerd en wordt het bestaande materiaal getoetst. Daaruit kan blijken dat het mogelijk is de productie voort te zetten, zonder maatregelen om de leidingen te beschermen.

In de huidige situatie wordt H<sub>2</sub>S in het oliewatermengsel geneutraliseerd door het toevoegen van H<sub>2</sub>S-binder. Het oliewatermengsel bevat in plaats van H<sub>2</sub>S dan veel H<sub>2</sub>S-binder. Er is geen effectieve waterzuivering bekend om de H<sub>2</sub>S-binder weer te verwijderen, zodat het als hulpmiddel in het productiewater aanwezig blijft. Toepassing van de H<sub>2</sub>S-binder voorkomt de kosten om leidingen te vervangen, maar leidt tot operationele kosten, geraamd op € 1,4 miljoen per jaar.



Als echter met een grotere risicofactor gerekend wordt, zouden aanpassingen aan de leiding nodig zijn. De afweging of de leidingen in het Schoonebeekveld aangepast moeten worden, is nog niet afgerond. Dit heeft echter aanzienlijke gevolgen voor de benodigde investeringen. Het geheel vervangen van de leidingen in het Schoonebeekveld door leidingen die resistent zijn voor hogere H<sub>2</sub>S-gehalten, zal naar verwachting circa € 140 miljoen kosten. Het vervangen van roestvrijstalen-leidingen leidt tot kosten in de aanlegfase. Deze kosten worden apart getoond naast de feitelijke kosten voor afvoer van productiewater.

### 10.6.3 Aanlegkosten

De aanlegkosten bestaan voornamelijk, afhankelijk per alternatief en variant, uit de kosten voor een waterzuivering, aanleg nieuwe transportleiding en aanpassing bij de injectielocaties.

#### Bouw van een waterzuivering

De kosten voor de aanleg van een waterzuivering verschillen per alternatief. De waterzuivering bestaat veelal uit meerdere stappen, die sterk verschillend kunnen zijn in kosten. De kosten bedragen:

- Alternatief 1, waarin een MVR en een kristallisatie eenheid wordt gebruikt, aanlegkosten circa € 61 miljoen;
- Alternatief 2, met een biologische zuivering, aanlegkosten circa € 45 miljoen;
- Alternatief 3, met een membraanzuivering, aanlegkosten circa € 33 miljoen.

#### Aanleg transportleidingen

Het aanleggen van transportleidingen heeft betrekking op de afvoer van water:

- Naar injectielocaties waarvoor een GRE-leiding wordt gebruikt;
- Naar oppervlaktewater om zoet water af te voeren of;
- Naar het noorden voor aansluiting op de VKA-leiding.

De kosten van de aanleg van nieuwe transportleidingen zijn onder meer afhankelijk van de lengte van het tracé en het aantal kruisingen met wegen en vaarten. Voor de aansluiting op de VKA-leiding zijn de kosten indicatief geraamd op € 55 miljoen.

#### Aanpassing waterinjectielocaties

Voor de ombouw van een gaswinlocatie en gaswinputten naar een injectielocatie met injectieputten bedragen de kosten circa € 2,5 miljoen per injectieput inclusief aansluiting op een bestaand pijplijn netwerk.

#### Kosten referentiesituatie

Voor alle alternatieven worden investeringskosten voorzien. In de referentiesituatie zal geen investering nodig zijn.

### 10.6.4 Operationele kosten

Tijdens de uitvoering van het project zijn er operationele kosten (OPEX). Deze bestaan bij de waterzuivering voor een belangrijk deel uit energiekosten en kosten voor chemicaliën. Bij het watertransport zijn er naar verwachting weinig kosten, behalve mogelijk voor het gebruik van de VKA-leiding. Bij waterinjectie kunnen energiekosten voor komen, in verband met de benodigde injectiedruk. De afvoer van reststoffen geeft kosten, tenzij deze nuttig hergebruikt kunnen worden. Daarnaast zijn er kosten voor onderhoud en beheer bij alle onderdelen.

### 10.6.5 Kosten per alternatief

#### Kosten Alternatief 1

- De totale aanlegkosten komen uit op (€ 140 miljoen en € 61 miljoen) € 201 miljoen;
- De operationele kosten bestaan uit kosten voor de waterzuivering, energie en chemicaliën, afvoer van het zoute restproduct geraamd op € 15 miljoen/jaar en voor een maatgevende periode van 10 jaar zijn de kosten € 150 miljoen;
- De kosten voor Alternatief 1 komen daarmee op € 351 miljoen.

De verkoop van puur product levert ten opzichte van de stort van gemengd zout jaarlijks circa € 6 miljoen op. In 10 jaar tijd zijn daarmee de operationele kosten circa € 60 miljoen lager dan bovengenoemd. Voor de aanleg en gebruik van de onthardingsstap worden de kosten op circa € 25 miljoen geraamd, zodat deze optie netto circa € 35 miljoen beter scoort.

#### Kosten Alternatief 2

- De totale aanlegkosten komen uit op (€ 140 miljoen, € 45 miljoen en € 55 miljoen) circa € 240 miljoen;
- De operationele kosten bestaan uit kosten voor de waterzuivering, energie en chemicaliën en afvoer wordt geraamd op € 1 miljoen per jaar, en voor een maatgevende periode van 10 jaar zijn de kosten € 10 miljoen;
- De kosten voor Alternatief 2 komen daarmee op € 250 miljoen.

#### Kosten Alternatief 3

- De totale aanlegkosten komen uit op (€ 60 miljoen aanpassing voor de waterzuivering en € 33 miljoen voor pijpleidingen) circa € 93 miljoen;
- De jaarlijkse productiekosten komen daarmee op € 1,8 en voor een maatgevende periode van 10 jaar zijn de kosten € 18 miljoen;
- De kosten voor Alternatief 3 komen daarmee op € 111 miljoen.

#### Kosten Alternatief 4

Bij dit alternatief zijn er verschillende varianten, waarbij de volgende kostencomponenten een rol spelen. Variant 4.1 is als volgt:

- De totale aanlegkosten komen uit op € 32 miljoen (inclusief 2 nieuwe putten);
- De jaarlijkse productiekosten komen daarmee op € 0,6 miljoen, en voor een maatgevende periode van 10 jaar zijn de kosten € 6 miljoen;
- De kosten voor Alternatief 4, variant 4.1 komen daarmee op € 38 miljoen.

In variant 4.2 wordt vermeden om biocide te gebruiken:

- Hierdoor zullen onderdelen van de injectiekids vervangen worden en flowlines gemaakt worden van hoogwaardiger duplex staal. Er zal in de levensduur toch nog een mate van corrosie kunnen optreden waarvoor reparatie wordt voorzien. De additionele kosten zijn € 5 miljoen;
- De kosten voor variant 4.2 komen daarmee op € 43 miljoen.

In variant 4.3 wordt het gebruik van biocide en H<sub>2</sub>S-binder vermeden:

- Hierdoor zullen de leidingen van Schoonebeek vervangen moeten worden. De kosten hiervan bedragen € 140 miljoen;
- De kosten voor variant 4.3 komen daarmee op € 183 miljoen.

#### Kosten referentiesituatie

- De jaarlijkse productiekosten komen op € 0,6 miljoen/jaar, en voor een maatgevende periode van 10 jaar zijn de kosten € 6 miljoen;
- De kosten voor referentiesituatie komen daarmee op € 6 miljoen.

### 10.6.6 Overzicht berekende kosten

In onderstaande tabel zijn de mogelijke kosten voor aanpassingen in het Schoonebeek veld aangegeven. Deze kunnen variëren, afhankelijk van de inschatting van materiaaleigenschappen. Daarnaast zijn de aanlegkosten en operationele kosten weergegeven.

Tabel 10-14. Overzicht geraamde kosten van de alternatieven, uitgedrukt in miljoen €.

Kosten	A1: Zout	A2: Zoutwater	A3: Brijn	A4: Injectie	5: Referentie
Schoonebeek pijpleidingen	140	140	-	-	-
Aanlegfase	61	100	93	32	-
Operationele fase	150	10	18	6	6
<b>Indicatie totaalkosten</b>	<b>351</b>	<b>250</b>	<b>111</b>	<b>38</b>	<b>6</b>

Uit de vergelijking blijkt dat Alternatief 4 de laagste aanlegkosten heeft. Bij de overige alternatieven bedragen de aanlegkosten tussen € 61 miljoen en € 100 miljoen. De operationele kosten van Alternatief 1 is aanzienlijk hoger dan bij de overige alternatieven en de referentiesituatie.

Inclusief de mogelijke kosten voor aanpassing van de leidingen bij Schoonebeek, komen de kosten voor Alternatief 1 het hoogste uit. Voor Alternatief 4 geldt dat de kosten vergelijkbaar zijn met de Referentiesituatie.

Tabel 10-15. Overzicht geraamde kosten van de varianten bij waterinjectie, uitgedrukt in miljoen €.

Kosten varianten Waterinjectie	A4.1:	A4.2:	A4.3:
Schoonebeek pijpleidingen	-	-	140
Aanlegfase	32	37	37
Operationele fase	6	6	6
<b>Indicatie totaalkosten</b>	<b>38</b>	<b>43</b>	<b>183</b>

Bovenstaande tabel geeft aan dat de varianten 4.2 en 4.3 bij waterinjectie duurder zijn dan het basis Alternatief 4.1. De kosten voor de aanpassingen voor variant 4.2 zijn beperkt vergeleken met de kosten voor aanpassing van de pijpleidingen in het Schoonebeekveld bij variant 4.3.

## 11 Resultaten van de CE-toetsing

### 11.1 Inleiding

De CE-toetsing zorgt ervoor dat de afweging van alternatieven voor waterinjectie gestructureerd kan plaatsvinden. Het heeft een multi-criteria karakter waarbij geen gewicht wordt gehangen aan de criteria, omdat juist de verschillen tussen de criteria van belang zijn. Op basis van de scores op de individuele criteria kunnen de initiatiefnemer en beleidsmakers hun eigen afweging maken welk alternatief het beste uitgevoerd of nader onderzocht moet worden.

In paragraaf 11.2 is ter ondersteuning van de afweging de tabel gegeven met de geclassificeerde scores. Vervolgens zijn in paragraaf 11.3 de belangrijkste aandachtspunten per alternatief gemeld en zijn in paragraaf 0 de belangrijkste verschillen toegelicht. Het onderzoek heeft plaatsgevonden op basis van de huidige inzichten en met voldoende detailniveau om tot een helder vergelijk te komen. Eventuele verder optimalisatie per alternatief is aangegeven in paragraaf 11.5.

### 11.2 Overzichtstabel

Alle resultaten van de CE-toetsing uit Hoofdstuk 10 zijn in onderstaande tabel samengevat.

Tabel 11-1. Samenvattend overzicht CE-toetsingscriteria per alternatief en voor de varianten.

Alternatieven	Milieu	Risico kort (na maatregelen)	Risico lang (na maatregelen)	Kosten (afgerond miljoen €)
Alternatief 1: Vast zoutproduct	- -	-	- -	351
Alternatief 2: Zoutwater naar zee	-	- -	0	250
Alternatief 3: Injectie brijn	-	-	-	111
Alternatief 4.1: Waterinjectie	- -	-	-	38
Variant 4.2: beperkt biocide	-	-	-	43
Variant 4.3: beperkt H <sub>2</sub> S-binder	-	-	-	183
Referentie Twente	-	-	-	6

Toelichting scores:

0 of 0/- = geen of vrijwel geen effect/risico, - = effect of risico gebruikelijk binnen industriële activiteit, - - = zodanig effect of risico dat mitigerende maatregelen uitgewerkt moeten worden om beperking te bereiken, - - - = te groot effect of risico, zodat het alternatief of de variant niet uitvoerbaar is.

Uit de overzichtstabel kunnen positieve en negatieve conclusies worden getrokken:

- Er zijn geen alternatieven op voorhand afgefallen, vanwege een score van drie minnen (- - -). Dat betekent dat in deze fase van het onderzoek alle alternatieven in de bestuurlijke afweging meegenomen kunnen worden.
- Geen van de alternatieven scoort op alle onderdelen optimaal, zodat bij iedere keuze uiteindelijk rekening gehouden moet worden met een groter of kleiner negatief effect.

Er zijn wel duidelijke verschillen tussen de alternatieven en varianten, waarbij deze soms beter scoren, maar soms ook juist slechter. Het volledig zuiveren van alle stoffen uit het water lijkt op de volle breedte slechter te scoren dan de andere alternatieven. Het zuiveren tot schoon zout water en vervolgens afvoeren naar zee lijkt juist op de breedte redelijk te scoren. De alternatieven met waterinjectie scoren beter als er niet ingedikt wordt en biocide wordt geminimaliseerd. Het risico van deze injectie-alternatieven op zowel de korte als lange termijn blijkt beperkt. De referentiesituatie scoort redelijk goed maar in geval van onderhoud aan of uitval van een put kan niet al het water opgenomen worden in de andere put.

Voor de korte termijn blijft het terugvoeren van productiewater in lege gasvelden de beste verwerkingsmethode van dit productiewater en wordt beschouwd als best beschikbare techniek.

## 11.3 Uitleg scores per alternatief

### 11.3.1 Alternatief 1: vast zoutproduct

#### Milieu score - - / optimalisatie - -

De dubbel negatieve score op milieu wordt veroorzaakt door de grote hoeveelheid energie die nodig is voor de waterzuivering (zowel de MVR als de kristallisatie). Er ontstaan veel reststoffen die voornamelijk niet hergebruikt kunnen worden. De lozing van reststoffen wordt als onwenselijk gezien, zeker gezien de hoeveelheid van circa 75 ton gemengd zout per dag. Bij het gebruik van chemicaliën ligt de nadruk op eenvoudige chemicaliën, met relatief weinig complexe chemicaliën.

Er zijn mogelijke optimalisaties, zowel ten aanzien van energieverbruik als door het toevoegen van een ontharding waardoor toepassingen voor hergebruik van het zoutproduct toenemen. Voornamelijk zijn er echter geen afnemende partijen beschikbaar voor hergebruik.

#### Risico korte termijn -

Het risico korte termijn, tijdens de uitvoering van de oliewinning, wordt vooral bepaald door de afvoer van het geproduceerde zout naar een stortplaats. Voor 75 ton per dag wordt uitgegaan van meerdere vrachtwagens die dagelijks gedurende vele jaren rijden. Dit geeft een negatieve score vanwege het risico op een ongeluk, met gevolgen voor mens (veiligheidsrisico) en milieu.

#### Risico lange termijn - -

Het lange termijn risico bestaat eruit dat voor vele generaties een stortplaats met onbruikbaar zout aanwezig is, dat uiteindelijk het risico heeft dat het zout naar de omgeving gaat lekken. Het zout kan dan oplossen en in de bodem en het zoete grondwater komen. Dit geeft een dubbel negatieve score.

#### Kosten € 351 miljoen

De kosten worden bepaald door de aanlegkosten van de waterzuivering van circa € 61 miljoen en het vervangen van de pijpleidingen van Schoonebeek voor € 140 miljoen. Bij de operationele kosten is het hoge energieverbruik medebepalend voor de jaarlijkse kosten van € 15 miljoen. Uitgaand van een periode van 10 jaar zijn de operationele kosten € 150 miljoen. De totale kosten zijn daarmee € 351 miljoen.

### 11.3.2 Alternatief 2: Zoutwater naar de zee

#### Milieu score -

Er zijn relatief weinig effecten op milieu bij dit alternatief. Het energieverbruik is laag ten opzichte van de andere alternatieven en er zijn weinig chemicaliën nodig. Er ontstaan reststoffen bij de zuivering, maar in zeer beperkte mate. Het calciumcarbonaat dat uit het productiewater gewonnen wordt, kan hergebruikt

worden voor nuttige toepassingen in de papierindustrie of rookgasreiniging. Alleen de afvoer van het gezuiverde zoute water naar zee geeft een negatieve score (totaal nul-negatief).

#### **Risico korte termijn - -**

De risico's voor mens en milieu zijn op korte termijn dubbel negatief. De toegepaste biologische zuivering is gevoelig voor procesverstoringen, waardoor verontreinigingen tijdelijk de zuivering kunnen passeren en in het milieu kunnen komen. Het water wordt afgevoerd naar de Eems, waar in de directe omgeving kwetsbare en beschermde gebieden zijn, zoals de Waddenzee. Het risico van dat hier ongewenste stoffen in terecht komen geeft een dubbel negatieve score.

#### **Lange termijn risico's 0**

Op lange termijn zijn er geen risico's. Na beëindiging van de oliewinning vinden geen activiteiten meer plaats en het afgevoerd zoute water is in de zee al lang vermengd.

#### **Kosten € 250 miljoen**

De totale kosten bedragen circa € 250 miljoen. Dit bestaat voornamelijk uit aanlegkosten voor leidingen bij Schoonebeek (€ 140 miljoen), de watertransportleiding om aan te sluiten op de VKA-leiding (€ 55 miljoen) en de aanleg van de benodigde zuiveringsinstallatie (€ 45 miljoen), in totaal € 210 miljoen. De jaarlijkse kosten voor zuivering en transport worden geraamd op € 0,5 miljoen (€ 5 miljoen in de maatgevende periode van 10 jaar).

### **11.3.3 Alternatief 3: Injectie brijn**

#### **Milieu score -**

Er is relatief weinig energie nodig voor de membraan-waterzuivering. Daarbij wordt wel gebruik gemaakt van complexe chemicaliën ter bescherming van leidingen en putten. De hoeveelheid reststoffen is beperkt.

#### **Risico korte termijn -**

De risico's voor mens en milieu op korte termijn hebben vooral betrekking op een mogelijke lekkage van productiewater in de biosfeer. Beide zijn niet uit te sluiten, maar als ze optreden in omvang beperkt, zodat het effect tijdelijk en beperkt is. Dit geeft een enkel negatieve score.

#### **Risico lange termijn -**

De lange termijn risico's hebben betrekking tot het opgeslagen water in de diepe ondergrond. Het water zal in de diepe ondergrond blijven. Risico's van migratie van resterend gas uit het reservoir via de putten, wordt als potentieel risico gezien. Het risico en de gevolgen hiervan worden over een lange periode als beperkt gezien.

#### **Kosten € 111 miljoen**

De aanlegkosten van de waterzuivering en de aanpassing bij waterinjectielocaties bedragen circa € 93 miljoen. Verder zijn er operationele kosten, onder meer voor het energieverbruik bij de waterzuivering. Deze komen op circa € 1,8 miljoen per jaar. In 10 jaar tijd zijn de operationele kosten € 18 miljoen.

### **11.3.4 Alternatief 4: Waterinjectie in Drenthevelden**

#### **Milieu score - - / - / -**

De milieuscore wordt bepaald door het toevoegen van zowel biocide als H<sub>2</sub>S-binder in het productiewater. Hiervoor zijn relatief veel complexe chemicaliën nodig. Het energieverbruik is echter laag en er zijn vrijwel geen reststoffen. Bij de varianten wordt minder biocide (variant 4.2) en H<sub>2</sub>S-binder (variant 4.3) toegepast, waardoor de milieuscore komt tot een score -.

**Risico korte termijn -**

De risico's voor mens en milieu op korte termijn hebben vooral betrekking op een mogelijke lekkage van productiewater in de biosfeer en mogelijke aardbevingen. Beide zijn niet uit te sluiten, maar als ze optreden in omvang beperkt, zodat het effect tijdelijk en beperkt is. Dit geeft een enkel negatieve score. Bij de variant 4.3 wordt geen H<sub>2</sub>S-binder gebruikt, waardoor het getransporteerde productiewater H<sub>2</sub>S zal bevatten. Dit is echter in relatief lage concentraties.

**Risico lange termijn -**

De lange termijn risico's hebben betrekking tot het opgeslagen water in de diepe ondergrond. Het water zal in de diepe ondergrond blijven. Risico's van zoutoplossing op lange termijn of migratie van resterend gas uit het reservoir via de putten, wordt als potentieel risico gezien. Het risico en de gevolgen hiervan worden over een lange periode als beperkt gezien.

**Kosten € 38 miljoen / varianten € 43 miljoen / € 183 miljoen**

Aanpassing van de putten, putlocaties en bij Schoonebeek kosten naar verwachting circa € 32 miljoen. De operationele kosten in een periode van 10 jaar zijn circa € 6 miljoen.

Bij de varianten zijn er aanvullende kosten:

- Bij variant 4.2 wordt geen biocide toegepast. Dat betekent dat er een hoogwaardiger staal nodig is en toekomstige reparatie (€ 5 miljoen).
- Bij variant 4.3 wordt bovendien geen H<sub>2</sub>S-binder toegepast. De verwachting is dat daarvoor de leidingen bij Schoonebeek vervangen moeten worden. Dit wordt geraamd op € 140 miljoen extra.

**11.3.5 Referentiesituatie: Injectie in Twente****Milieu score -**

De milieuscore wordt bepaald door het toevoegen van H<sub>2</sub>S-binder in het productiewater. Hiervoor zijn relatief veel complexe chemicaliën nodig. Het energieverbruik is echter laag en er zijn vrijwel geen reststoffen. Hierdoor ontstaat een milieuscore van -.

**Risico korte termijn -**

De risico's voor mens en milieu op korte termijn hebben vooral betrekking op een mogelijke lekkage van productiewater in de biosfeer en mogelijke aardbevingen. Beide zijn niet uit te sluiten, maar als ze optreden in omvang beperkt, zodat het effect tijdelijk en beperkt is. Dit geeft een enkelvoudige negatieve score.

**Risico lange termijn -**

De lange termijn risico's hebben betrekking tot het opgeslagen water in de diepe ondergrond. Het water zal in de diepe ondergrond blijven. Risico's van zoutoplossing op lange termijn of migratie van resterend gas uit het reservoir via de putten, wordt als potentieel risico gezien. Het risico en de gevolgen hiervan worden over een lange periode als beperkt gezien.

**Kosten € 6 miljoen**

De jaarlijkse productiekosten komen op € 0,6 miljoen, en voor een maatgevende periode van 10 jaar zijn de kosten € 6 miljoen.

## 11.4 Belangrijkste verschillen

### Milieueffecten bij waterzuivering meest opvallend

Bij een volledige zuivering van het productiewater tot vaste stof (Alternatief 1) ontstaat de grootste milieubelasting, door een hoog energie- en chemicaliënverbruik, en het ontstaan van veel reststof. Transport van schoon zout water naar een lozingspunt op zee (Alternatief 2) geeft een lagere milieubelasting. Voor waterinjectie geldt dat de milieubelasting relatief laag is (Alternatief 4 en de Referentiesituatie). Bij variant 4.2 en variant 4.3 worden biocide en H<sub>2</sub>S-binder vermeden en dit geeft de lagere milieubelasting.

### Korte termijn risico's, bij lozing op Eems

Het onderzoek geeft aan dat er geen onacceptabele risico's ontstaan bij de onderzochte alternatieven en varianten. De belangrijkste korte termijn risico's bestaat uit mogelijk ongewenste stoffen in het water bij de Eems (Alternatief 2). Operationele risico's bij waterinjectie hebben vooral betrekking op het veelvuldig vrachttransport naar een stortlocatie (Alternatief 1) en de mogelijkheid van een lekkage bij een transportleiding of put of een aardbeving. Door een selectie van de injectieputten en de toegepaste monitoring is dit risico beperkt. Mocht zich toch een lekkage of bodemtrilling voordoen, dan zal dit geregistreerd worden door het monitoringsnetwerk en worden passende maatregelen genomen, zoals weergegeven in het aardbevingsprotocol.

### Lange termijn risico's, vooral het beheer van een stortplaats met zout

Lange termijn risico's zijn risico's voor mens en milieu die nog generaties na de beëindiging van de olieproductie in Schoonebeek blijven bestaan. Het belangrijkste lange termijn risico ontstaat bij Alternatief 1, in het geval het zoutproduct in een stortplaats wordt opgeslagen. De kans dat dit zout uiteindelijk in het milieu terecht komt, is aanwezig en de negatieve effecten hiervan zijn groot. Ondergronds zijn er risico's van lekkage van resterende gassen of zoutoplossing. Het geïnjecteerde water zal in de diepe ondergrond blijven. Bij lozing van het water in zee treden geen risico's meer op na beëindiging van de waterlozing.

### Kosten treden in alle gevallen op, maar waterzuivering blijkt meest kostbaar

De kosten van de waterinjectie alternatieven bij Schoonebeek (alternatief 4) liggen in de orde van circa € 30 miljoen. Dit met name aanlegkosten. Voor de waterinjectie in Twente (Referentiesituatie) gaat het om € 6 miljoen aan operationele kosten. De drie alternatieven met waterzuivering leiden tot veel hogere kosten, variërend van circa € 111 miljoen (Circulair Alternatief 3), € 250 (Alternatief 2 zout water naar zee) en circa € 351 miljoen (Alternatief 1 met vast zoutproduct).

## 11.5 Verdere optimalisaties

Bij de selectie van alternatieven is gekozen voor robuuste oplossingen, om ervoor te zorgen dat de kans dat ze daadwerkelijk uitvoerbaar zijn, zo groot mogelijk is. In het onderzoek zijn onderstaande 3 optimalisaties benoemd en beperkt uitgewerkt. Als deze optimalisaties worden toegepast, kunnen de effecten en kosten op onderdelen lager uitvallen.

1. Hergebruik van reststoffen. Er wordt alleen uitgegaan van mogelijk hergebruik als dit al aantoonbaar mogelijk is. Vooral bij Alternatief 1 geeft hergebruik van de zoutproducten een vermindering van de negatieve score.
2. Op de productielocaties in het Schoonebeek olieveld wordt H<sub>2</sub>S-binder gebruikt om de leidingen te beschermen tegen H<sub>2</sub>S-corrosie. De H<sub>2</sub>S-binder komt ook in het productiewater terecht. Bij Alternatief 1 en 2 en bij Alternatief 4 variant 4.3 moet de H<sub>2</sub>S-binder verwijderd worden. Omdat dit thans niet mogelijk is, moet het gebruik van de H<sub>2</sub>S-binder vermeden worden.



Daarom worden bij deze alternatieven de leidingen in het Schoonebeek olieveld vervangen door H<sub>2</sub>S-resistente leidingen, waarvoor de kosten zijn geraamd op € 140 miljoen. Nader onderzoek moet uitwijzen of het toch mogelijk is om H<sub>2</sub>S-binder uit het productiewater te verwijderen met bijvoorbeeld ozon. In dat geval kan H<sub>2</sub>S-binder worden toegepast en hoeven de leidingen niet vervangen te worden en vervalt deze kostenpost van € 140 miljoen bij Alternatief 1 en 2, en bij Alternatief 4 bij de variant 4.3.

In de onderstaande tabel zijn de mogelijkheden voor optimalisatie en de belangrijkste scorebepalende factoren opgenomen.

Tabel 11-2. Samenvattend overzicht CE-toetsingscriteria per alternatief en varianten, met mogelijke optimalisaties en toelichting bepalende aspecten.

Alternatieven	Milieu	Risico kort (na maatregelen)	Risico lang (na maatregelen)
Alternatief 1: Vast zoutproduct	Hoog energieverbruik voor destillatie en kristallisatie (- -)	Hoge waarschijnlijkheid van ongelukken bij wegtransport (-)	Mogelijke uitloging van zouten vanuit de stortplaats (- -)
Optimalisatie: Hergebruik zouten (onzekerheid afname)	Minder restproducten, hergebruik kalk en zout (- -) / (-)	Idem (-)	Bij hergebruik van kalk en zout is er slechts beperkt langdurige stort nodig (-)
Alternatief 2: Zoutwater naar zee	Afvoer zout met beperkte overige stoffen in Eems (-)	Risico op verontreiniging van de Eems, en verspreiding naar natuurgebied (- -)	Geen lange termijn risico's (0)
Alternatief 3: Injectie brijn	Aanmaak van chemicaliën en mijnbouwhulpstoffen geeft milieueffecten (-)	Risico bij transport blijft lokaal, risico ondergrond lekkage (-)	Alleen onzekerheden voor diepe ondergrond of gaslekkage bij de put (-)
Alternatief 4: Waterinjectie	Aanmaak van mijnbouwhulpstoffen geeft milieueffecten (- -)	Risico bij transport blijft lokaal, risico ondergrond lekkage en aardbevingen (-)	Diepe ondergrond, effect beperkt, niet uit te sluiten (-)
Varianten bij 4:	Beperking mijnbouwhulpstoffen (-)	Idem (-)	Idem (-)
Referentie Twente	Aanmaak van mijnbouwhulpstoffen geeft milieueffecten (-)	Risico bij transport blijft lokaal, risico ondergrond lekkage en aardbevingen (-)	Diepe ondergrond, effect beperkt, niet uit te sluiten (-)

Toelichting scores: **0 of 0/-** = geen of vrijwel geen effect/risico, **-** = effect of risico gebruikelijk binnen industriële activiteit, **- -** = zodanig effect of risico dat mitigerende maatregelen uitgewerkt moeten worden om beperking te bereiken, **- - -** = te groot effect of risico, zodat het alternatief of de variant niet uitvoerbaar is.

## 12 Duiding van de bevindingen

### 12.1 Inleiding

De Herafweging 2022 voor de verwerking van het productiewater van oliewinning Schoonebeek is een bijzonder onderzoek, omdat er alternatieven zijn onderzocht en vergeleken terwijl de oliewinning al operationeel is. Zoals aangegeven in paragraaf 2.3 (Doel van de Herafweging) is opnieuw getoetst of waterinjectie in Twente nog steeds de best mogelijke techniek is om het productiewater uit Schoonebeek te verwerken.

Er hebben zich inmiddels een aantal incidenten voorgedaan bij het transport van het productiewater en bij de injectieputten, waardoor de oorspronkelijk voorziene waterinjectie slechts voor een deel kan plaatsvinden. Als gevolg hiervan is NAM zelf al tot de conclusie gekomen dat de waterinjectie in Twente tot een stop zal komen. Dit betekent dat minimaal één van de alternatieven in meer detail uitgewerkt zal worden, waarbij mogelijk ook aspecten van alternatieven worden gecombineerd.

In dit hoofdstuk vindt een duiding van de bevindingen plaats. Hierin is een beschrijving gegeven hoe tegen waterinjectie in iets algemenere zin kan worden aangekeken en hoe dit past in het beleid van benutting van de ondergrond in Nederland. In paragraaf 12.2 zijn antwoorden gegeven op de vier centrale vragen uit paragraaf 2.3. In paragraaf 12.3 is ingegaan op de status van de onderzochte alternatieven. Paragraaf 12.4 benoemt de kernvragen gericht op waterinjectie die vanuit de samenleving worden gesteld. Ten slotte zijn in paragraaf 12.5 enkele overwegingen in de afweging van effecten in de biosfeer en risico's van de diepe ondergrond gegeven.

### 12.2 Antwoorden op centrale vragen

*Vindt het huidige proces van watertransport en -injectie plaats conform de oorspronkelijke verwachtingen?*

Sinds het herstel van de transportleiding met een pijp-in-pijp constructie in 2016 is de waterinjectiecapaciteit lager dan voorheen en wordt alleen nog water geïnjecteerd in het Rossum-Weerselo veld. Bij het Rossum-Weerselo veld zijn er ook beperkingen in het gebruik van de aanwezige putten. Put ROW-3 is gesloten omdat de injectiviteit tegenviel. De afgelopen jaren zijn de putten ROW-2 en ROW-4 onvoldoende betrouwbaar gebleken en deze worden niet meer gebruikt voor waterinjectie. Er is geen gevaar geweest voor mens en milieu. Daardoor blijven naar verwachting alleen ROW-5 en ROW-7 over (na beoordeling van diverse onderzoeken door SodM). Deze omstandigheden leiden ertoe dat de mogelijkheden van waterinjectie in de Twentevelden zijn beperkt ten opzichte van de oorspronkelijke opzet.

Het oliereservoir reageert op bepaalde vlakken afwijkend ten opzichte van de oorspronkelijke verwachting tijdens de aanvraag van de vergunningen. Hierdoor is de operationele bandbreedte voor sommige parameters in de vergunning krap gedefinieerd. Dit geldt specifiek voor de van nature aanwezig stof toluene, waarvoor al gedurende de gehele productieperiode blijkt dat deze regelmatig net boven de maximale waarde van de vergunning komt. SodM heeft aangegeven dat overschrijding bij deze hoeveelheden geen negatieve gevolgen heeft gehad<sup>25</sup> voor mens en milieu. NAM heeft eind 2021 de oliewinning opnieuw stopgezet om te komen tot een aanpassing waardoor het toluengehalte weer onder de maximale waarde in de vergunning komt.

<sup>25</sup> <https://www.sodm.nl/documenten/rapporten/2022/02/14/beoordeling-sodm-geactualiseerd-waterinjectierapport-twente-2020-nam>

*Welke nieuwe technische inzichten en technieken zijn beschikbaar gekomen en welke nieuwe ontwikkelingen?*

In de aanloop naar de Herafweging 2022 heeft NAM een brede marktconsultatie uitgevoerd naar mogelijke zuiveringstechnieken. Ontwikkeling van de membraantechnologie is een belangrijke vernieuwing die in de afweging is meegenomen. Het toepassen van membraantechnologie maakt het mogelijk de waterstroom in te dikken waardoor er meer opties voor de reststroom ontstaan. De reststroom kan dan ook terug in het olieveld worden geïnjecteerd. En bij indikken komt schoon water beschikbaar om te gebruiken voor stoomproductie, waardoor er geen of aanzienlijk minder oppervlaktewater nodig is. Dit circulair gebruik van water is verwerkt in het zogenaamde Circulair alternatief.

Het Circulair Alternatief komt hierdoor op het aspect milieu, risico korte termijn en risico lange termijn dicht bij de waterinjectie alternatieven te liggen. De kosten zijn echter in de aanlegfase en operationele fase aanzienlijk hoger.

*Zijn er mogelijkheden om de hoeveelheid hulpstoffen in het productiewater te beperken?*

Voor de biocide wordt door NAM onderzoek gedaan naar biologische afbreekbaarheid. Dit geldt eveneens voor de emulsiebreker, in samenwerking met de leverancier van deze hulpstof. Deze corrosie-remmer is door SodM voorgeschreven vanwege de putveiligheid. Het gebruik wordt geminimaliseerd en is op vergelijkbaar niveau als toegepast bij geothermie.

Bij de H<sub>2</sub>S-binder wordt onderzoek uitgevoerd. Met behulp van bijvoorbeeld zogenaamde ozon skids wordt onderzocht of de H<sub>2</sub>S-binder afgebroken kan worden. Hiervoor zal een test worden uitgewerkt.

*Zijn er inmiddels andere reservoirs beschikbaar gekomen, of komen deze op termijn beschikbaar, die geschikt zijn voor waterinjectie?*

In het MER 2006 was aangegeven dat waterinjectie kan plaatsvinden in leeg geproduceerde gasvelden. In de nabijheid van Schoonebeek waren indertijd de gasvelden nog in productie. Daarom is toen gekozen voor transport van productiewater naar de leeg geproduceerde gasvelden in Twente. Inmiddels zijn de gasvelden nabij Schoonebeek grotendeels leeg geproduceerd. In 2016 zijn meerdere gasvelden in Drenthe als alternatief in beeld gebracht. Inmiddels is er voldoende capaciteit beschikbaar nabij Schoonebeek in het Schoonebeek gasveld, zodat de andere velden in de Herafweging 2022 niet zijn meegewogen.

In het verlengde van de optie waarbij de waterstroom sterk wordt ingedikt, is gekeken naar de mogelijkheden om de ingedikte waterstroom te injecteren in een deel van het oliereservoir Schoonebeek. Dit is verwerkt in het Circulair alternatief.

## 12.3 Status onderzochte alternatieven

### Op specifieke onderdelen meer detail meegenomen

Verschillende zuiveringsopties die aansluiten op de waterkwaliteit van het productiewater zijn in detail bekeken. De normen voor lozing of opslag en mogelijke risico's zijn sturend bij de technische uitwerking van alle alternatieven. Met deze verdiepingsslagen is een onderbouwd beeld ontstaan om op hoofdlijnen de gevolgen van keuzes te bepalen.

### Kunnen alternatieven gezond en veilig worden toegepast?

In het onderzoek zijn naast waterinjectie in Twente, vier alternatieve mogelijkheden voor de verwerking van productiewater aan bod gekomen. De eerste, meest voor de hand liggende vraag, is of alle vier de genoemde alternatieven op basis van de bevindingen haalbaar en wenselijk worden geacht. Of zijn er alternatieven, waarvan nu al gezegd kan worden dat deze niet voldoen aan de uitgangspunten van veiligheid en gezondheid of een te grote milieubelasting hebben?

Zoals blijkt uit de resultaten van deze Herafweging, lijken er op dit moment voor geen van de vier uitgewerkte alternatieven redenen om deze vanuit milieutechnische en risico-overweging als onhaalbaar te kwalificeren. Wel zijn er duidelijke randvoorwaarden met betrekking tot de uitvoering, monitoring en te ondernemen maatregelen bij ongewenste situaties. Er zijn duidelijke verschillen op de gebieden van milieubelasting, mogelijke risico's en kosten, waardoor het mogelijk is tot een voorkeur te komen.

Bij de uitwerking zijn de te verwachten kosten in beeld gebracht, zonder na te gaan in hoeverre dit commercieel daadwerkelijk realiseerbaar is. De haalbaarheid van de alternatieven zal op dit punt door de NAM in combinatie met de oliewinning van Schoonebeek nog nader uitgewerkt moeten worden.

## 12.4 Kernvragen gericht op waterinjectie

### Toets op veiligheid en gezondheid

De Herafweging van verschillende verwerkingsmogelijkheden van het productiewater vanuit de oliewinning Schoonebeek is voor een belangrijk deel ingegeven door onzekerheden met betrekking tot de huidige verwerking van productiewater via waterinjectie in de leeggeproduceerde gasvelden in Twente. De centrale vraag is, in hoeverre er risico's zijn voor de veiligheid en gezondheid van mensen, dieren en natuur. Het onderzoek geeft aan dat hiervoor in het bijzonder van belang is dat geen lekkage plaatsvindt bij de transportleidingen of bij de putten, dat er geen zwaardere aardbevingen optreden en dat de integriteit van de zoutlagen boven en onder de waterinjectiereservoirs niet aangetast wordt door zoutoplossing. Daarbij is ook onderzocht wat de mogelijke gevolgen zouden kunnen zijn als deze ongewenste situaties toch zouden optreden.

### Voorkomen lekkage transportleiding, gevolgen lekkage naar biosfeer

Bij het transport van productiewater via een pijpleiding geldt dat het risico van een nieuwe lekkage niet is uit te sluiten, wel te minimaliseren. Ondanks mitigerende maatregelen en goede monitoring, kan een lekkage toch nog optreden. Het gevolg van een lekkage zal niet veel anders zijn dan de gevolgen van lekkages uit andere soorten transportleidingen, die in Nederland aanwezig zijn, mits de transportleiding zich niet in of nabij kwetsbare gebieden bevindt. Er komt zoutwater in het milieu met beperkte overige stoffen, waarvoor een sanering is vereist. Uit de al opgetreden lekkage is gebleken dat dit met de huidige kwaliteit van het productiewater geen gevaar voor de gezondheid of veiligheid oplevert.

- Voor de transportleiding geldt met de huidige (en in de toekomst verwachte) kwaliteit van het productiewater dat de gevolgen van een lekkage lokaal en beperkt zijn, mits de transportleiding zich niet in of nabij een kwetsbaar gebied (Natuurgebied of Grondwaterbeschermingsgebied) bevindt.

### Voorkomen lekkage bij de injectieput, gevolgen lekkage naar biosfeer

Waterinjectie vindt plaats via een injectieput, die goed afgescheiden is van de directe omgeving. Corrosie van de putwand moet worden voorkomen en rondom de put is cementering aanwezig. Mocht er toch water uit de put in de ondergrond terecht komen, dan zal dit naderhand kunnen worden gesaneerd via een grondwatersanering.

- Voor lekkage rond de put geldt dat met de huidige kwaliteit van het productiewater de gevolgen van een lekkage lokaal en beperkt zijn, mits de injectieput zich niet in of nabij een kwetsbaar gebied (Natuurgebied of Grondwaterbeschermingsgebied) bevindt.

### Voorkomen aardbevingen bij waterinjectie, gevolgen aardbevingen

Bij waterinjectie in leeg geproduceerde gasvelden kunnen nieuwe aardbevingen optreden ten gevolge van de verandering van de druk in de ondergrond. Door een goede selectie van reservoirs en putten kan de kans op een aardbeving zo klein mogelijk worden gemaakt.

- Bij waterinjectie geldt dat alleen reservoirs zijn geselecteerd waarbij tijdens de gaswinning geen of zeer beperkte aardbevingen hebben plaatsgevonden (met magnitude kleiner dan 2,5 op de schaal van Richter).
- Alleen injectieputten op afstand van de breukzone worden geselecteerd om de kans op het heractiveren van de breukzones zo klein mogelijk te maken.
- Ter plaatse van de injectievelden zal met behulp van geofoons en versnellingsmeters continue monitoring moeten plaatsvinden. In geval van een aardbeving met een kracht groter dan 3 op de schaal van Richter zal de waterinjectie moeten worden stopgezet voor nader onderzoek.

### **Voorkomen zoutoplossing bij injectiereservoir, gevolgen zoutoplossing**

Als het onverzadigde geïnjecteerde water in aanraking komt met de bovenliggende zoutlagen, kan oplossing van zout ontstaan.

- Bij waterinjectie geldt dat alleen reservoirs worden gebruikt waarbij een betrouwbare scheidende laag aanwezig is tussen het reservoir en de zoutlagen.
- Ter plaatse van de injectieput zal regelmatige monitoring plaats vinden, om te bepalen of er langs de putwand geen zout in oplossing gaat.
- Bij breukzones moet zoutoplossing voorkomen worden, door alleen de injectieputten op afstand van de breukzone te selecteren en door monitoring van bodemdaling.

Met bovenstaande maatregelen, bestaande uit een gerichte selectie van putten en reservoirs, in combinatie met een effectief monitoringsprogramma, kan waterinjectie worden toegepast zonder gevaar voor de gezondheid en veiligheid.

## **12.5 Afweging effecten in biosfeer en risico ondergrond**

De alternatieven zonder waterinjectie leiden tot effecten op het milieu en andersoortige risico's. De onzekerheden hiervan zijn minder doordat effecten zichtbaar en meetbaar zijn aan het maaiveld. Op milieugebied zal meer energiegebruik nodig zijn, meer chemicaliën worden verbruikt en er ontstaat een reststof waarvoor verwerking nodig is. Het vaste zoutproduct zal opgeslagen moeten worden wat ruimtelijke gevolgen heeft, of anders zal het zoute water afgevoerd worden naar zee. De kosten voor deze alternatieven worden hoger geraamd dan de kosten voor het waterinjectie alternatief.

### **Afweging bekende effecten en risico's versus minder effecten en meer onzekerheden**

De Herafweging laat zien dat het mogelijk is oplossingen voor de verwerking van productiewater te vinden, zonder gebruik te maken van de ondergrond. Deze oplossingen zorgen er voor dat alle mogelijke risico's van ondergrondse opslag worden voorkomen.

### **Oplossingen zonder waterinjectie hebben meer milieugevolgen in de biosfeer**

Het nadeel van de oplossingen zonder waterinjectie, is gelegen in de milieueffecten en risico's voor de biosfeer. De afweging laat zien dat op het gebied van energieverbruik, toepassen van chemicaliën voor de waterzuivering en de verwerking van reststoffen, het milieu meer belast wordt, als er geen waterinjectie wordt toegepast. De complexiteit om de oplossingen zonder waterinjectie te realiseren, binnen de milieurandvoorwaarden, is relatief groot. Hierdoor nemen de kosten toe, en bestaat de kans dat bij nadere uitwerking nog aanvullende maatregelen nodig zijn, om milieueffecten verder te beperken.

**Minimaliseren onzekerheden in de ondergrond, nooit helemaal uit te sluiten**

Bij alle gebruik van de diepe ondergrond, moet rekening worden gehouden met onzekerheden, en het vermogen om te kunnen gaan met onzekerheden. Door zorgvuldige keuze van reservoirs en injectieputten, kunnen de operationele risico's beperkt worden ten aanzien van mogelijke aardbevingen en zoutoplossing. De samenstelling van het te injecteren water is, gezien het van nature aanwezige water in de formatie, meer beleidsmatig dan technisch van belang. Lange termijn risico's zijn lastiger te voorspellen en te monitoren. Gezien de relatief grote diepte ligt het voor de hand dat waterinjectie niet tot lokale effecten zal leiden, maar hooguit tot bodembeweging over een groter gebied. Vooralsnog lijkt, op basis van de ervaringen van de afgelopen decennia, bij waterinjectie de beheersbaarheid van de onzekerheden voldoende geborgd.

**Watertransportleiding zoals veel voor komt in Nederland**

Watertransport maakt, met verschillende watersamenstelling, onderdeel uit van zowel de oplossingen met als zonder waterinjectie. Een goed systeem om de integriteit van de watertransportleiding te borgen en als er een lekkage optreedt snel op te lossen, is van groter belang dan de specifieke samenstelling van het te transporteren water. De risico's van de transportleiding zijn vergelijkbaar met bestaande risico's bij veel andere aanwezige transportleidingen in Nederland.

**Effecten in biosfeer of onzekerheden in de ondergrond**

Uiteindelijk is het daarmee de vraag of de hogere kosten en grotere milieubelasting van bovengrondse oplossingen opwegen tegen de genoemde onzekerheden en risico's van de ondergrondse opslag van productiewater.

## 12.6 Voornemen NAM ten aanzien van verwerking productiewater in de nabije toekomst

De bevindingen in de Herafweging 2022 laten zien dat waterinjectie in Twente steeds meer beperkingen met zich meebrengt. Het laat ook zien dat NAM goede alternatieven nabij Schoonebeek heeft voor het terugvoeren van productiewater. Inmiddels is NAM bezig met het verder uitwerken van waterinjectie rondom Schoonebeek.

Politiek en overheden wensen dat NAM op relatief korte termijn stopt met waterinjectie in Twente. NAM heeft zelf tevens het voornemen uitgesproken om de waterinjectie in Twente te stoppen wanneer waterinjectie bij Schoonebeek operationeel is. Daarbij wordt de opgedane kennis en ervaring van waterinjectie Twente gebruikt, met intensieve monitoring en interne signaleringsorganisatie. Ook krijgt materiaalkeuze voor putten en leidingen extra aandacht.

Aanvullend heeft NAM het voornemen om te blijven onderzoeken hoe de productiewater verwerking beter en schoner kan. Voor de mijnbouwhulpstoffen biocide en emulsiebreker wordt onderzoek gedaan naar biologische afbreekbaarheid. Voor H<sub>2</sub>S-binder wordt onderzocht of deze afgebroken kan worden met zogenaamde ozon skids. Voor het productiewater zelf en de daarin van nature voorkomende stoffen wordt gestreefd naar circulariteit waarbij het terugvoeren van deze stoffen naar de diepe ondergrond in Schoonebeek centraal staat.

## 13 Omgaan met onzekerheden in de afweging

### 13.1 Inleiding

Het gebruik van de ondergrond heeft als voordeel dat verwerking van het productiewater niet zichtbaar en storend op maaiveld plaatsvindt. Het heeft als nadeel dat niet alle processen direct zichtbaar zijn. Dat betekent dat er onzekerheden bestaan en dat gebruik van de ondergrond alleen mogelijk is met beheersing van deze onzekerheden. De onzekerheden worden beperkt door het verzamelen van informatie uit seismische metingen, uit boring, uit de winning processen van aardgas en aardolie, door monitoring en door gedetailleerde modelleringen. Daar waar zich onzekerheden voordoen die mogelijk tot te grote risico's kunnen leiden, kan meer specifiek detailonderzoek worden uitgevoerd. Dit heeft NAM uitgewerkt in het Waterinjectie Management Plan dat wordt getoetst door de toezichthouder.

In de Herafweging zijn aannames gedaan bij de uitgangspunten voor de berekeningen. Er is gebruik gemaakt van ervaringen uit vergelijkbare activiteiten en op andere punten is er sprake van deskundigenoordeel. Als gevolg hiervan moet bij de uitkomsten rekening gehouden worden met mogelijke afwijkingen en onzekerheden. Dit betekent dat het van belang is, om bewust te zijn van de aanwezige onzekerheden en de mogelijke gevolgen hiervan voor de afwegingen. In dit hoofdstuk zijn de onzekerheden en de gevolgen hiervan benoemd. In het verlengde is aangegeven, welke monitoring kan worden toegepast en waar detailonderzoek tot een scherper inzicht kan leiden.

### 13.2 Onzekerheden en leemten in kennis

De oliewinning Schoonebeek en de verwijderingsopties voor het productiewater vormen samen een technisch complex integraal systeem. De verschillende onderdelen van het systeem hebben een eigen dynamiek. Doordat de onderdelen als een keten aan elkaar verbonden zijn, werkt de dynamiek ook door in volgende onderdelen. Bijvoorbeeld, een verandering in de oliewinning, zoals het aan- of uitschakelen van putten, kan gevolgen hebben voor de hoeveelheid en samenstelling van het productiewater. In het gehele systeem komen veel dynamische onderdelen voor, met gevolgen verderop in het systeem, waarbij het productiewater als één van de laatste onderdelen van het systeem door alle voorgaande onderdelen wordt beïnvloed. Hierdoor moet voor de hoeveelheid en samenstelling van het productiewater rekening worden gehouden met een bandbreedte.

#### **Beperken van onzekerheden door uit te gaan van robuuste oplossingen**

Bij de uitwerking van de alternatieven is onderscheid gemaakt tussen robuuste oplossingen en mogelijke optimalisaties. In deze fase is zoveel mogelijk uitgegaan van de robuuste oplossing, waarbij de onzekerheid zo klein mogelijk is gemaakt. Bij de optimalisaties ontstaan gunstiger omstandigheden, maar er is wel steeds een robuuste terugvaloptie nodig voor het geval de optimalisatie uiteindelijk niet mogelijk blijkt.

#### **Functioneren alternatieven**

De oliewinning Schoonebeek functioneert anders dan oorspronkelijk voorzien. Dat kan bij de toepassing van de genoemde alternatieven ook gebeuren. Het is de vraag hoe de biologische zuivering functioneert, afhankelijk van de hoeveelheid zout in het productiewater. Het is de vraag wat met het zoutproduct gedaan kan worden, en waar een eventuele stort mogelijk is. Bij waterinjectie is het de vraag of de injectiviteit van de opslagreservoirs overeenkomt met de verwachtingen, of dat toch aanvullende reservoirs nodig zijn. Bij enkele alternatieven en varianten wordt verwacht dat het gebruik van mijnbouwhulpstoffen geminimaliseerd kan worden. Het is de vraag of dit daadwerkelijk mogelijk is, of dat er toch teruggevallen moet worden op meer robuuste alternatieven.

### **Invulling alternatieven**

Ten aanzien van de gehanteerde zuiveringstechnieken en de mogelijkheden voor verwerking van reststoffen is uitgegaan van de beschikbare kennis. De mogelijkheid bestaat dat hier slimmere oplossingen voor bedacht kunnen worden, met beperking van milieueffecten, risico of kosten.

### **Milieueffecten**

Op hoofdlijnen zijn de belangrijkste milieueffecten in beeld gebracht. In het onderzoek op hoofdlijnen is niet zo diep ingegaan op mogelijke milieueffecten als bij een MER gebeurt. Echter gezien de bevindingen uit het MER 2006 ligt het voor de hand aan te nemen, dat bij de beschreven alternatieven geen milieueffecten zullen optreden die zodanig zijn dat een alternatief niet meer uitvoerbaar is.

### **Toekomstige mogelijkheden**

De oliewinning vindt plaats gedurende een periode tot circa 2050. In deze periode kunnen omstandigheden veranderen, waardoor wellicht zoutproducten wel goed herbruikbaar worden, of nieuwe zuiveringstechnieken ontstaan. In de huidige afweging is uitgegaan van het nu bekende, waardoor bij een volgende afweging wellicht andere waarden aan oplossingen kunnen worden toegekend.

### **Kosten**

De inschatting van de kosten heeft grofschalig plaatsgevonden. Onzekerheden ten aanzien van technieken, mogelijke aanlegkosten en gebruikskosten geven een onzekerheid tot 40%. Een deel van de kosten is bepaald in samenwerking met derde partijen, waarbij rekening moet worden gehouden met onzekerheden. De mate waarin leidingmateriaal bij Schoonebeek vervangen moet worden, vormt een onzekerheid in de kosten van meer dan € 100 miljoen. Aan de opbrengst kant is er onzekerheid over de olieprijs gedurende de komende 28 jaar. Gezien deze onzekerheden is het van belang de bevindingen uit hoofdstuk 11 als richtinggevend te beschouwen, maar tevens rekening te houden dat de uitkomsten niet als absolute waarden gelezen kunnen worden.

### **Omgaan met onzekerheden**

De benoemde onzekerheden zijn van dien aard dat ze de afzonderlijke effecten bij alternatieven en varianten tot op zekere hoogte kunnen beïnvloeden. Voor zover kan worden overzien zal het zeker leiden tot aanpassing van kosten, maar naar verwachting worden de geclassificeerde effecten hierdoor niet beïnvloed. Dat betekent dat voor het gehanteerde abstractieniveau, de weergegeven classificatie als een goede indicatie kan worden gezien.

## **13.3 Ondergrond in beeld brengen**

### **Processen in de ondergrond**

De centrale vraag bij het gebruik van de ondergrond is in hoeverre het bekend is wat bij waterinjectie in de ondergrond gebeurt en in hoeverre de ondergrondse processen beheersbaar zijn. In het verlengde is er de vraag over de samenstelling van het productiewater, vooral ten aanzien van de mogelijkheid dat het productiewater ongewenst toch in de biosfeer terecht komt. Alternatieven zijn in beeld gebracht die echter tot hogere milieubelasting leiden, met meer verstoring van de leefomgeving en hogere kosten. Centraal staat daarmee de vraag in hoeverre deze bovengrondse nadelen opwegen tegen de ondergrondse onzekerheden.

### **Hoe goed worden processen in de ondergrond bij waterinjectie begrepen?**

Hoewel de ondergrond goed in beeld gebracht kan worden en veel technische informatie beschikbaar is, blijkt dat de waterinjectie in Twente toch anders is verlopen dan voorzien. De NAM is erachter gekomen dat de kalksteenformatie beter geschikt is voor waterinjectie en dat de zandsteenformaties minder geschikt zijn voor waterinjectie. Dit heeft geleid tot aanpassing van de bedrijfsvoering van NAM.



De processen in de ondergrond wijken dus af van de verwachtingen. Op hoofdlijnen is voorspelbaar hoe de ondergrond zal reageren, maar meer lokaal treden afwijkingen op. Het is daarmee van belang goede monitoring te hebben van datgene wat daadwerkelijk optreedt in de ondergrond. Het is ook van belang zicht te houden op mogelijke afwijkingen en een reactieplan beschikbaar te hebben.

#### **Zijn de processen in de ondergrond beheersbaar?**

Ondanks zorgvuldige voorbereiding en goede modellering, blijken er onzekerheden te bestaan ten aanzien van mogelijkheden en reacties in de ondergrond. In de operationele fase vindt monitoring plaats, waarmee de processen in de ondergrond geregistreerd worden en worden vergeleken met de voorspellingen. Zolang afwijkingen verklaarbaar zijn, kunnen ongewenste effecten worden bijgestuurd bij de injectieputten door meer of minder water in het reservoir te brengen. In het uiterste geval kan water zelfs weer uit het reservoir worden onttrokken. Op de langere termijn zullen de putten afgesloten worden en is de mogelijkheid om de processen daarna nog te beïnvloeden zeer beperkt. Monitoring zal na een bepaalde periode niet meer plaatsvinden, zodat effecten pas in de biosfeer zichtbaar worden.

#### **Randvoorwaarden benutting ondergrond in Nederland**

Bij de benutting van de ondergrond wordt ernaar gestreefd alle mogelijke risico's te vermijden. De randvoorwaarden zijn door de Nederlandse overheid zo gesteld dat de kans op bijvoorbeeld een lekkage zo klein mogelijk is en dat zelfs als het optreedt dit geen blijvende gevolgen heeft voor de omgeving. De mogelijke risico's bij waterinjectie zijn in vergelijking met andere vormen van ondergrondse benutting niet groter. Het water zal door de onderdruk in het reservoir blijven, zodat alleen rond de put een risico kan bestaan. Dit is een beperkt en overzichtelijk risico. Bij potentiële zoutoplossing zal dit langdurig en geleidelijk gaan, waardoor effecten langzaam over lange perioden optreden.

Met de bestaande onzekerheden en risico's zal waterinjectie onder geschikte voorwaarden geen grotere risico's met zich meebrengen dan bij andere vormen van ondergrondse benutting. Indien deze onzekerheden en risico's bij waterinjectie als onwenselijk worden gezien, kunnen andere vormen van ondergronds ruimtegebruik met vergelijkbare onzekerheden en risico's eveneens ter discussie komen te staan.

### **13.4 Monitoring**

Omgaan met onzekerheden bestaat voor een belangrijk deel uit het ontwerpen en toepassen van een effectieve monitoring. Bij de oliewinning Schoonebeek en de huidige verwerking van het productiewater geldt een monitoringsprogramma (zie het Waterinjectie Management Plan van NAM in Bijlage A6). Dit plan is aangepast naar aanleiding van de bevindingen van NAM bij de transportleiding en putten in Twente.

Het monitoringsplan is aangepast in de intensiteit van metingen en door aanpassing van het protocol waarbij afwijkingen worden gesignaleerd en gerapporteerd.

#### **Aanpassingen in het Monitoringsprogramma**

Naar aanleiding van de breuk in de buitenbuis van put ROW-2 is het monitoringssysteem verder aangescherpt om sneller en nauwkeuriger interventies te kunnen doen na afwijkingen in metingen. Dit behelst het continu handhaven van positieve druk op de ringruimte tussen binnen- en buitenverbuizing. Verlies van deze druk initieert een alarm en onderzoek naar oorzaak. Ook wordt jaarlijks het vloeistofniveau in de annulaire ruimte tussen binnen- en buitenbuis gemeten. Deze verbeteringen zijn doorgevoerd in het Waterinjectie Management Plan.

NAM heeft additionele experimentele metingen verricht in de andere water injectieputten. Deze nieuwe PNL metingen worden voortaan jaarlijks verricht in alle Twente en Schoonebeek waterinjectieputten.

### **Aanpassingen in de protocollen bij signaleren afwijkingen**

De meting van de annulaire drukken vindt continu plaats. Een minimale druknorm voor de annulaire ruimte is vastgelegd in het zorgsysteem. Sinds januari 2020 wordt dit minimale drukalarm voor alle waterinjectieputten actief bijgehouden door de NAM.

Monitoring leidt pas tot succesvolle interventies wanneer op signalen tijdig en juist wordt gereageerd. Dit alles komt tot stand met goede communicatie tussen de meldkamer en het team verantwoordelijk voor de injectie. Om dit te borgen heeft NAM aanpassingen gedaan aan het Electronic Well Integrity Management System (EWIMS). De aanpassingen in het systeem houden in dat in het geval van annulaire drukken onder de alarmwaarde een vloeistofmeting uitgevoerd zal worden. In het geval van een te lage vloeistofmeting wordt deze constatering in EWIMS opgeslagen waardoor ook team verantwoordelijk voor de waterinjectie op de hoogte is. Daarnaast wordt er dan een melding aan SodM gedaan. De aanpassingen aan het EWIMS systeem zijn gecontroleerd door een inspecteur van SodM. De inspecteur bevestigt dat deze procedures in het systeem zijn geborgd<sup>26</sup>.

Ook bij de monitoring van de waterkwaliteit komen soms afwijkende waarden voor. Het betreft meestal een eenmalige uitschieter die voort kan komen uit een monsternamen- of analysefout. NAM heeft met het laboratorium dat de analyses uitvoert afspraken gemaakt over het sneller uitvoeren van analyses. Dit om tijdige herbemonstering bij afwijkende waarden mogelijk te maken. NAM maakt gebruik van geaccrediteerde laboratoria die volgens standaard meetmethodes werken.

## **13.5 Lerende organisatie**

Het afgelopen decennia hebben zich meerdere incidenten voorgedaan bij de water injectie in Twente. Zo was er in 2015 was er in Holthene een lekkage aan de pijpleiding van Schoonebeek naar Twente. En waren er in 2020/2021 enkele problemen gevonden tijdens inspectie van waterinjectieputten (ROW-2 en ROW-4). Ook werd een te hoge concentratie Tolueen waargenomen in het injectiewater. Door deze voorvallen is in de buitenwereld de indruk ontstaan dat NAM haar zaken niet onder controle heeft en een reactieve organisatie is. NAM reflecteert hierover het volgende.

---

<sup>26</sup> [Brief aan NAM met oordeel over aanvullend onderzoek scheur buitenbuis \(waterinjectie Twente\) | Brief | Staatstoezicht op de Mijnen \(sodm.nl\)](#)

**NAM reflectie over incidenten bij de waterinjectie in Twente****Monitoring**

Op zichzelf verdienen de bovengenoemde incidenten geen schoonheidsprijs aangezien NAM deze te laat heeft gedetecteerd of de perceptie leeft dat er onvoldoende vervolgactie op is genomen. Dit laatste verdient enige nuancering aangezien de incidenten er wel toe hebben geleid dat er intern meer bewustheid is ontstaan over hoe om te gaan met onregelmatigheden. Medewerkers worden gestimuleerd om nieuwsgieriger te zijn bij gemeten afwijkingen. Er worden meer (vrijwillige) inspecties uitgevoerd om dit soort onregelmatigheden in een vroeg stadium op te sporen en/of te voorkomen. Er wordt intensiever gemonitord en de interne signalering is aangescherpt. Dat leidt ertoe dat sneller en adequater wordt gereageerd bij onvoorziene gebeurtenissen. Echter hebben deze extra inspanningen als gevolg gehad dat er wederom onregelmatigheden zijn aangetroffen.

**Materialen**

Een ander leerpunt uit de incidenten is dat het hergebruik van bestaande pijpleidingen en putten, die meestal voor andere doelen zijn ontworpen, grotere risico's met zich meebrengt dan vooraf voorzien. Inmiddels is het watertransportsysteem in Twente grotendeels vervangen door corrosie resistent materiaal. NAM heeft ook aangekondigd in de toekomst alleen gebruik te willen maken van nieuwe materialen, tenzij bestaande materialen bewezen betrouwbaar zijn.

**Mijnbouwhulpstoffen**

Op het gebied van mijnbouwhulpstoffen zijn er ook leerpunten. Volgens de vergunning dient NAM het gebruik van deze stoffen te minimaliseren. De maatschappelijke zorgen omtrent deze stoffen hebben geleid tot het inzicht dat NAM hier extra inspanningen moet verrichten. Door te investeren in betere materialen (zie boven) kan het gebruik van biocide beperkt worden. Daarnaast doet NAM thans onderzoek aan biologisch afbreekbare mijnbouwhulpstoffen en aan het verwijderen van sommige mijnbouwhulpstoffen door zogenaamde ozon skids.

**Maatschappij**

Tot slot zijn er leerpunten omtrent de plek die mijnbouwactiviteiten inneemt in de maatschappij. In de afgelopen jaren zijn extra inspanningen geleverd om tot een betere dialoog met de omgeving te komen in Twente. Bijvoorbeeld het gebruik van de OmgevingsApp om omwonenden te informeren en de gestarte dialoog met belanghebbenden in Rossum over bijdragen die de NAM kan leveren aan duurzaamheid en leefbaarheid. Dit is echter slechts ten dele gelukt omdat de relatie met de omgeving reeds verslechterd was. Bij het ontwikkelen van nieuwe activiteiten streeft NAM in een vroeg stadium naar een bredere dialoog over zorgen en bijdragen.

Het bovenstaande geeft aan dat NAM een lerende organisatie beoogt te zijn en dat dit een continu proces is en blijft. Op deze manier neemt NAM haar verantwoordelijkheid om risico's zo veel als mogelijk te beperken en onze beheerssystemen continue te verbeteren.

## Bronnen

Arcadis, 2015, Evaluatierapport grondsanering lekkage 18" zoutwatertransportleiding Schoonebeek – Twente.

Arcadis, 2015, Onderzoek naar de oorzaken van de problematiek bij woningen in de omgeving van de waterinjectie Rossum Weerselo.

CE Delft, 2004, Met water de diepte in, Afwegingsmethodiek voor vergunningen rond diepe injectie van waterstromen van olie- en gaswinning.

Commissie voor de m.e.r., 2006, Herontwikkeling Olieveld Schoonebeek, Toetsingsadvies over het milieueffectrapport 17 november 2006 / rapportnummer 1441-183.

Commissie voor de m.e.r., 2007, Afwegingsmethodiek voor diepe injectie van afvalwater, Advies van de Commissie m.e.r. inzake rapport 'met water de diepte in' 7 juni 2007 / rapportnummer 1892-64.

Commissie voor de m.e.r., 2016, Injectie productiewater olieveld Schoonebeek, advies over de onderzoeksopzet van Evaluatie en Herafweging, 7 maart 2016 / projectnummer: 3093.

Deltares, 2016, Notitie inzake toetsing "Onderzoeksopzet herafweging verwerking productiewater Schoonebeek".

Mark D. Zoback, 2012, Managing the seismic risk posed by waste water disposal, Arma e-newsletter, volum2, issue 2, spring 2012.

Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2015, Notitie Reikwijdte en Detailniveau Rijksstructuurvisie Ondergrond (STRONG).

NAM, 1991, Milieu-effectrapport Waterinjectie in Zuidoost Drenthe.

NAM, 2006, Milieu Effectrapportage Herontwikkeling Oliewinning Schoonebeek.

NAM, 2013, Generiek afwegingskader doelmatige verwijdering offshore productiewater.

NAM, 2014, Geology description of Twente gas fields: Tubbergen, Tubbergen-Mander en Rossum-Weerselo.

NAM, 2014, Halite dissolution modelling of water injection into Carbonate gas reservoirs with a Halite seal.

NAM, 2014, Subsidence caused by Halite dissolution due to water injection into depleted Carbonate gas reservoirs encased in Halite.

NAM, 2015, Threat assessment for induced seismicity in the Twente water disposal fields.

NAM, 2015, Protocol seismische activiteit door waterinjectie.

NAM, 2016, Monitoring injectiewater Twente, jaarrapportage 2015.

NAM, 2021, Monitoring injectiewater Twente, jaarrapportage 2020.

NAM, 2022, Seismic threat assessment for schoonebeek-zechstein water injection. NAM rapport EP202204200931.

Provincie Drenthe, 2010, Met Drenthe de diepte in, Structuurvisie Ondergrond.

Provincie Drenthe, 2013, Structuurvisie Ondergrond 2.0.

Provincie Groningen, 2005. Rapportage inventariserend onderzoek ondergrondse leidingen.

Provincie Overijssel, 2009, Omgevingsvisie Overijssel, Visie en uitvoeringsprogramma voor de ontwikkeling van de fysieke leefomgeving van de provincie Overijssel.

Royal Haskoning, 2005, MER Herontwikkeling Olieveld Schoonebeek.

Royal HaskoningDHV, 2015, Onderzoeksopzet herafweging verwerking productiewater Schoonebeek.

Royal HaskoningDHV, 2016, Herafweging verwerking productiewater Schoonebeek, integraal eindrapport.

Royal HaskoningDHV, 2018, Waterinjectie Twentevelden, update 2018.

Staatstoezicht op de Mijnen, 2016. Evaluatie SodM. Reviews NAM rapporten m.b.t. 'Risico's zoutoplossing' en 'Seismic threat analysis'.

STAB gerechtelijke omgevingsdeskundigen, 2010, Deskundigen advies van STAB aan de Raad van State.

Stichting Stop Afvalwater Twente, 2016. Alternatief productiewater, ingebracht door de Stichting Stop Afvalwater Twente.

Stuurgroep Afvalwaterinjecties Twente, Brief met zorgpunten aan de Minister van Economische Zaken, 2015.

TU Delft, Dr. Bas Heijman & Dr. Auke Barnhoorn, 2016, Contraexpertise verslag Afvalwaterinjectie in Noordoost-Twente.

Weingarten et al, 2015. High-rate injection is associated with the increase in U.S. mid-continent seismicity, Science 19 Jun 2015: Vol. 348, Issue 6241, pp. 1336-1340.

## Begrippen en afkortingen

CE	CE Delft (onafhankelijk onderzoeks- en adviesbureau)
CBL	Cement Bond Log
EZK	Ministerie van Economische Zaken en Klimaat
FCP	Flexible Composite Pipe
GRE	Glasfiber Reinforced Epoxy
GS	Gedeputeerde Staten
HDPE	High Density Poly Ethylene
H <sub>2</sub> S	Zwavelwaterstof
KNMI	Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut
LAP	Landelijk Afvalbeheerplan
LCA	Levenscyclus analyse
MER	Milieu Effect Rapport
m.e.r.	milieueffectrapportage (procedure)
MIC	Microbiological Influenced Corrosion
NAM	Nederlandse Aardolie Maatschappij
OBI	Oliebehandelingsinstallatie
PNL	Pulse Neutron Logs
SodM	Staatstoezicht op de Mijnen
STRONG	Rijks Structuurvisie Ondergrond
TNO	Nederlandse Organisatie voor toegepast-natuurwetenschappelijk onderzoek
VKA	Veenkoloniale Afvoerleiding
Vvgb	verklaring van geen bedenkingen
Wabo	Wet algemene bepalingen omgevingsrecht

## **Bijlage**

### **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

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

# 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.

## Herafweging<sup>1</sup> 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.

---

<sup>1</sup> 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, polymiermembraan 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 m<sup>3</sup> per dag. Ter vergelijking, de productiewaterzuivering van NAM bedraagt thans circa 3.000 m<sup>3</sup>/d met een beoogde capaciteit van circa 8.000 m<sup>3</sup>/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)

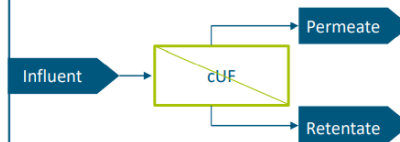


- Proposed by: Chemtron
- Pre-treatment: removal of bulk dispersed oil
- Function in overall process: suspended solids removal, limited dispersed oil removal (polishing)

## 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)

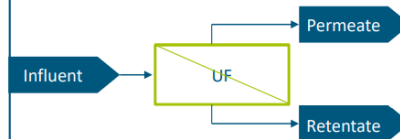


- Proposed by: Pentair
- Pre-treatment: removal of bulk dispersed oil
- Function in overall process: suspended solids removal, limited dispersed oil removal (polishing)

## 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

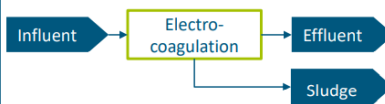


- Proposed by: Morselt Watertechniek BV (Redbox)
- Pre-treatment: removal of bulk dispersed oil
- Function in overall process: suspended solids removal, dispersed oil removal, heavy metals removal

## 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

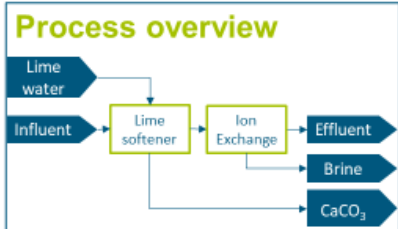
# Lime Softening



- 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).

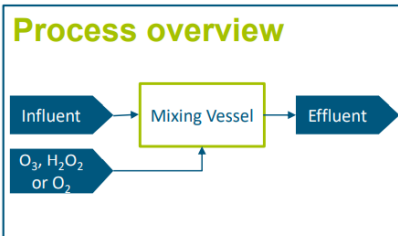
# Advanced Oxidation Technology



- 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 CO<sub>2</sub>.
  - 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

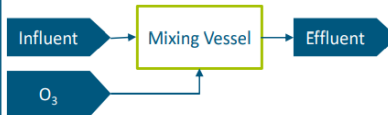


- Proposed by: O3 systems
- Function in overall process: dissolved organics removal

## 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 CO<sub>2</sub>.
- 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

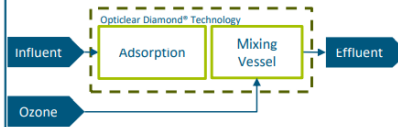


- Proposed by: WaterIQ
- Additional requirements: ceramic carrier material with a specific coating (WaterIQ specific)
- Function in overall process: dissolved organics removal, heavy metals removal

## 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™

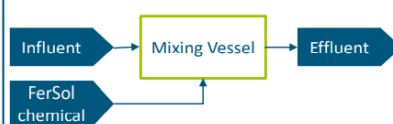


- Proposed by: Ferr-tech
- Additional requirements: FerSol chemical
- Function in overall process: dissolved organics removal, suspended solids removal, dispersed oil removal, heavy metals removal

## 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™

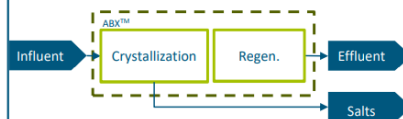


- Proposed by: Nijhuis (Aquafortus Technologies Ltd)
- Pretreatment: Dispersed oil removal
- Additional requirements: Specific patented materials are needed, the Aquafortus Absorbent and Aquafortus Regenerant
- Function in overall process: desalination, crystallisation

## 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

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

<b>Report details</b> .....	<b>2</b>
<b>Colophon</b> .....	<b>2</b>
<b>1</b> <b>Introductie</b> .....	<b>4</b>
<b>2</b> <b>Evaluatie rapportages</b> .....	<b>5</b>
2.1      RoyalHaskoningDHV, Herafweging verwerking productiewater Schoonebeek, 2016.....	5
2.2      Evaluatie NAM vervolgonderzoek 2017-2019: RHDHV notitie 2018.....	7
<b>3</b> <b>Ontwikkeling van technologieën</b> .....	<b>9</b>
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
<b>4</b> <b>Nieuwe verwerkingsconcepten</b> .....	<b>13</b>
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
<b>5</b> <b>Conclusies en aanbevelingen</b> .....	<b>17</b>
<b>6</b> <b>Referenties</b> .....	<b>18</b>
<b>7</b> <b>Bijlage 1</b> .....	<b>20</b>

# 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

<b>Thema 1. Zuivering en lozing, zonder injectie van reststroom</b>
<b>Cluster: Lozing van schoon zoet water op oppervlaktewater of hergebruik met zout als restproduct</b>
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.
<b>Cluster: Lozing van schoon zout water op zee</b>
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
<b>Thema 2. Zuivering met injectie van reststroom in reservoirs</b>
Retour Nieuwater. Zuivering gevolgd door hergebruik 2000 m <sup>3</sup> /d en injectie van 6000 m <sup>3</sup> /d brijn in Drenthe of Twente
Zuivering op OBI gevolgd door lozing 6000 m <sup>3</sup> /d en injectie van 2000 m <sup>3</sup> /d brijn in Drenthe of Twente
Zuivering op OBI gevolgd door lozing 6000 m <sup>3</sup> /d en injectie van 2000 m <sup>3</sup> /d brijn terug in olieveld Schoonebeek West
<b>Thema 3 – Injectie van het volledige watervolume</b>
Waterinjectie alleen in Twentevelden (pipe in pipe)
Waterinjectie alleen in Twentevelden (pipe in pipe + nieuwe pijpleiding)
<b>Cluster: Injectie op andere locaties eventueel in combinatie met Twente</b>
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)
<b>Thema 4 – Overige opties</b>
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 (H<sub>2</sub>S 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 H<sub>2</sub>S-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 H<sub>2</sub>S binder. H<sub>2</sub>S kan resulteren in corrosie van de roestvrij stalen olie transportleidingen in het Schoonebeek olieveld. Het gebruik van H<sub>2</sub>S binders kan dit voorkomen. Met het vervangen van deze leidingen vermindert de noodzaak tot het gebruiken van H<sub>2</sub>S binders.
- A4.4: Aanvullend op bovenstaande aanpassingen, worden tevens verhoogde waarden van CO<sub>2</sub> 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 MaxH<sub>2</sub>O-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 MaxH<sub>2</sub>O-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 elektrolyse 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 elektrolyse. 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 Elektrolyse

Elektrolyse (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 elektrolyse 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 elektrolyse (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. elektrolyse met conventionele membranen wordt behandeld.

In een artikel uit 2009 beschrijven Liu et al. [8] van de Daqing Oilfield Company de inzet van elektrolyse voor het ontzilten van productiewater afkomstig uit het Daqing-veld. Het systeem bestond uit vier elektrolyse stacks met een totale capaciteit van 300 m<sup>3</sup> / 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 m<sup>3</sup>/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.

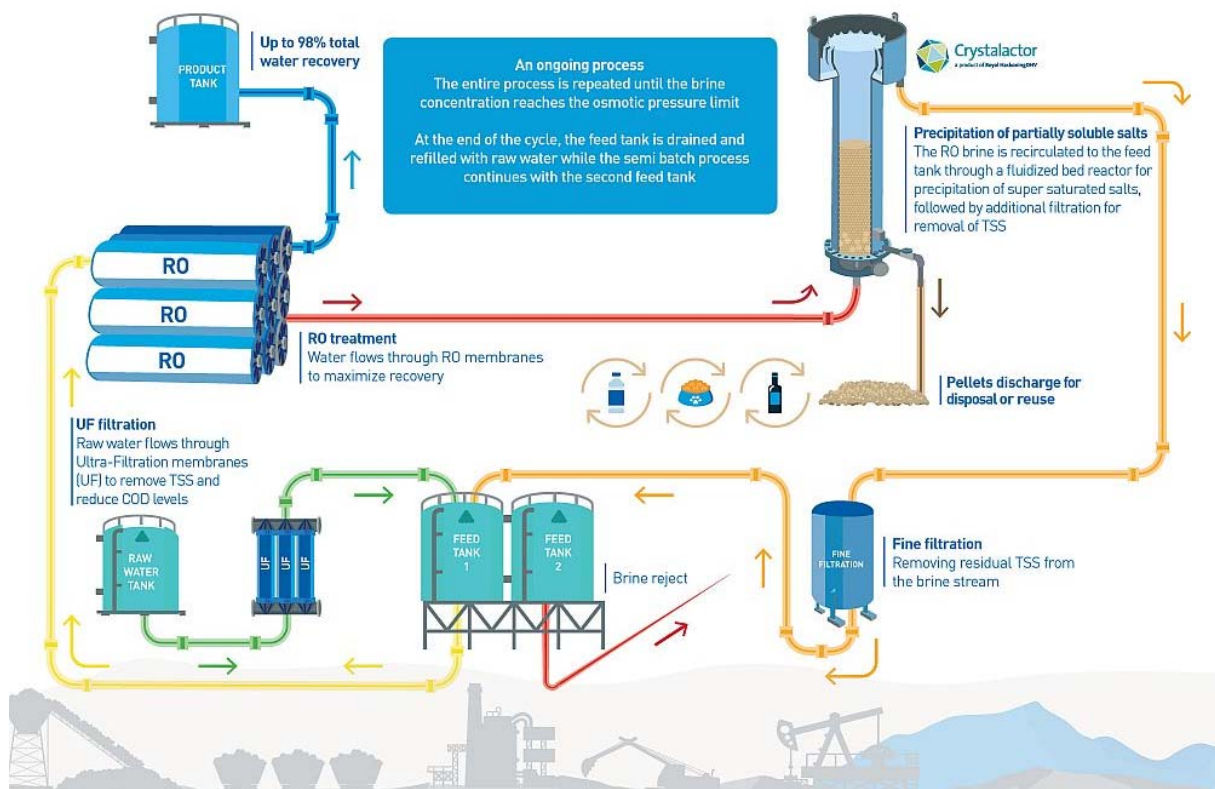
### **3.1.3 Helofytenfilters**

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 m<sup>3</sup>/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.

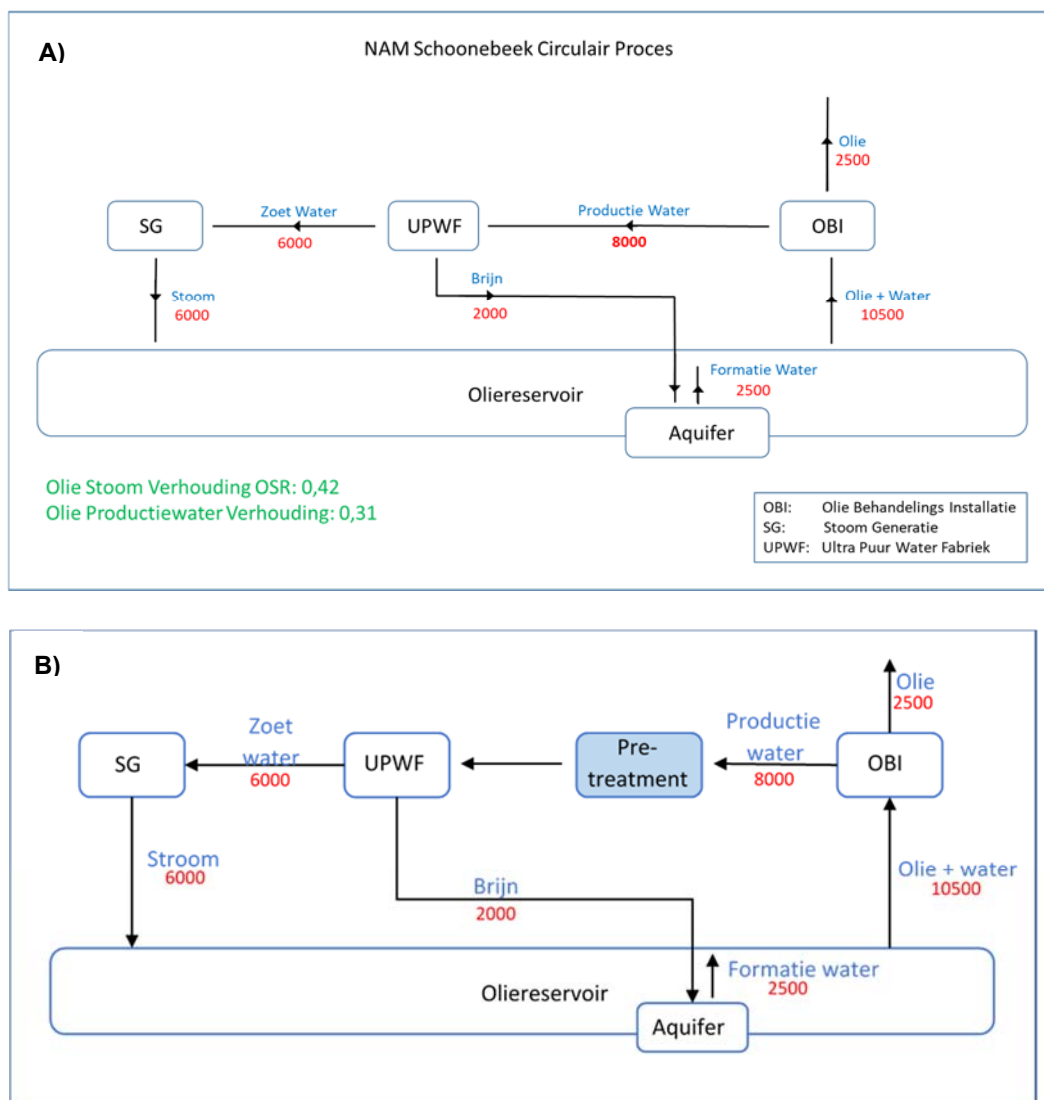
Wij zien de inzet van BPED niet als een oplossing voor de verwerking van de totale hoeveelheid productiewater, maar als een technologie om uit een deel van het productiewater (hoeveelheid nader te bepalen) zelf chemicaliën te produceren. BPED is een commercieel beschikbare technologie die met succes 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.

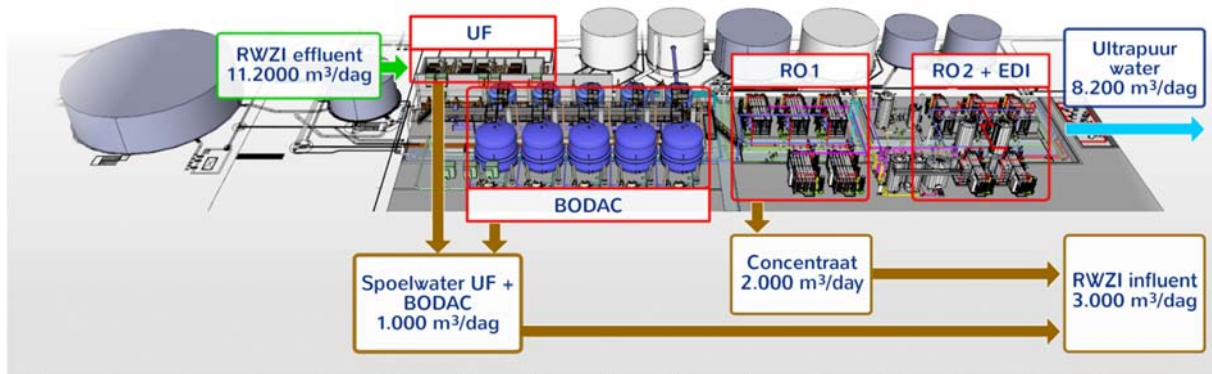
### 4.1 Gert Colenbrander concept - circulair verwerkingsproces

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 zoutgehalten: 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 zwellen 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.

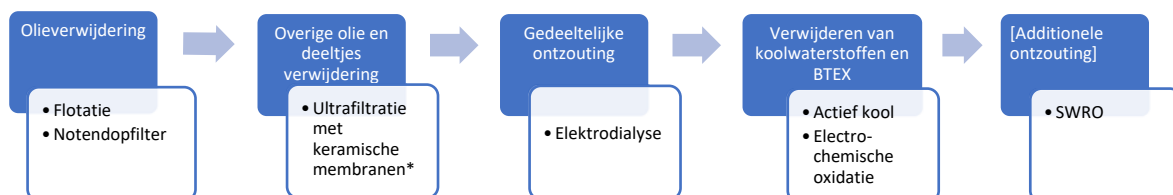
Uitgezocht moet worden of er in het Schoonebeek olie reservoir voldoende ruimte is om de geproduceerde hoeveelheid brijn te injecteren. Mocht dit niet het geval zijn dan zal uitgeweken moeten worden naar andere reservoirs of te zorgen voor een kleiner volume door een meer geconcentreerde brijn. Voor 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 m<sup>3</sup>/dag). Het geschatte elektriciteitsverbruik bij een behandelingsvolume van 8000 m<sup>3</sup>/dag is ca 2.000 MWh/jaar (uitgaande van 0.7 kWh/m<sup>3</sup> 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 m<sup>3</sup>/dag en een brijnstroom van 1.200 m<sup>3</sup>/dag. Het elektriciteitsverbruik van de elektrodialysestap wordt geschat op 8.000 MWh/jaar (uitgaande van 3 kWh/m<sup>3</sup> water).
- De brijn van de ultrafiltratie en EDR (2.000 m<sup>3</sup>/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/m<sup>3</sup> water). Deze stap is optioneel, afhankelijk van de eisen die NieuWater (beheerder van de UPWF) stelt.
- Het volume van ca. 6000 m<sup>3</sup>/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  $\text{NH}_4^+$  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  $\sim 1$  g/L zout bevat), zal ongeveer 95% van het  $\text{NH}_4^+$  ook worden verwijderd. Dit betekent dat de toevoer naar de UPWF 1,0-3,2 mg/l  $\text{NH}_4^+$  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 m<sup>3</sup>/dag en een gezuiverde waterstroom van ca. 6.000 m<sup>3</sup>/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](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](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](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]

<b>Discovery fase</b>	<b>Omschrijving</b>
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
<b>Development fase</b>	
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
<b>Demonstration fase</b>	
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
<b>Deployment fase</b>	
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 m<sup>3</sup>/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 m<sup>3</sup>/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

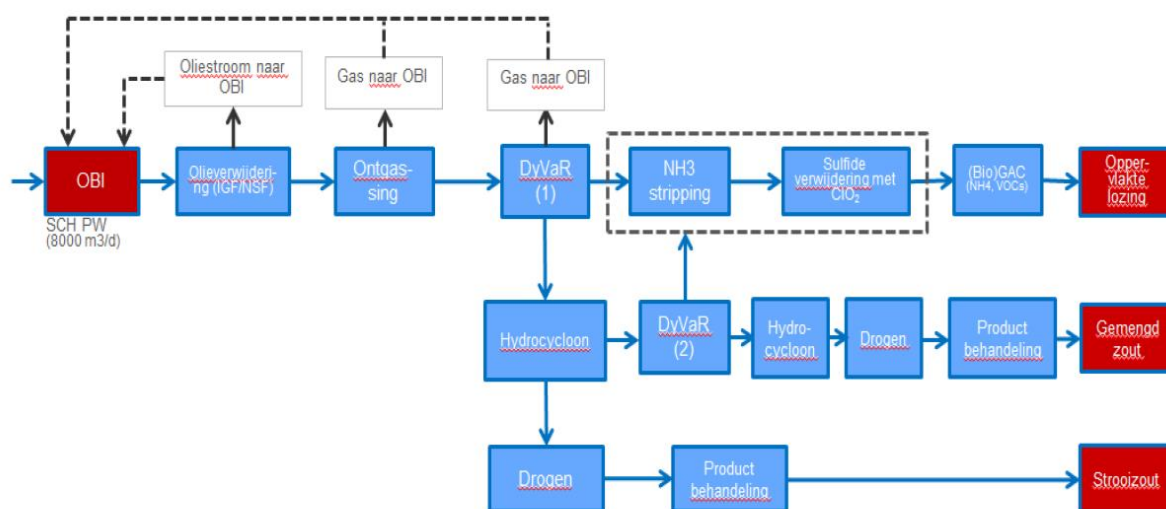
#### 3.1 Analyse van de positie van DYVAR en gerelateerde unit operations in een proces met vast zout productie

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 randvoorwaarden 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 <sub>4</sub> <sup>+</sup>	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 <sup>2</sup>	52	52	

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

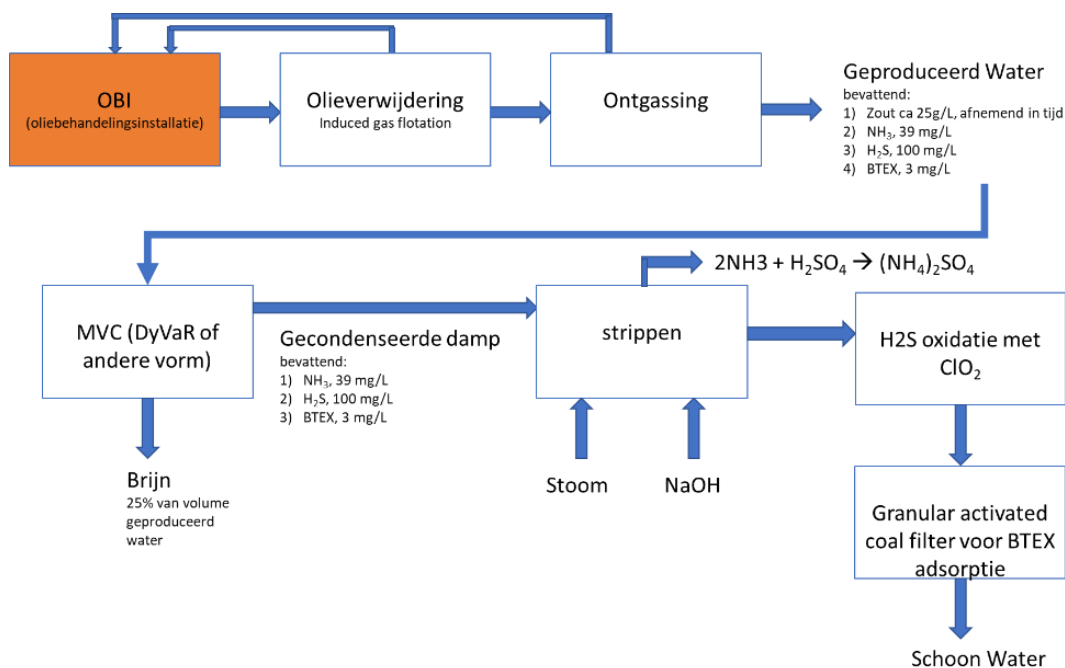
Hoewel de DyVaR technologie in 2016 is geëvalueerd voor alternatief 1, is het dit keer de bedoeling om de toepasbaarheid voor alternatief 3 te evalueren. Daarbij wordt gekozen voor zo ver mogelijk indikken tot een vloeibare geconcentreerde zoutoplossing, die in een leeg gasveld geïnjecteerd kan worden, 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 NH<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>S 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.  $\text{NH}_3$ -stripping (100% van  $\text{NH}_3$ )<sup>1</sup>
  - b.  $\text{H}_2\text{S}$ -oxidatie met  $\text{ClO}_2$
  - 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

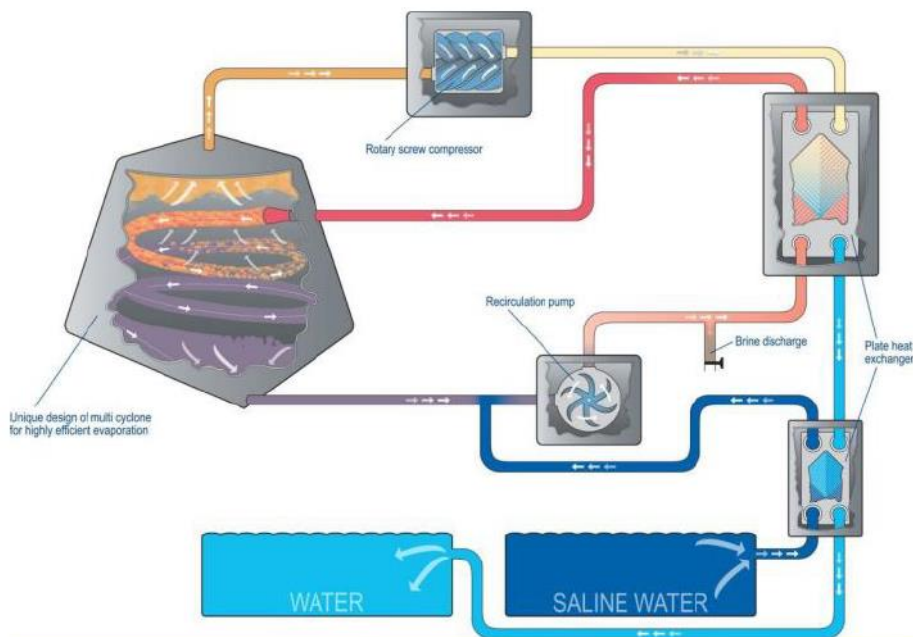
### 3.1.2 DyVaR unit operation

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

<sup>1</sup> wij nemen aan dat praktisch alle  $\text{NH}_3$  naar de dampfase gaat omdat de pH door toevoeging van NaOH zo hoog is dat er nauwelijks  $\text{NH}_4^+$  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 NH<sub>3</sub>-stripping

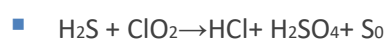
In de LCA die in 2016 is uitgevoerd door CE Delft is voor NH<sub>3</sub>-strippen met lage druk stoom gekozen. Hiervoor staat een stoomlast van 185 MWh/d, overeenkomend met circa 294 ton stoom per dag. Deze stoomlast komt neer op een door ons realistisch ingeschatte V/L-verhouding van 0,04 (mass based) bij een condensaatstroom van 6.800 m<sup>3</sup> per dag.

Verder wordt 1.168 ton NaOH per jaar gebruikt voor het NH<sub>3</sub> strippen. Met de loog wordt het zuur-base evenwicht richting NH<sub>3</sub> gestuurd, waardoor de NH<sub>3</sub> in vluchtige vorm uit de oplossing gestript kan worden.

Tenslotte wordt in het RH-DHV rapport uitgegaan van een H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> verbruik van 240 ton per jaar. Daarmee wordt de gestripte ammoniak geabsorbeerd waarbij het NH<sub>3</sub> wordt omgezet in (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.

### 3.1.4 H<sub>2</sub>S oxidatie

In deze processtap wordt 538 ton per jaar ClO<sub>2</sub> (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  $\text{H}_2\text{S}$  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 verdamper. 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 m<sup>3</sup>/dag. Bij hogere capaciteiten wordt

veelal MEE gebruikt. Voor een gewenste capaciteit van 8.000 m<sup>3</sup>/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<sub>th</sub>/ton en 0,1 GJ<sub>e</sub>/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				

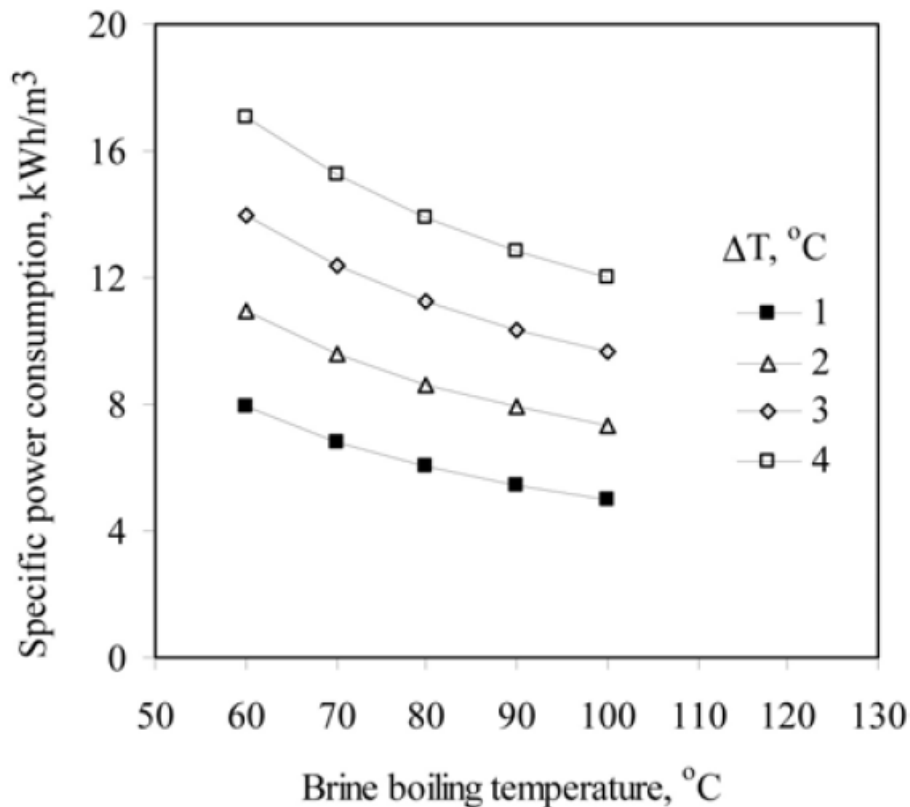
**Tabel 3.** Overzicht procesdata voor DyVaR gebaseerde alternatief 1 proces.

*Tabel 4: Overzicht verbruik en procesdata van variant Saltech.*

Processtap	Eenheid	Voorzuivering	Ontgasser	DyVaR 1	DyVaR 2	NH <sub>3</sub> stripping	NH <sub>3</sub> omzetting	Oxidatie sulfide	GAC filter	Totaal
Influent	m <sup>3</sup> /d	8000								8000
<b>Reststroom/producten</b>										
Behandeld effluent	m <sup>3</sup> /d								7000	7000
Gemengd zout (=waste)	Ton/d				100					100
Strooizout	Ton/d			100						100
Ammoniumsulfide (hergebruik)	Ton/d						0,7			0,7
<b>Consumptie</b>										
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 <sub>2</sub> (20%)	m <sup>3</sup> /d							8		8
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (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 m<sup>3</sup> 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/m<sup>3</sup>. Voor een orde grootte berekening nemen we, gezien de grote volumes, 5 kWh/m<sup>3</sup> aan. Dit zal resulteren in een warmtewisselaar met een relatief groot oppervlak.

De benodigde elektrische energie bij 7.000 m<sup>3</sup>/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/m<sup>3</sup>. 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 $\text{NH}_3$ -stripping, $\text{H}_2\text{S}$ 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  $\text{H}_2\text{S}$ .

### 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  $\text{NH}_3$ ,  $\text{H}_2\text{S}$  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 onzuiverheden<sup>2</sup>. 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 H<sub>2</sub>S 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.

---

<sup>2</sup> 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 NH<sub>3</sub> en H<sub>2</sub>S, 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 efficiencies 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 Salttech 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 Salttech 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<sub>th</sub> en MJ<sub>e</sub> 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 m<sup>3</sup>/d productiewater kan worden omgezet naar 1.200 m<sup>3</sup>/d brijn en 6.800 m<sup>3</sup>/d schoon water?
7. Kunt u een prijsindicatie geven van een DyVAR ZLD plant waarmee 8000 m<sup>3</sup>/d productiewater kan worden omgezet naar 8.000 m<sup>3</sup>/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](mailto:bert.heesink@susterbv.com)

[www.susterbv.com](http://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](mailto:g.schouten@salttech.com)

I [www.salttech.com](http://www.salttech.com)

## **Bijlage**

### **4. Toelichting afweging lijst uitgebreide opties, 2016, Royal HaskoningDHV**

# 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
<b>Technisch</b>	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
<b>Planning</b>		Naar verwachting realiseerbaar binnen 2 jaar	Naar verwachting realiseerbaar binnen 4 jaar	Verwachte realisatietijd langer dan 4 jaar			
<b>Beleid</b>		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	
<b>Financieel</b>		Financieel haalbaar	Financieel waarschijnlijk haalbaar, maar wel kostbaarder	Financieel mogelijk niet haalbaar	Financiële haalbaarheid onwaarschijnlijk, zeer kostbaar	Financieel zeker niet haalbaar	
<b>Milieu</b>	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	
<b>Risico</b>		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 m<sup>3</sup> (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
<b>Cluster: Lozing van schoon zout water op zee</b>							
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	-
<b>Cluster: Lozing van schoon zoet water op oppervlaktewater of hergebruik met zout als restproduct</b>							
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 m<sup>3</sup> bedraagt. Deze opslagcapaciteit zou met nieuwe vergunningen en technische aanpassingen uitgebreid kunnen worden tot maximaal 50 miljoen m<sup>3</sup>. De opslagcapaciteit in Twente is daarom onvoldoende om al het productiewater te injecteren. Het verwachte maximaal benodigde opslagvolume is namelijk circa 75 miljoen m<sup>3</sup>. 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
<b>Cluster: Injectie op andere locaties evt. i.c.m. Twente</b>							
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

## **Bijlage**

### **5. Overkoepelende risicoanalyse waterinjectie Twente en Schoonebeek, NAM, 2022**

April 2022



Report: EP202205200317

**NAM**

**Nederlandse Aardolie Maatschappij**

# **Overkoepelende Analyse Ondergrondse Risico's Waterinjectie Twente en Schoonebeek**

This document is the property of Nederlandse Aardolie Maatschappij, and the copyright therein is vested in Nederlandse Aardolie Maatschappij. All rights reserved. Neither the whole nor any part of this document may be disclosed to others or reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted in any form by any means (electronic, mechanical, reprographic recording or otherwise) without prior written consent of the copyright owner.

# Inhoudsopgave

---

Samenvatting.....	3
1. Introductie.....	4
2. Invloed water-injectie op reservoir-integriteit .....	6
3. Vrijkomen van injectiewater als gevolg van zoutoplossing .....	8
4. Geïnduceerde bevingen als gevolg van waterinjectie .....	15
5. Vrijkomen van water als gevolg van verminderde put-integriteit .....	18
6. Conclusies .....	22
7. Referenties .....	23
8. Appendices.....	24

## DOCUMENT GESCHIEDENIS

Datum	Revisie	Reden
Februari 2015	0	concept
December 2016	1	update van onderliggende detail studie rapporten na verwerken review commentaren van buitenlandse experts.
Februari 2017	2	Update na verwerken urgente aanbevelingen van Deltares
Maart 2017	3	Update na verwerken verzoeken van SodM
Januari 2021	4	Toevoeging van kandidaat injectieveld Schoonebeek
April 2022	5	Update naar aanleiding van ROW-2 en ROW-4 observaties

## Samenvatting

---

In dit rapport wordt een analyse gepresenteerd van de belangrijkste ondergrondse risico's die geassocieerd zijn met waterinjectie in leeg geproduceerde gasvelden in Twente en de mogelijk toekomstige waterinjectie in het Schoonebeek gasveld. Het betreft hier het risico op het vrijkomen van injectiewater en het risico voor bodembewegingen/-trillingen.

Ten behoeve van de herontwikkeling van het Schoonebeek olieveld is in 2009 een risicoanalyse als onderdeel van de Milieu Effect Rapportage (MER) uitgevoerd. In de MER is aandacht besteed aan het mogelijk oplossen van de afdekkende steenzoutlaag indien deze laag in aanraking zou komen met het injectiewater wat zou kunnen leiden tot het vrijkomen van injectie water en/of bodemdaling. Ook is aandacht besteed aan effecten van bodembewegingen (daling en trillingen) indien water geïnjecteerd wordt. De MER concludeert dat deze zoutlagen niet of nauwelijks zullen oplossen in het injectiewater en dat er geen bodemdaling of trillingen als gevolg van waterinjectie worden verwacht, zolang de gemiddelde reservoir druk beneden de oorspronkelijke reservoirdruk blijft.

Om hierover aanvullend inzicht te verkrijgen is op verzoek van Staatstoezicht op de Mijnen (SodM) in 2015 een uitgebreidere set onderzoeken gedaan. SodM heeft vervolgens de onderzoeksrapporten laten beoordelen door internationale experts van de US Geological Survey en de universiteiten van Clausthal en Parijs (ParisTech). Deze hebben de conclusies van NAM bevestigd. SodM stelt dat er een groot aantal aanwijzingen is dat waterinjectie in de ondergrond van Twente veilig en verantwoord kan gebeuren.

Daarnaast heeft TNO in 2016 op verzoek van het ministerie van economische zaken een additionele verificatie uitgevoerd m.b.t. het risico op zoutoplossing en aardbevingen. TNO kan zich vinden in de onderzoeksresultaten van NAM.

Latere gebeurtenissen bij put ROW-2 (gebroken buitenbuis) en ROW-4 (meet onregelmatigheid die mogelijk wijst op beperkte aantasting van Halië) hebben niet geleid tot verspreiding van stoffen in de biosfeer of tot enig gevaar voor mens en milieu. Echter, de voorvallen hebben wel geleid tot een actualisatie van deze overkoepelende risico analyse en tot verbeteringen in het monitoring systeem vastgelegd in het Water Injectie Management Plan.

Resumerend laat de risicoanalyse zien dat de beheersmaatregelen vastgelegd in de vergunning en in het Waterinjectie Management Plan (update 2021) goed werken en dat alle waarborgen voor een veilig en verantwoord opereren van de waterinjectieputten aanwezig zijn.

Dit houdt in dat preventie van grondwatervervuiling door het in de ondergrond ongecontroleerd vrijkomen van injectiewater alsmede lokale/regionale bodemdaling als gevolg van zoutoplossing op een goede manier preventief geborgd worden. Er zijn verschillende beheersmaatregelen geïmplementeerd die vroegtijdige detectie van eventuele problemen ten doel hebben en de mogelijkheid van verdere escalatie beogen te minimaliseren.

Ook de risicoanalyse rond de effecten van een door waterinjectie geïnduceerde aardbeving laat zien dat de waarborgen voor een veilig en verantwoord opereren van de waterinjectie aanwezig zijn. Een uitgebreide analyse van de belangrijkste parameters die zouden kunnen leiden tot een verhoogd bevingsrisico hebben aangetoond dat dit risico als laag ingeschat wordt. Dit is in lijn is met de observatie dat gedurende de 10 jaar van waterinjectie in Twente geen enkele beving is geregistreerd. In zuidoost Drenthe zijn voelbare aardbevingen geweest als gevolg van gasproductie, Echter, gedurende meer dan 10 jaar water injectie in de velden Schoonebeek, Coevorden en Dalen zijn geen aardbevingen geregistreerd die gerelateerd kunnen worden aan water injectie. Mocht zich onverhoopt toch een beving voordoen dan zal deze gedetecteerd worden door het seismische monitoring netwerk. Het seismische risicobeheersplan beschrijft de acties die genomen zullen worden in het onwaarschijnlijke geval van een beving met het doel om effecten te minimaliseren.

# 1. Introductie

---

Het productiewater dat vrijkomt bij de oliewinning in Schoonebeek en bij de gaswinning in Oost Nederland wordt geïnjecteerd in de diepe ondergrond in leeg geproduceerde gasvelden in Twente (Tubbergen-Mander, Tubbergen, Rossum-Weerselo) en in zuidoost Drenthe (Coevorden, Dalen, Schoonebeek).

Ten behoeve van de herontwikkeling van het Schoonebeek olieveld is een risicoanalyse als onderdeel van de Milieu Effect Rapportage (MER) uitgevoerd. In de MER is aandacht besteed aan twee hoofdrisico's die betrekking hebben op waterinjectie in de diepe ondergrond:

1. Het mogelijk oplossen van de afdekkende steenzoutlaag indien deze laag in aanraking zou komen met het injectiewater wat zou kunnen leiden tot het vrijkomen van injectie water en/of bodemdaling. Dit wordt behandeld in Hoofdstuk 3.
2. Effecten van bodembewegingen (daling en trillingen) indien water geïnjecteerd wordt. Dit wordt behandeld in Hoofdstuk 4.

De MER concludeert dat deze zoutlagen niet of nauwelijks zullen oplossen in het injectiewater en dat er geen bodemdaling of trillingen als gevolg van waterinjectie worden verwacht, zolang de gemiddelde reservoir druk beneden de oorspronkelijke reservoirdruk blijft.

Om aanvullend inzicht te verkrijgen voor de hoofdrisico's is op verzoek van Staatstoezicht op de Mijnen (SodM) een uitgebreidere set onderzoeken gedaan voor de waterinjectie in de Twente velden. Deze onderzoeken zijn in 2015 afgerond (Ref 1-4). SodM heeft vervolgens de rapporten laten beoordelen door internationale experts van de US Geological Survey en de universiteiten van Clausthal en Parijs (ParisTech). Deze hebben de conclusies van NAM bevestigd (Ref 10). SodM stelt dat er een groot aantal aanwijzingen is dat waterinjectie in de ondergrond van Twente veilig en verantwoord kan gebeuren.

Voor risicobeheersing zijn monitoring en inspectie activiteiten van essentieel belang en deze zijn reeds opgenomen in het Water Injectie Management Plan (Ref 5, 9 en 14) en geoperationaliseerd. Naar aanleiding van zorgen van omwonenden, berichten in de media en vragen vanuit de politiek, heeft de Minister van Economische Zaken een brief aan de Tweede Kamer gestuurd over de waterinjectie activiteiten in Twente (Ref 6). Daarin bevestigt hij dat zowel op het vlak van injectiewaterlekkage, bevingen en bodemdaling er een uitgebreid en afdoende monitoringsprogramma is geïmplementeerd dat door toezicht van SodM binnen het vergunningskader voldoende waarborgen geeft voor Veiligheid en Milieu.

Tegelijk met de publicatie van de expert review heeft SodM aan NAM verzocht om een overzicht te maken, met een integrale risicoanalyse voor de verspreiding van stoffen (Ref 10). Dit heeft in 2015 geleid tot de eerste versie van deze overkoepelende analyse van de ondergrondse risico's geassocieerd met waterinjectie in gedepleteerde Zechstein gasreservoirs. Hierin zijn de resultaten en conclusies van de verschillende onderzoeken samengevat en gecombineerd.

Sindsdien is de risicoanalyse meerder malen geactualiseerd. In 2017 zijn twee hoofdstukken toegevoegd:

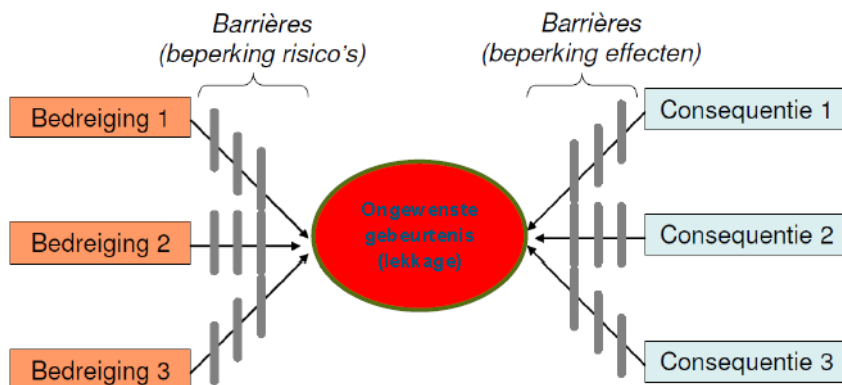
- Hoofdstuk 2. Invloed water-injectie op reservoir-integriteit. Dit hoofdstuk behandelt de integriteit van het Zechstein reservoir en de afdekkende anhydriet laag. Hiermee vormt het een aanvulling op het reeds beschreven risico van het vrijkomen van injectiewater als gevolg van zoutoplossing (thans Hoofdstuk 3).
- Hoofdstuk 5. Het vrijkomen van water als gevolg van verminderde put-integriteit. Deze aanvulling adresseert een ander mechanisme dat ten grondslag ligt aan het risico op verspreiding van stoffen.

In de voorliggende versie is zijn rente gebeurtenissen meegenomen waaronder de gebroken buitenbuis bij ROW-2 en mogelijke beperkte aantasting van het Halië bij ROW-4. SodM is momenteel bezig met het beoordelen van deze analyses en verwacht dit in juni 2022 af te ronden. Met het oog op mogelijk toekomstige water injectie in het Schoonebeek gasveld zijn de risico is dit veld nu ook meegenomen in de analyse.



Om op een overzichtelijke wijze de risico-analyse te presenteren is gebruik gemaakt van de “bow-tie” methodiek (Figuur 1). Hierbij is een ongewenste gebeurtenis geïdentificeerd (midden), met de mogelijke bedreigingen die de gebeurtenissen kunnen veroorzaken (links) en de mogelijke consequenties van de gebeurtenissen (rechts). De barrières moeten voorkomen dat een bedreiging leidt tot een ongewenste gebeurtenis door middel van preventieve maatregelen (links), en dat de gevolgen van een gebeurtenis zoveel mogelijk beperkt worden door middel van reactieve maatregelen (rechts).

De bow-tie analyse is in eerste instantie ontwikkeld voor Rossum-Weerselo, Tubbergen en Tubbergen-Mander, maar is ook toepasbaar op het Schoonebeek gasveld. Daar waar er verschillen zijn tussen de situatie in Twente en bij Schoonebeek is dat aangegeven. Om te beginnen is in Twente sprake van operationele installaties, leidingen en putten met gedetailleerde monitoring activiteiten, verankerd in verleende vergunningen. Bij Schoonebeek is dat niet het geval, maar zal een soortgelijk systeem geïmplementeerd worden.



Figuur 1: Bow tie methodiek voor risico analyse

## 2. Invloed water-injectie op reservoir-integriteit

---

Dit hoofdstuk behandelt de manier waarop, en mate waarin water-injectie kan leiden tot veranderingen in het reservoirgesteente en de mogelijke gevolgen van deze veranderingen (invloed op hoofd risico's). Hieronder wordt verstaan aantasting door:

- Chemische reacties
- Mechanische veranderingen
- Temperatuur

Het Zechstein reservoir bestaat hoofdzakelijk uit kalksteen maar bevat ook dunne laagjes anhydriet. Dit hoofdstuk heeft betrekking op de integriteit van het Zechstein reservoir en de afdekkende anhydriet laag. De integriteit van de afdekkende zout lagen ("reservoir containment") en het risico op verspreiding van stoffen wordt behandeld in hoofdstuk 3.

### Chemische reacties

Wanneer het injectiewater of de mijnbouwhulpstoffen daarin, chemisch niet compatibel zijn met het reservoirgesteente of het daarin aanwezige formatiewater, dan kunnen er ongewenste chemische reacties optreden. Dit kan leiden tot het verstopt raken van het reservoir waardoor injectie bemoeilijkt wordt, of –in theorie– tot het oplossen van mineralen waaruit het reservoirgesteente is opgebouwd. In dit hoofdstuk worden de oorzaken en gevolgen van mogelijke geochemische incompatibiliteit weergegeven. Verder wordt er ingegaan op preventieve maatregelen om de kans op incompatibiliteit te verkleinen, alsmede reactieve maatregelen om de mogelijke gevolgen te beperken.

NAM heeft een lange ervaring met het injecteren van water in zowel zandsteen als kalksteenformaties en eventuele daarmee geassocieerde geochemische reacties. Tot dusver is het bij de NAM (en de olie-industrie wereldwijd) nog niet voorgekomen dat een reservoir "oplost". De mineralen waaruit de reservoirs bestaan (kalksteen en anhydriet), zijn niet of nauwelijks oplosbaar in het te injecteren water. Aanslagvorming wat kan leiden tot verstopping komt wel voor, en daar richt de risico analyse zich dan ook meestal op (Ref 12).

Het productiewater uit het Schoonebeek olie-veld dat wordt geïnjecteerd in de Zechstein reservoirs heeft een met het Zechstein formatiewater overeenkomstige samenstelling, waardoor er geen gevaar bestaat voor reacties met het Zechstein reservoirgesteente (Ref 12). Ook de pH van het injectiewater is dusdanig hoog dat het Zechstein reservoirgesteente niet zal oplossen.

Incompatibiliteit van productiewater met het Zechstein formatiewater zou kunnen leiden tot het neerslaan van onoplosbare zouten. Dit verschijnsel kan plaatsvinden wanneer twee waterstromen worden gemengd en/of verandering van condities zoals bijvoorbeeld pH, druk en/of temperatuur optreedt. Mogelijk gevormde neerslag kan leiden tot verminderde injectiviteit doordat gesteenteporiën verstopt kunnen raken. Doordat deze neerslagvorming gebaseerd is op fysische en chemische eigenschappen, kunnen deze door thermodynamische modellen worden voorspeld. Deze laten zien dat het risico van neerslagvorming in het Zechstein reservoir laag is (Ref 12). Mogelijkerwijs kunnen kleine hoeveelheden bariumsulfaat neergeslagen worden. Dit is te voorkomen door een antibarium-sulfaataanslagvloeistof toe te voegen.

Verder zijn de in het injectiewater voorkomende mijnbouwhulpstoffen onderzocht met betrekking tot chemische interactie met het Zechstein reservoirgesteente en formatiewater (Ref 12). De mijnbouwhulpstoffen zijn commercieel ontwikkeld, waarbij alleen de leverancier de precieze samenstelling kent. Hoewel NAM de precieze samenstelling niet kent zijn in het algemeen de werkzame bestanddelen wel bekend en deze verschillen vaak weinig tussen de producten van verschillende leveranciers. Aan de hand van risico-kaarten beschrijft de leverancier verder de veiligheidsaspecten. Dit is volgens wettelijke voorschriften, waarbij SodM toezicht en controle houdt. Daarbij krijgt SodM inzage in additionele gegevens van de leverancier. Het is zodoende niet mogelijk voor de NAM om de precieze samenstelling van de mijnbouwhulpstoffen te benoemen, maar wel de mate waarin de stoffen gevaarlijk of schadelijk kunnen zijn.

De mijnbouwhulpstoffen zijn in de toegepaste concentraties compatibel met het Zechstein reservoirgesteente en formatiewater. De meeste mijnbouwhulpstoffen zijn niet reactief. Ze hechten zich bijvoorbeeld aan materialen en zorgen zodoende voor een beschermende laag. De H<sub>2</sub>S binder is wel reactief met H<sub>2</sub>S, maar de reactie producten die in het injectiewater voorkomen zijn niet reactief. De

zuurstof binder kan aanslag vormen met componenten in het formatiewater, maar de hoeveelheden zijn dusdanig klein dat het verwachte effect verwaarloosbaar is. De mijnbouwhulpstoffen hebben geen impact op het Zechstein reservoirgesteente zoals oplossing of chemische reacties met mineralen. Degradatie van mijnbouwhulpstoffen wordt niet verwacht, want dat zou tevens de functionaliteit van de stoffen verminderen, wat aan het licht zou zijn gekomen in het chemicaliën selectieproces.

Mochten er toch onverwachte reacties plaatsvinden, dan zal dat merkbaar zijn door veranderingen in de injectiviteit. Het verstopt raken van poriën zal gepaard gaan met toenemende injectiedruk. Injectiedrukken moeten regelmatig geëvalueerd worden, zoals dat in Twente gebeurt conform het waterinjectie management plan (Ref 5). Op basis daarvan kan de dosering van aanslagremmer aangepast worden. Indien de injectie druk onverwacht zo hoog oploopt dat de mechanische integriteit van de afdekkende lagen in het geding komt, dan zal vanuit de controlekamer de injectie stopgezet worden. In het onwaarschijnlijke geval dat er niet ingegrepen wordt, zal een beveiliging in het pompsysteem ervoor zorgen dat de pomp automatisch afslaat mocht de maximale injectiedruk overschreden worden (zie ook hoofdstuk 3, 4, en 5).

### **Mechanische veranderingen**

Bij waterinjectie kan de injectiviteit van een reservoir worden verbeterd door een hogere injectiedruk toe te passen, waarmee scheuren in het reservoir ontstaan. Dankzij de scheuren kan het water beter het reservoir instromen. Deze manier van werken wordt aangeduid als injectie onder “fracture conditions”. In de Twente waterinjectie-vergunningen is voorzien in de mogelijkheid om met deze methode water te injecteren. Echter, de ervaring leert dat het reservoir snel water kan opnemen door de scheuren die van nature al aanwezig zijn in het Zechstein kalksteen reservoir (Ref 7). Het is de verwachting dat injectie onder fracture-conditions in de Zechstein kalksteen reservoirs niet nodig zal zijn.

Mocht injectie onder fracture conditions toch plaatsvinden, dan moet de scheurvorming beperkt blijven tot de kalksteen. De onder- en bovenliggende anhydriet en zoutlagen hebben een hogere minimale horizontale spanning, waardoor scheurvorming daar alleen kan optreden bij een nog hogere druk. Om de integriteit van de afsluitende lagen te garanderen is daarom een druklimiet gesteld op de injectiepompen (zie hoofdstuk 3 en 5). Tevens wordt niet geïnjecteerd in of dichtbij breuken om het risico op aardbevingen te minimaliseren (zie hoofdstuk 4).

### **Temperatuur**

Het is een bekend gegeven in de literatuur, dat injecteren van koud water in warme reservoirs kan leiden tot thermische scheuren van het reservoirgesteente. Injectie onder “fracture-conditions” zoals hierboven beschreven kan mogelijk plaatsvinden op een lagere injectiedruk dan normaal verwacht zou worden.

Zoals boven beschreven is in de Twente waterinjectie-vergunningen voorzien in de mogelijkheid om met deze methode water te injecteren. Dat zal ook gelden voor de waterinjectie-vergunningen bij Schoonebeek. De relevante beheersmaatregelen die in Twente geïmplementeerd zijn zullen ook bij Schoonebeek geïmplementeerd worden.

### **Conclusies**

Aantasting van het reservoir en afdichtende anhydriet door chemische reacties wordt niet verwacht. Mogelijk kunnen er (thermische) scheuren in het reservoirgesteente ontstaan tijdens injectie (injectie onder fracture conditions). In de waterinjectie-vergunningen is voorzien in deze mogelijkheid. Mechanische veranderingen in de afdichtende anhydriet lagen worden niet verwacht omdat hiervoor de druk te laag blijft.

### 3. Vrijkomen van injectiewater als gevolg van zoutoplossing

---

Het reservoir van de injectie velden bestaat uit kalksteen. Daar overheen ligt een laag ondoordringbaar anhydriet, gevolgd door een dik pakket ondoordringbaar steenzout. Daarna volgen nog zo'n 1000 meter (Twente) tot 3000 meter (Schoonebeek) aan klei en zandsteen pakketten. De anhydriet laag en het steenzout vormen de afdichtende laag die gedurende miljoenen jaren het gas tegengehouden hebben. Deze afdichtende lagen zorgen er ook voor dat het injectiewater goed opgeborgen blijft en niet naar boven kan komen.

Het oplossen van de afdichtende steenzout laag is een risico dat zou kunnen leiden tot de verspreiding van het injectiewater, in het uiterste geval tot in het grondwater binnen de biosfeer (zone tot maximaal 500 meter diepte). Daarnaast bestaat de zorg dat het oplossen van zout zou kunnen leiden tot cavernes, welke uit zouden kunnen groeien tot sinkholes aan het oppervlak. Dergelijke cavernes zouden ook een ontsnappingsroute bieden voor het nog in het reservoir aanwezige gas.

#### Zout-concentratie

Het injectiewater is zout, maar niet verzadigd met zout. Volledig met zout verzadigd water heeft een zoutgehalte van ongeveer 300 g/l. Het zoutgehalte van het injectiewater is veel lager. Het injectiewater is afkomstig uit Schoonebeek waar het als productiewater vrijkomt bij de oliewinning. In Schoonebeek wordt stoom geïnjecteerd om de stroperige olie te verwarmen en zo de winning te bevorderen. De stoom condenseert in het olie reservoir waar het zich mengt met het aanwezige zoute formatiewater. Dit watermengsel komt mee naar boven met de oliewinning als productiewater. Doordat er steeds meer gecondenseerd stoom bij komt, neemt het zoutgehalte van het productiewater in de loop der tijd af. Het zoutgehalte was bij aanvang ongeveer 90 g/l. In 2015 was het water ongeveer even zout als zeewater (ongeveer 34 g/l). De verwachting is dat het zoutgehalte verder zal afnemen naar ongeveer 10 g/l. Het Schoonebeek productiewater wordt in de kalksteen reservoirs geïnjecteerd. Het zoutgehalte van het injectiewater is bepalend voor het vermogen van het water om zout op te lossen. In de modelleringen (Ref 1) is de conservatieve aanname gedaan dat het injectiewater altijd een zoutgehalte heeft van 1 g/l. Derhalve is de afname van het zoutgehalte en de toenemende capaciteit van het injectiewater om zout op te lossen al meegenomen in de analyse.

#### Bow-tie

Appendix 1 laat een bow-tie analyse zien van de mogelijke oorzaken en gevolgen die op zouden kunnen treden mocht oplossing van steenzout plaatsvinden. Daarnaast zijn de barrières en beschermende maatregelen genoemd die zowel in het voortraject (voor aanvang van waterinjectie) als ook naderhand genomen zijn dan wel uitgevoerd zouden kunnen worden mocht lekkage geconstateerd worden. De mogelijke dreigingen linksboven in de bow-tie analyse (appendix 1) zijn geassocieerd met mogelijke oplossing van zout ter hoogte van het reservoir, direct bij de injectieputten. De mogelijke dreigingen linksonder zijn geassocieerd met mogelijke oplossing van zout in het reservoir ver bij de injectieput vandaan.

De bow-tie analyse is primair ontwikkeld voor Rossum-Weerselo, Tubbergen en Tubbergen-Mander, maar is van toepassing op het Schoonebeek gasveld. Daar waar er verschillen zijn tussen de situatie in Twente en in Schoonebeek is dat aangegeven. Om te beginnen is in Twente sprake van operationele installaties, leidingen en putten met gedetailleerde monitoring activiteiten verankerd in verleende vergunningen. Bij Schoonebeek is dat niet het geval, maar zal een soortgelijk systeem geïmplementeerd worden.

#### Mogelijke oorzaken en barrières

Op basis van uitgebreide modelleringen is aangetoond dat zoutoplossing alleen waarschijnlijk is als tegelijkertijd aan twee zeer specifieke condities voldaan wordt (Ref 1):

1. het injectiewater moet in direct contact kunnen komen met het steenzout
2. het injectiewater moet in voldoende mate langs het steenzout kunnen doorstromen om steeds weer "vers" (niet zout verzadigd) water aan te voeren.

Uit een beschouwing van de putten, waarin het water wordt geïnjecteerd, in samenhang met de geologie van de injectiereservoirs (carbonaatlagen) en afdichtende lagen (anhydriet en steenzout lagen) in de

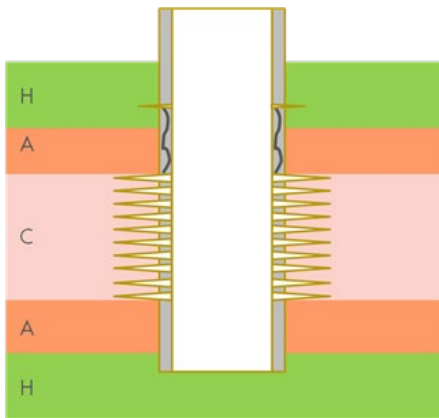
diepe ondergrond (Ref 1, 2), zijn slechts een paar scenario's geïdentificeerd, waarbij in theorie injectiewater langs het zout zou kunnen stromen:

1. Langs de put
2. Dichtbij de put
3. In het veld

Deze scenario's zijn in de onderstaande paragrafen uitgewerkt.

### Risico van zoutoplossing langs de put

De bow-tie van dit risico is te vinden in Appendix 1 ('at the wellbore' linksboven in de bow-tie). Direct rondom een put zou injectiewater dat op diepte van de carbonaatlaag (C) wordt geïnjecteerd via mogelijke scheurtjes in het cement (als deze van een slechte kwaliteit is) rondom de verbuizing naar de onder- of bovenliggende steenzoutlaag (H) kunnen stromen. Daarnaast kan het injectiewater ook in contact komen met het zout als er een lek in de ondergrondse verbuizing is ontstaan (zie Figuur 2). Elk afzonderlijk kunnen deze situaties niet tot grootschalige zoutoplossing leiden, omdat het niet verzadigde injectiewater niet rond kan stromen. Het water raakt daardoor snel verzadigd en kan niet nog meer zout oplossen. Slechts een combinatie van deze twee situaties kan een continu stromingspad opleveren wat mogelijk wel tot aantasting van de zoutlaag zou kunnen leiden.



*Figuur 2: Schematische weergave van een theoretisch scenario waarbij dichtbij de put injectie water in contact zou kunnen komen met het Steenzout of Haliet (H): via injectie in het Carbonaat (C), waarna het via mogelijke scheurtjes (blauwe lijntjes) in slechte kwaliteit cement rondom de verbuizing langs de Anhydrietlaag (A) en het Haliet stroomt, dan wel via een lek in de verbuizing op diepte van het Haliet (rode spitse punten in laag H), waarna het weglekt naar het Carbonaat*

De putverbuizing onder de productiepacker wordt beschermd tegen corrosie door toediening van anti corrosiemiddelen zoals corrosion inhibitor (tegen CO<sub>2</sub> corrosie) en indien noodzakelijk zuurstofbinder. Aanvullende beschermende maatregelen zijn een goede en regelmatige inspectie van de injectieputten zelf. Deze inspectie is gericht op zowel de kwaliteit van de stalen verbuizingen in de put, als ook de kwaliteit van de cementlaag waarmee de verbuizing is vastgezet in het gesteente. In Twente zijn dergelijke inspecties (calliper en eventueel temperatuur, PLT en CBL logs) een integraal onderdeel van het Waterinjectie Management Plan voor de injectievelden (Ref 14). De resultaten van de inspectieprogramma's moeten op jaarlijkse basis gedeeld worden met het bevoegd gezag en de toezichthouder SodM (Ref 16). Voor de waterinjectie bij Schoonebeek zal een soortgelijk Waterinjectie Management Plan geïmplementeerd worden.

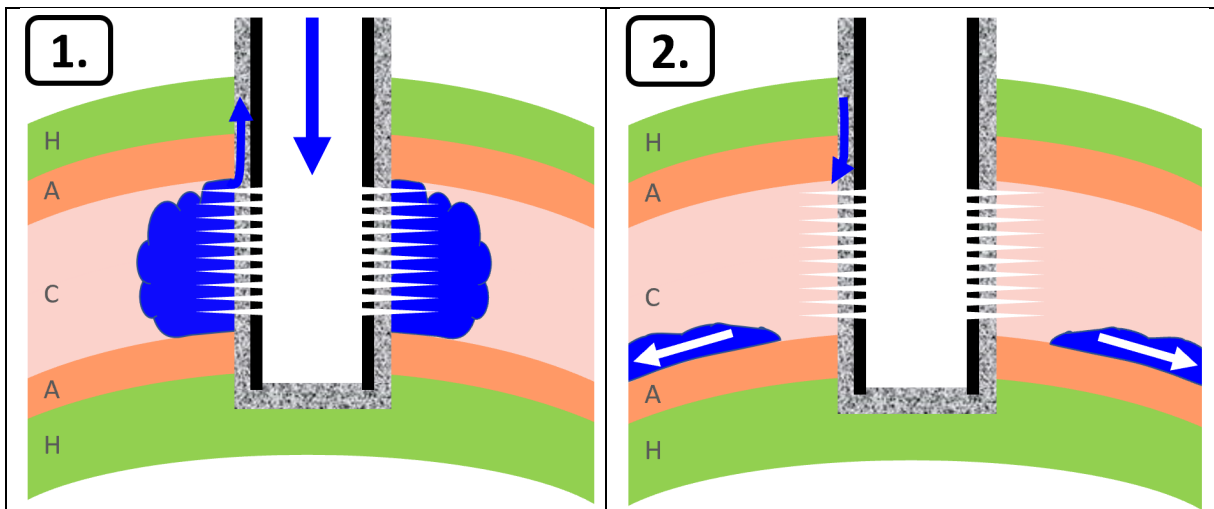
Zelfs in het slechts denkbare geval waarin er een lek in de verbuizing is, gecombineerd met scheurtjes in het cement, dan zal het water het pad van de minste weerstand kiezen: de perforaties. Zolang deze toegankelijk zijn zal nagenoeg al het water via de perforaties stromen, waardoor eventuele zout oplossing beperkt wordt. Continue monitoring van de injectiedruk is daarom van belang om zeker te stellen dat de perforaties open zijn. De injectiedruk wordt continu gemonitord op de injectiepompen (Ref 5). Deze zijn uitgerust met een druk begrenzing, waardoor de druk niet hoger kan worden dan scheurvormingsdruk in de afdichtende lagen. Hierdoor wordt de kans op mogelijke scheurvorming in de onder en bovenliggende afdichtende anhydrietlagen sterk gereduceerd. Bovendien wordt ervoor gezorgd dat de gemiddelde druk in het reservoir niet boven de oorspronkelijke reservoirdruk uitkomt (Ref 5, 7 en 16). Indien de druk sterk afwijkt van de verwachte druk zullen de modellen geëvalueerd

worden, met name m.b.t. de validiteit van onderliggende gegevens en aannames over put configuratie, reservoir eigenschappen en reservoir dimensies.

In 2021 heeft NAM een aantal extra metingen in de operationele putten (ROW-4, 5 en 7) laten uitvoeren. De resultaten van deze metingen hebben geleid tot een actualisatie van dit paragraaf. Om een beeld te krijgen van de gesteentelagen zijn bij wijzen van experiment Pulse Neutron Logs (PNL) gebruikt. Deze meettechniek wordt doorgaans gebruikt om olie- of gas-saturatie te meten in een reservoir. Het idee was om deze te testen voor de detectie van eventuele waterhoudende ruimtes in het Hallet achter de casing.

In de putten ROW-5 en ROW-7A is geen indicatie gevonden van waterhoudende ruimtes in het hallet. Echter, bij put ROW-4 is in de Zechstein 2 Hallet over een lengte van ca 3 meter een afwijkende uitslag aangetroffen, hetgeen mogelijk gerelateerd kan zijn aan een waterhoudende ruimte achter de casing. De CBL log van 2021 wijkt bij dit interval ook af van de CBL log uit 2013. Het advies van de onderaannemer is om een herhaal-meting uit te voeren onder injectie condities. In afwachting van verder onderzoek is ROW-4 uit voorzorg buiten gebruik genomen.

Mogelijk is bij ROW-4 sprake van aantasting van Hallet. Als gevolg van starten/stoppen van injectie (door bijvoorbeeld onderhoudswerkzaamheden) ondergaat een put thermische cycli (afkoeling door het koude injectiewater, opwarming tijdens stops). Hoewel dit kleine effecten zijn is het op termijn niet uit te sluiten dat de cement bond wordt aangetast, of dat er barstjes in het cement ontstaan. Hierdoor kan een micro-annulus ontstaan achter de casing, waardoor er injectiewater (laag zout gehalte) in aanraking kan komen met de hallet. Zie Figuur 3. Tijdens injectie wordt het injectiewater een micro-annulus ingeperst (1). Bij een injectie stop zakt het water onder invloed van zwaartekracht weg uit de near-wellbore area, naar lager gelegen delen van het reservoir (2). Het water draineert uit de micro-annulus. Omdat het onverzadigde injectiewater niet continue rond kan stromen leidt dit mechanisme niet tot grootschalige zoutoplossing.



*Figuur 3: Tijdens injectie wordt het injectiewater een micro-annulus ingeperst (1). Bij een injectie stop zakt het water onder invloed van zwaartekracht weg uit de near-wellbore area, naar lager gelegen delen van het reservoir (2). Het water draineert uit de micro-annulus.*

Door het vergelijken van periodieke PNL logs kan worden geobserveerd of er veranderingen optreden in het hallet achter de casing. Bij het vaststellen van integriteitsverlies is de put niet langer geschikt voor injectie en kan deze worden geabandonneerd. Deze PNL monitoring is inmiddels opgenomen in het geactualiseerde Water Injectie Management Plan.

Er is ook een alternatieve verklaring voor de observaties in ROW-4. Mogelijk vindt cross-flow plaats tussen de twee injectie reservoirs via een micro-annulus als gevolg van een dynamisch drukverschil tijdens injectie. Het bestaan van een dergelijke micro annulus is niet uit te sluiten. Het debiet zal echter zeer laag zijn waardoor eventuele zout oplossing beperkt wordt (de observaties zijn te verklaren met minder dan 1 liter per dag). Ook dit mechanisme kan bijtijds gedetecteerd worden door het vergelijken van periodieke PNL logs. Verder is dit mechanisme minder relevant voor waterinjectie in het

Schoonebeek gasveld. In het Schoonebeek gasveld bevindt zich namelijk slechts één injectie reservoir waardoor er geen sprake kan zijn van cross flow tussen twee injectie reservoirs.

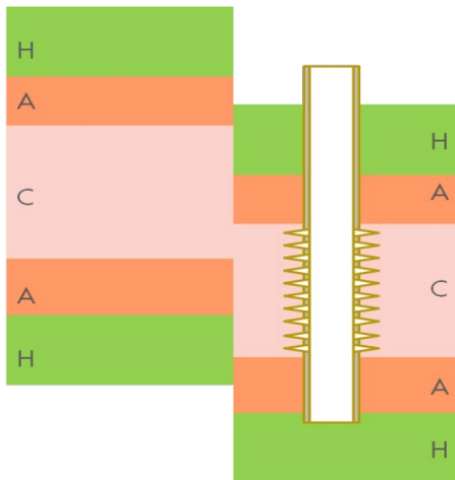
De observaties in ROW-4 hebben geleid tot een actualisatie van deze paragraaf. Geconcludeerd kan worden dat deze observaties aansluiten bij het scenario dat reeds beschreven was in dit paragraaf. Er is immers geen sprake van een nieuw risico dat nog niet beschreven was. Mogelijk is er sprake van beperkte zout oplossing zoals vermeld in de bestaande bow tie. Conform de bow tie kan deze door monitoring en logging gedetecteerd worden. De gebeurtenissen hebben echter wel geleid tot een intensivering van het logging programma met betere tools en een hogere logging frequentie. Voortaan zal NAM jaarlijks een PNL log runnen conform het geactualiseerde Water Injectie Management Plan. Met deze aanvullende maatregelen blijft het risico profiel voor zout oplossing bij water injectie in Twente en in Schoonebeek ongewijzigd.

#### **Risico van zoutoplossing dicht bij de put**

Dit risico is verder uitgewerkt links midden in de bow-tie in Appendix 1. Op basis van vele boorputgegevens kan worden aangetoond dat de lege carbonaat gasreservoirs in Twente overal zowel aan de boven- als onderzijde gescheiden worden van het steenzout door een onoplosbare anhydrietlaag (Ref 2). In zuidoost Drenthe zijn deze anhydrietlagen ook overal aanwezig, maar er bevindt zich geen steenzout onder het reservoir. De bovenste anhydrietlaag vormt een perfecte afsluiting (barrière) die er ook gedurende vele miljoenen jaren voor gezorgd heeft dat het gas in deze reservoirs opgesloten is gebleven. Als er in het gesteente geen breuken aanwezig zijn, dan kan op afstand van de put door de aanwezigheid van onoplosbare anhydrietlagen tussen het carbonaat en het steenzout geen contact ontstaan tussen het injectiewater en het steenzout. Alleen in de buurt van breuken is een situatie mogelijk waarbij het injectiewater in contact zou kunnen komen met het steenzout (zie Figuur 4) doordat de verschillende lagen aan weerszijde van en langs de breuk in diepte zijn verschoven. Om stroming van injectiewater langs breuken te beperken dient er voldoende afstand te zijn tussen injectieputten en breuken. Gedetailleerde simulatie modellen (Ref 1) laten zien dat met een, niet realistische, injectiesnelheid van 2500 m<sup>3</sup>/d gedurende 20 jaar (cumulatief geïnjecteerd volume van 15 mln m<sup>3</sup>) een afstand van 140 meter tussen put en breuk voldoende is om het risico van zout oplossing langs breuken te beperken. De waterinjectieputten in Twente voldoen aan dit criterium. Voor de injectiereservoirs nabij Schoonebeek liggen verwachte injectie snelheden en volumes een factor 2 tot 3 lager. Daarom wordt een conservatieve afstand van 100 meter aangehouden.

Wanneer het injectiewater in het reservoir komt, mengt het zich met het reeds aanwezige zeer zoute formatiewater. Hoe verder bij de put vandaan, hoe hoger het zout gehalte en hoe lager het vermogen van het water om zout op te lossen. Wanneer het water bij de put wegstroomt, neemt tevens de stromingssnelheid af. Dit leidt ook tot een afname van de snelheid waarmee zout langs een breuk eventueel op zou kunnen lossen.

In de buurt van breuken zijn de natuurlijk voorkomende scheuren in het kalksteen reservoir gevuld met zout (Ref 2). Hierdoor wordt het contact van het injectiewater met de Zechstein haliet formatie sterk vertraagd. Zelfs wanneer er direct contact zou zijn tussen het injectiewater in het zout, dan nog zou het water het pad van de minste weerstand kiezen: de van nature voorkomende open scheuren in het kalksteen reservoir.



*Figuur 4: Als de carbonaat laag (C) op afstand van de put door verschuiving langs de breuk in diepte overlapt met het haliet (H) zou injectiewater in direct contact met het Haliet kunnen komen  
NB: in zuidoost Drenthe bevindt er zich geen haliet onder het reservoir*

### **Risico van zoutoplossing in het veld**

Dit risico is verder uitgewerkt linksonder in de bow-tie van Appendix 1. Na verloop van tijd is het injectie reservoir vol. Dit kan enkele jaren tot enkele tientallen jaren duren. Daarna worden de putten opgeruimd en stopt de stroming in het reservoir. De primaire barrière tussen het opgeslagen injectiewater en het haliet is de tussenliggende onoplosbare anhydriet laag. Indien er toch ergens contact is tussen het stilstaande injectiewater en het haliet (bijvoorbeeld bij een breuk), dan kan dit haliet in eerste instantie alleen oplossen door diffusie, wat een zeer traag proces is. Model berekeningen laten zien dat het tienduizenden jaren duurt voordat er voldoende haliet opgelost kan zijn om een convectie stroom op gang te brengen (Ref 1) die tot verdere oplossing zou kunnen leiden.

In Twente zijn de eigenschappen van het reservoir zodanig dat water makkelijk horizontaal door de lagen kan stromen, maar slechts heel moeilijk en langzaam verticaal kan stromen. Dit komt primair door de aanwezigheid van afdichtende horizontale anhydriet laagjes in het kalksteen reservoir zelf (Ref 2). De beperkte verticale stroming maakt dat verdere oplossing door convectie, als het al op zou kunnen treden, ook zeer langzaam verloopt, in de orde van duizenden tot tienduizenden jaren (Ref 1).

Gedurende injectie zal het nog in het reservoir aanwezige gas migreren naar de top van het reservoir terwijl het water naar beneden zakt. Mocht er toch lokaal contact zijn tussen het reservoir en het haliet daar boven, dan kan het gas een barrière vormen tussen het injectiewater en het haliet. Hierdoor wordt zout oplossing op de hoger gelegen delen van het injectie reservoir bemoeilijkt. Dit mechanisme zorgt er tevens voor dat ontsnapping van gas naar hoger gelegen lagen als gevolg van zout oplossing fysisch onrealistisch wordt geacht.

Het is zeer onwaarschijnlijk dat een significante hoeveelheid zout zal oplossen binnen een relevante tijdschaal ten gevolge van waterinjectie in de Zechstein kalksteen reservoirs. Echter, zelfs als grootschalige zoutoplossing plaats zou vinden, zou deze niet leiden tot de vorming van cavernes (met zout water gevulde holtes) omdat zout zich op de diepte van de gasvelden plastisch gedraagt (Ref 15). Bij eventuele oplossing van haliet, zal de gevormde holte zich na enige tijd sluiten door het plastische kruipgedrag van het zout. Het water kan immers het carbonaatgesteente “instromen”. Dit in tegenstelling tot commerciële zoutcavernes, waar het water enkel via de put kan ontsnappen. De eventueel gevormde holte wordt dus weer ‘dichtgedrukt’, waardoor zich geen grote holte kan vormen (Ref 15). De vorming van cavernes of sinkholes aan het oppervlak wordt door dit verschijnsel fysisch onrealistisch geacht.

Om de mogelijke gevolgen in het geval van extreme zoutoplossing te testen zijn model berekeningen verricht aan een van de Twente reservoirs (Tubbergen) waarbij aangenomen is dat overal het Carbonaat reservoir direct in contact staat met het steenzout zodat een maximale (niet realistische) zoutoplossings situatie nagebootst wordt (Ref 3). Die studies laten zien dat in het meest extreme geval op een termijn van duizenden jaren zoutoplossing zou kunnen optreden. Hierbij wordt minder dan 1% van het totale volume van de zoutlaag boven het reservoir opgelost, wat inhoudt dat zelfs in dit extreme scenario de integriteit van de afdekkende zoutlaag gegarandeerd blijft. De studie laat ook zien dat deze bodemdaling zich zal manifesteren aan het oppervlak als een geleidelijke komvormige verzakking met een diameter



van ongeveer 5 kilometer die op zijn diepste punt een diepte heeft van ca. 12-14 cm. Dit toont ook aan dat er als gevolg van waterinjectie in Twente en nabij Schoonebeek geen sprake zal zijn van zeer lokale, dicht aan het oppervlakte veroorzaakte, verzakkingen.

### **Mogelijke gevolgen en mitigerende maatregelen**

Verschillende risicoscenario's zijn beschreven, waaronder het scenario dat tijdens de waterinjectie lekkage plaatsvindt vanuit de injectieput (zie ook hoofdstuk 5) of vanuit het reservoir in de directe omgeving van de injectieput (dit hoofdstuk). Daarnaast zijn scenario's bekeken waarbij injectiewater uit het reservoir zou kunnen lekken in het veld ver bij de injectieputten vandaan. De conclusie daarbij is dat migratie van injectiewater via of nabij de put als scenario niet geheel ondenkbaar is, en dus uitgewerkt moet worden.

#### Verspreiding van stoffen

Op de diepte van de injectiereservoirs is het steenzout plastisch. De druk in het plastische zout is altijd hoger dan de druk in het injectiewater. Indien er ondanks alles toch holten in het zout ontstaan bij of nabij een injectieput, dan zullen deze snel gevuld worden door zout kruip, waarbij zout toestroomt vanuit de wijde omgeving. Hierdoor worden geen lokale verzakkingen verwacht en blijft de afdekkende werking van het zout intact. Dit effect is het sterkst in de het Schoonebeek gasveld omdat de snelheid van zout kruip hoger is op grotere diepte.

Door regelmatige inspectie van de putten kan zout oplossing langs een put gedetecteerd worden, en kan bijtijds ingegrepen worden. Bijvoorbeeld door reparatie of abandonering van de injectieput. Voor de detectie van zout-oplossing op enige afstand van putten is geen directe monitoring methode beschikbaar. Sampling van formatiewater ter kalibratie van zout-oplossing modellen is soms gesuggereerd als mogelijkheid. Echter, het mengproces van het relatief zoete injectiewater met het zoute formatiewater en de resulterende drie dimensionale verdeling van zoutconcentraties is bijzonder complex en moeilijk voorspelbaar. Derhalve kunnen aan een beperkt aantal metingen van de actuele zout-concentratie in het reservoir geen conclusies verbonden worden over de validiteit van scenario's en modellen.

De gemiddelde druk in het reservoir blijft ten alle tijden onder de oorspronkelijke druk en gedurende bijna de gehele injectieperiode ook onder de hydrostatische druk. In het onwaarschijnlijke geval dat de afdekkende haliet-laag toch doorbroken wordt, zal in de meeste gevallen lekkage in omgekeerde richting plaatsvinden: van de hoger gelegen hydrostatische zandsteen lagen naar het onder lagere druk staande kalksteen injectie reservoir.

Indien de druk in het gelekte injectiewater toch hydrostatisch of hoger zou zijn, dan vormen de hoger gelegen kleisteen lagen van het onder Trias (Bunter formatie) een bewezen afdekkende laag van enkele honderden meters tussen het injectiewater en de biosfeer (<500m diep). Deze en de hierop volgende barrières gelden ook voor eventuele lekkage door de verbuizing van putten (zie hoofdstuk 5). Zelfs als een of enkele van deze kleilagen door onverwacht hoge druk doorbroken zouden worden, dan kan het water opgevangen worden in de lateraal uitgestrekte zandsteen lagen in de Bunter formation, waarmee de druk afneemt en de kans op verdere doorbraak naar hoger gelegen lagen ook afneemt. Ook in de bovenste 500 meter (biosfeer) komen veel afdekkende klei/kleisteen lagen voor.

Mocht er ondank alles toch injectiewater in het grondwater terecht komen dan moet met het volgende rekening worden gehouden:

- Het productiewater komt vanuit een hogere druk in een gebied met lagere druk, waardoor stoffen in de gasfase kunnen vrijkomen en een emissie veroorzaken van mogelijk brandbare gassen en ook van broeikasgassen
- Er zitten afbreekbare componenten in, zoals aromatische koolwaterstoffen en minerale olie. Dit afbreken zal niet plaatsvinden op grote diepte, door het ontbreken van zuurstof en nutriënten, maar wel als het productiewater naar de oppervlakte komt waar het grondwater zuurstofrijker is. Het kan ook worden gestimuleerd door middel van het toedienen van nutriënten en zuurstof.
- De stoffen zoals aromatische koolwaterstoffen en minerale olie zijn gevaarlijk voor mens, dier en plant. Zout heeft invloed op micro-organismen en planten.
- Tevens kunnen in het productiewater toegevoegde stoffen aanwezig zijn die niet of nauwelijks afbreken, zoals inhibitors. Voor deze stoffen dient een specifieke inventarisatie te worden uitgevoerd.

De verontreiniging kan zich zowel horizontaal als verticaal verplaatsen. Dit is mede afhankelijk van eventuele onttrekkingen in de omgeving en het volume water dat vrijkomt. Grondwaterstroming is relatief traag, in de regel een paar meter per jaar. Lokaal zijn hogere snelheden wel mogelijk. De verspreiding zal zodoende pas na een aantal jaren wat grotere afmetingen hebben. Hoe sneller de verontreiniging

wordt ontdekt, des te effectiever kan de verontreiniging worden gesaneerd. In de omgeving van iedere putlocatie staan peilbuizen waar het grondwater gemonitord wordt. Indien een verontreiniging gevonden wordt, kan sanering plaatsvinden.

Sanering van een diepe grondwaterverontreiniging bestaat er over het algemeen uit dat het water uit de omgeving wordt onttrokken. Afhankelijk van de kwetsbaarheid van de omgeving voor verlaging van stijghoogten, kan dit in combinatie met retourbemaling worden uitgevoerd.

#### Ontsnapping van gas en bodemdaling

Naast het risico op verontreiniging van grondwater bestaat de zorg dat het oplossen van zout zou kunnen leiden tot cavernes, welke uit zouten kunnen groeien tot sinkholes aan het oppervlak. Dergelijke cavernes zouden ook een ontsnappingsroute bieden voor het nog in het reservoir aanwezige gas.

Gas zal door de lagere dichtheid naar boven te stijgen, waarbij het water naar beneden geduwd wordt. Daarmee wordt opwaartse zout oplossing bemoeilijkt. Zodoende wordt ook de kans op gas-migratie naar hoger gelegen lagen sterk gereduceerd. Bovendien gelden de bovengenoemde barrières voor injectie water (relatief lage drukken en afdichtende kleisteenlagen) tevens voor gas.

In een hypothetische situatie dat er toch een zout caveerne zou ontstaan, dan kan deze niet verder groeien dan de top van de Zechstein haliet formatie op een diepte van meer dan 1000 meter (in Twente). Indien een dergelijke caveerne in zou storten, dan migreert de caveerne naar boven. Tijdens deze migratie zal het volume sterk afnemen. Door middel van Insar monitoring is het mogelijk om vroegtijdig kleine bodembewegingen te detecteren. Zodoende zou het hypothetische ontstaan van een sinkhole vroegtijdig opgemerkt kunnen worden zodat maatregelen getroffen kunnen worden zoals het stoppen van waterinjectie.

#### **Onafhankelijke expert reviews**

De NAM rapporten over zout oplossing risico (Ref 1-3) zijn door SodM onderworpen aan onafhankelijke reviews door de universiteiten van Clausthal en Parijs (ParisTech) (Ref 10):

Conclusie review prof. Hou, Clausthal m.b.t. de zoutrapporten:

*“Based on my review of all three reports, it can be concluded that the study assumptions are conservative or even too conservative; modelling approaches and conclusions are logic, realistic and acceptable; the long term stability of the halite seal (e.g. cavern development, breach of confinement) due to the halite dissolution in the low salt-saturated injection water is confirmed; and the reported large scale volumes of fresh water injection in the Zechstein carbonate reservoirs (ZEZ2C & ZEZ3C) can be a sustainable safe operation in the long-term (more than 1,000 years).”*

Conclusies review team Dr Bruel, Parijs m.b.t. de zoutrapporten:

*“Our feeling is that the safety of the long-term storage is not questioned”*

*“A common survey consisting in (of) water wells monitoring combined with time series of satellite-based measurements of the surface deformation will be sufficient in the early phase to ensure that the storage behaves as expected.”*

Daarnaast heeft TNO op verzoek van het ministerie van economische zaken een additionele verificatie uitgevoerd (Ref 15). Conclusies van TNO m.b.t. zoutoplossing:

*“Het is zeer onwaarschijnlijk, dat een caveerne van significant grootte zal worden gevormd door het oplossen van zout ten gevolge van waterinjectie in de Twentevelden”*

*“In het onwaarschijnlijke geval, dat een grote hoeveelheid zout wordt opgelost, blijven de effecten aan het maaiveld beperkt tot geleidelijke bodemdaling in de orde van 10 cm (gebaseerd op het Rossum-Weerselo veld). Bij de andere velden zal dit kleiner zijn, vanwege de lagere volumes van geïnjecteerd water”*

## 4. Geïnduceerde bevingen als gevolg van waterinjectie

Aardbevingen of trillingen kunnen ontstaan door spanningsveranderingen door productie of injectie in de diepe ondergrond. Vooral injectie nabij bestaande breukzones kan leiden tot beweging van deze breuken, wat wordt aangeduid als re-activatie van de breukzone. De bewegende gesteentelagen kunnen trillingen en aardbevingen veroorzaken.

### Aardbeving studies

In de MER in 2006 is al aandacht besteed aan de effecten van bodembewegingen (daling en trillingen) indien water geïnjecteerd wordt. De MER concludeerde dat de beoogde injectiereservoirs in Twente niet eerder seismisch actief zijn geweest en dat, zolang de gemiddelde reservoir druk beneden de oorspronkelijke reservoirdruk blijft, er dan ook geen trillingen als gevolg van waterinjectie worden verwacht. Het feit dat 11 jaar waterinjectie in Twente niet tot aardbevingen heeft geleid is in overeenstemming met de conclusies uit de MER.

In 2015 is een meer uitgebreide risicoanalyse uitgevoerd (Ref 4). Deze gaat in op de belangrijkste factoren in de ondergrond die mogelijkerwijs zouden kunnen leiden tot het optreden van bodemtrillingen (aardbevingen) als gevolg van waterinjectie. Daarna wordt de relevantie van deze factoren getoetst aan de ondergrondse condities zoals bekend in Twente. Op basis van een systematische kwalitatieve inschatting van factoren die het optreden van aardbevingen zouden kunnen beïnvloeden en de conditie van de ondergrond in Twente, bevestigt deze nadere analyse dat de kans klein is dat aardbevingen zich in Twente in de toekomst zullen voordoen.

Als onderdeel van het Tussenrapport van de 2016 Herevaluatie water injectie Twente (Ref 11) is een kwalitatieve analyse gemaakt van de seismische dreiging in verschillende velden in zuidoost Drenthe (Ref 17). In zuidoost Drenthe is de seismische dreiging iets hoger dan in Twente omdat er voelbare aardbevingen geweest zijn tijdens gasproductie, het temperatuurverschil tussen het reservoirgesteente en het injectiewater hoger is en de breuken in de Drenthe velden groter zijn. Echter, de impact van mogelijke bevingen op de bovengrond zal voor de Drenthe velden minder zijn vanwege de diepere ligging van de velden

Tenslotte is in 2021 en 2022 een studie uitgevoerd naar de seismische risico's door injectie in het Schoonebeek gasveld. De hoofdconclusie is dat het seismisch risico lager wordt ingeschat dan tijdens de gasproductiefase (Ref 19).

### Bow-tie analyse

Appendix 2 laat een bow-tie analyse zien van de mogelijke oorzaken en gevolgen die ten grondslag liggen aan een onverwachte beving als gevolg van waterinjectie. De meest extreme uitkomst zou kunnen zijn dat er schade aan gebouwen en infrastructuur op zou kunnen treden.

### Injectiedruk

Wereldwijd is gebleken dat waterinjectie slechts in incidentele gevallen aardbevingen veroorzaakt. Uit een door TNO uitgevoerde vergelijking van velden waar door waterinjectie wel bodemtrillingen zijn voorgekomen, blijkt dat in nagenoeg al deze gevallen de druk in het reservoir gedurende de injectie was toegenomen tot niveaus die boven de oorspronkelijke druk van het veld liggen (Ref 8). Bij de waterinjectie in Nederland schrijven de verleende vergunningen voor dat de gemiddelde reservoirdruk onder de oorspronkelijke reservoirdruk dient te blijven. Deze vergunningsvoorwaarde en de monitoring die op basis hiervan plaatsvindt (Ref 5) zijn belangrijke voorzorgsmaatregelen om dit risico te beperken en te monitoren. Indien een situatie met onverwacht hoge injectiedrukken ontstaat, zullen de modellen geëvalueerd worden, met name m.b.t. de validiteit van onderliggende gegevens en aannames over put configuratie, reservoir eigenschappen en reservoir-dimensies. Op basis hiervan wordt de injectiesnelheid teruggenomen of wordt de put ingesloten.

### Spanningstoestand

Om een aardbeving te genereren moet een breukvlak in de diepe ondergrond in een kritieke spanningstoestand komen. Echter gedurende de 55 jaar van gasproductie en de eerste 11 jaar van waterinjectie zijn geen trillingen geregistreerd in de regio Twente. Daaruit wordt geconcludeerd dat er geen breuken zijn in de ondergrond die zich in een kritische spanningstoestand bevinden.

In zuidoost Drenthe zijn voelbare aardbevingen geweest als gevolg van gasproductie, Echter, gedurende meer dan 10 jaar water injectie in de velden Schoonebeek, Coevorden en Dalen zijn geen aardbevingen geregistreerd die gerelateerd kunnen worden aan water injectie (Ref 19).

#### Regionale breuken

Een andere factor die bijdraagt aan het risico voor aardbevingen is als direct in of in de directe nabijheid van grote en tektonisch actieve breuken geïnjecteerd wordt. Uit een geologische studie van de diepe ondergrond in Twente (Ref 2) wordt geconcludeerd dat tektonisch actieve breuken niet aanwezig zijn. Direct ten oosten van het Tubbergen-Mander veld loopt een breuk die 21,5 miljoen jaar geleden voor het laatst activiteit vertoonde (De Gronau Breuk). De dichtstbijzijnde waterinjectieput bevindt zich op ruime afstand (ongeveer 2000m) van deze inactieve breuk.

In de wijde omgeving van Zuidoost Drenthe is nog nooit een natuurlijke aardbeving geregistreerd. Breuken in de diepe ondergrond zijn niet herkenbaar in de topografie aan het maaiveld. Omgekeerd zijn duidelijke langgerekte hoogteverschillen zoals de Hondsrug niet gerelateerd aan breuken (Ref 18)

#### Temperatuur

Een derde factor die mogelijk van belang is, is het temperatuurverschil tussen het injectiewater en de reservoirtemperatuur. Als dit temperatuurverschil groot is, zou het koude water mogelijk tot spanningssituaties in het reservoir kunnen leiden, wat breuken instabiel zou kunnen maken. Voor de Twente velden geldt dat het temperatuurverschil beperkt is en daarmee ook het risico op aardbevingen door dit mechanisme. Voor Schoonebeek is het temperatuurverschil groter. In Ref 19 is daarom verder gekeken naar het effect van temperatuur op de mogelijke verklaring van bevingen in het verleden door waterinjectie. Uit de studie blijkt dat de zone van afkoeling beperkt blijft en dat de kleine bevingen die zijn waargenomen in zuidoost Drenthe verklaard kunnen worden door de gasproductie en niet door de waterinjectie.

#### Monitoring

De analyse die door NAM verricht is (Ref 4) heeft ook aangetoond dat, hoewel de kans op bevingen als zeer klein beschouwd wordt, het bestaande KNMI monitoringsnetwerk van geofoons in Twente onvoldoende was om met afdoende nauwkeurigheid zowel locatie (eventueel ook door activiteiten vlak over de grens in Duitsland) als sterkte van mogelijke bevingen vast te stellen, vooral als het gaat om zwakkere bevingen. Deze nauwkeurigheid is belangrijk om NAM's seismisch risico management plan effectief uit te kunnen voeren. NAM heeft in samenwerking met KNMI het aantal gefoonstations in de regio met 7 stations uitgebreid van de 2 (nabij Venebrugge (Hardenberg) en Winterswijk) naar in totaal 9 stations, en deze additionele gefoonstations ook uitgerust met accelerometers (grondversnellingsmeters).

In Drenthe is het netwerk inmiddels ook sterk verbeterd door de installatie van 7 additionele seismometers. De minimale sterkte van de bevingen die door dit netwerk kan worden geregistreerd ligt tussen de  $M=0,5$  en  $M=1,0$ .

#### Maatregelen

Eventuele metingen met het gefoonnetwerk zijn gekoppeld aan het seismisch risico beheers systeem. Dit risico management plan koppelt mogelijke observaties (lees: geregistreerde bevingen) aan beschermende maatregelen. Afhankelijk van de sterkte van de aardbeving zullen modellen worden geactualiseerd, kan injectiesnelheid worden teruggenomen, of kunnen injectieputten stilgelegd worden. Voor zowel de waterinjectie in Twente als voor de mogelijke toekomstige injectie in Schoonebeek is een seismisch risicobeheersplan geschreven. Voor Twente wordt verwezen naar de recente actualisatie van het plan uit 2021 (Ref 9) en voor Schoonebeek wordt verwezen naar Ref 20. Mogelijke schade wordt afgehandeld via de onafhankelijke commissie mijnbouwschade<sup>1</sup>.

#### **Onafhankelijke expert reviews**

Het NAM rapport over aardbevingsrisico (Ref 4) is door SodM onderworpen aan een onafhankelijke review van de US Geological survey (Ref 10).

Conclusie review Dr William L. Ellsworth, U. S. Geological Survey m.b.t. het aardbevingsrapport:

*"It should be possible to safely dispose of wastewater in the depleted gas fields of the Twente, but this must be done with monitoring and safeguards in place"*

<sup>1</sup> <https://www.commissiemijnbouwschade.nl/>

Dr. Ellsworth doet ook een observatie:

*“Should even such small earthquakes occur (ML 0.5-1.0), they would be a clear indication that conditions in the reservoir were not what was assumed...”*

Daarnaast heeft TNO op verzoek van het ministerie van economische zaken een additionele verificatie uitgevoerd (Ref 15). Conclusies van TNO m.b.t. aardbevingen:

*“Het eventueel optreden van geïnduceerde aardbevingen ten gevolge van waterinjectie in de drie gedepleteerde gasvelden in Twente is niet uit te sluiten op basis van de huidige analyse, maar TNO-AGE acht dit niet waarschijnlijk. Seismische monitoring van de waterinjectie, gericht op het waarnemen van kleine aardbevingen (magnitudes tussen de 0,5 en 1,0), waarbij geen schade optreedt, is zodoende van belang om de analyse te staven. Als tegen de verwachting in toch dergelijke bevingen zouden worden geregistreerd, moeten aanvullende maatregelen (waaronder additioneel onderzoek) worden genomen”*

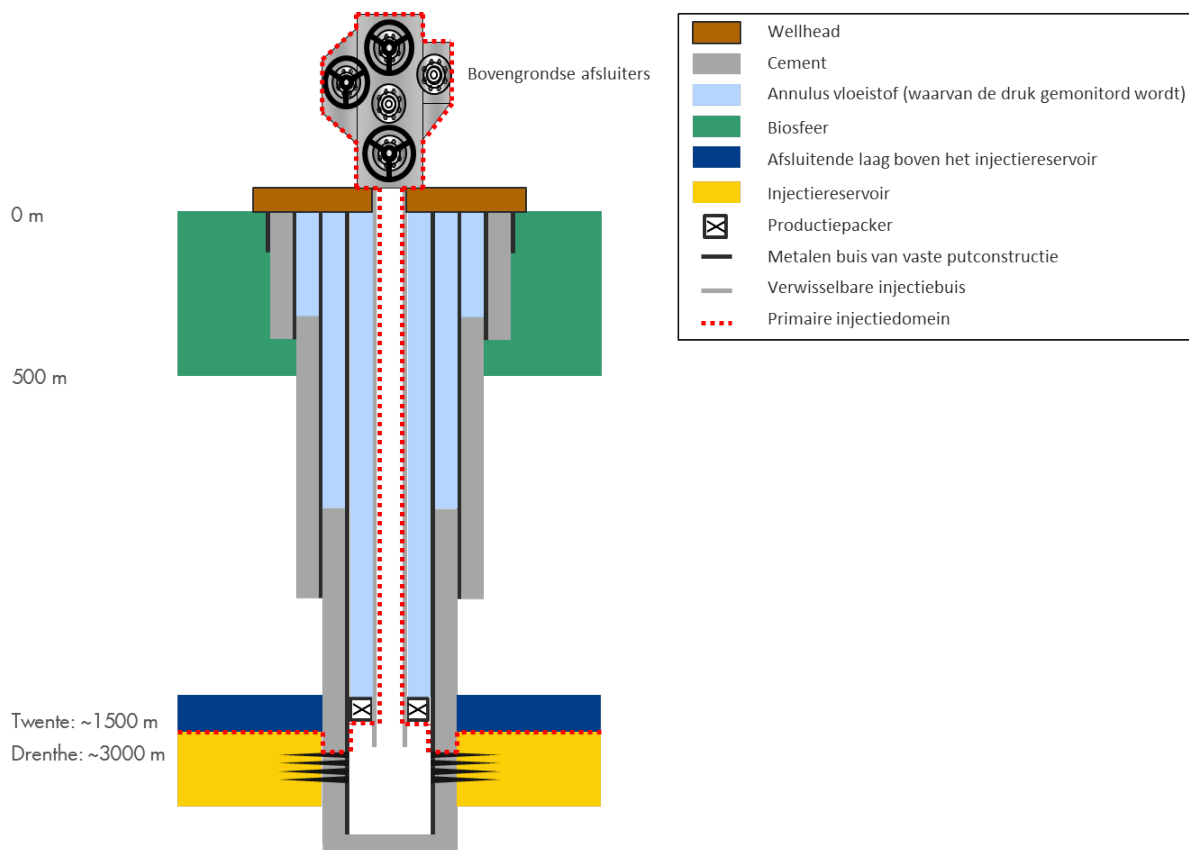
NAM heeft deze aanbevelingen over genomen in de seismische risicobeheersplannen die gelden voor Schoonebeek en Twente.

## 5. Vrijkomen van water als gevolg van verminderde put-integriteit

Bij waterinjectie van productiewater wordt gebruik gemaakt van bestaande putten. Om het risico van putlekkage in kaart te brengen is er een bow-tie analyse gedaan. Appendix 3 laat de bow-tie analyse zien van de mogelijke oorzaken en gevolgen die van toepassing kunnen zijn bij een scenario met putlekkage tijdens waterinjectie. De oorzaken en gevolgen die specifiek betrekking hebben op het oplossen van steenzout ten gevolge van een put-lekkage zijn in deze analyse buiten beschouwing gelaten omdat deze risico's in een aparte analyse beschouwd zijn (Hoofdstuk 3 en Appendix 1). Naast de mogelijke oorzaken en gevolgen zijn de barrières en beschermende maatregelen beschreven waardoor de risico's van put-lekkage tijdens waterinjectie geminimaliseerd worden. De bow-tie analyse is primair ontwikkeld voor de Zechstein kalksteen velden Schoonebeek, Dalen en Oosterhesselen, maar is ook toepasbaar op de Twente Zechstein carbonaat velden. Specifieke detail informatie over iedere Twente waterinjectie put is beschikbaar in de desbetreffende vergunning aanvraag en beschikking. Specifieke detail informatie over de operationele injectie parameters en monitoring gegevens is beschikbaar in jaarlijkse evaluatie rapporten en Ref 7 en 16. In deze risico analyse wordt verder uitgegaan van een generieke situatie.

### Put-constructie

Waterinjectie geschiedt via putten die zijn opgebouwd uit meerdere metalen buizen die door cement op hun plaats worden gehouden. Binnen deze vaste put-constructie bevindt zich een vervangbare injectiebuis waardoor het water daadwerkelijk geïnjecteerd wordt. Aan de onderkant van de injectiebuis verzorgt de productiepacker een afdichting tussen de injectiebuis en de vaste putconstructie. De productiepacker bevindt zich vlak boven het injectiereservoir. Door het injectiereservoir zit typisch 1 metalen buis die eveneens door cement op zijn plaats wordt gehouden. In deze buis zijn gaten geschoten (perforaties) om verbinding met het injectiereservoir te krijgen. Door de putconstructie zoals hierboven beschreven wordt het grondwater in de ondiepe ondergrond door 3 of 4 metalen buiswanden gescheiden van het injectiewater. Figuur 5 toont een schematische weergave van een typische putconfiguratie voor een kandidaat put voor waterinjectie.



Figuur 5: Schematische weergave van een typische putconstructie

### **Risicoanalyse voor waterinjectie**

Het converteren van een gasproductieput naar een waterinjectieput heeft geen grote invloed op het soort risico's en daaraan verbonden beheersmaatregelen. De beheersingsmaatregelen voor deze risico's zijn daarom veelal hetzelfde als voor NAM's bestaande productie- en injectieputten. Alle (waterinjectie)putten zijn geconstrueerd volgens interne standaarden en worden zodanig geopereerd dat de putintegriteit gewaarborgd wordt. De door NAM gehanteerde standaarden zijn consistent met en in vele gevallen zelfs strenger dan de geldende wettelijke voorschriften en richtlijnen.

De conversie van gasproductieput naar waterinjectieput houdt in dat de materialen blootgesteld worden aan andere vloeistoffen en operationele condities. Dit heeft met name consequenties voor risico's die gerelateerd zijn aan corrosie. Om de kans op corrosie te minimaliseren zullen maatregelen getroffen moeten worden om de hoeveelheid opgeloste zuurstof in het injectiewater te minimaliseren en het intreden van zuurstof in de put zo veel mogelijk te voorkomen (zoals bijvoorbeeld het gebruik van injectiekleppen). Daarnaast is het monitoren van corrosie een belangrijke maatregel die helpt om de risico's op putlekkage verder te beperken.

### **Risico's**

In de bow-tie analyse zijn de initiële dreigingen gedefinieerd als een lekkage van een van de onderdelen in het primaire injectiedomein (rode stippellijn in Figuur 5.). Van boven tot onder wordt er onderscheid gemaakt in lekkages van afsluiters, de wellhead, de productiebuiscasing, de productiepacker, de vaste putconstructie onder de productiepacker en de afsluitende laag van het injectiereservoir. Deze dreigingen zijn beschreven in de linker kant van de bow-tie.

### **Barrières**

Bovengrondse lekkages bij de put worden voorkomen door regelmatige inspecties en onderhoud aan de afsluiters en aan de wellhead. Daarbij is het ontwerp zodanig dat er altijd meerdere barrières bestaan (bijvoorbeeld dubbele afdichtingen) zodat het falen van 1 afdichting niet kan leiden tot een externe lekkage.

Ondergrondse putlekkage wordt voorkomen door het minimaliseren van de kans op corrosie (bijvoorbeeld door het beperken van het binnendringen van zuurstof). Ook door regelmatige inspecties van de injectiebuis en de productiebuiscasing onder de productiepacker wordt de kans op een ondergrondse lekkage geminimaliseerd. Als er onverhoopt toch een lekkage van de injectiebuis optreedt, dan wordt een lekkage van productiewater naar de ondergrond voorkomen door de meerwandige constructie van de put. Pas als er meerdere barrières tegelijkertijd falen kan dit leiden tot een externe putlekkage.

Lekkage door scheurvorming in het afsluitende gesteente van het injectiereservoir wordt voorkomen door met een gecontroleerde dynamische injectiedruk rond de put in het reservoir te werken. De druk waarbij mogelijke scheurvorming in de afsluitende laag boven het reservoir kan optreden wordt berekend aan de hand van geomechanische eigenschappen van het gesteente. Op basis daarvan wordt de maximale dynamische injectiedruk berekend. Om veilige operaties te garanderen wordt een lagere maximale toegestane druk bepaald door een ruime veiligheidsmarge aan te nemen. Deze maximale ondergrondse injectiedruk wordt vervolgens vertaald naar een maximale bovengrondse injectiedruk. Een beveiliging in het pompsysteem zal ervoor zorgen dat de pomp automatisch afslaat mocht deze maximale injectiedruk overschreden worden. Indien er onverhoopt toch een scheur door het afsluitende anhydriet ontstaat komt het injectiewater in contact met het Zechstein haliet, wat kan leiden tot het oplossen van zout. Dit scenario is verder uitgewerkt in hoofdstuk 3 en de bijbehorende bow-tie in appendix 1.

### **Mitigerende maatregelen**

Als er een externe putlekkage optreedt, dat wil zeggen een lekkage door de buitenste barrière, kan er injectiewater in de ondergrond komen of op de injectielocatie. Er wordt hierbij onderscheid gemaakt tussen verontreiniging van oppervlaktewater, verontreiniging van de biosfeer (<500 meter diep) en lekkage in de diepe ondergrond.

Verontreiniging van oppervlaktewater kan optreden door een lekkage aan het oppervlak. Zoals eerder beschreven, wordt een bovengrondse lekkage bij de put door meerdere barrières voorkomen. Mocht er onverhoopt toch een lekkage ontstaan, dan wordt deze in eerste instantie opgevangen door de putkelder, en vervolgens in een gesloten systeem van afwateringsgoten die uitkomen op een verzamelreservoir (de hoekbak) op locatie. De locatie vloer is vloeistofkerend wat lekkage door de vloer heen voorkomt. Door frequente locatie-bezoeken van operators kunnen bovengrondse lekkages tijdig worden

opgemerkt, voordat verontreiniging van de omgeving buiten de locatie kan optreden. Voor het geval dat er onverhoopt toch injectiewater buiten de locatie terecht komt wordt het grondwater gemonitord met peilbuizen. Grondwaterstroming is relatief traag, in de regel een paar meter per jaar. Lokaal zijn hogere snelheden wel mogelijk. De verspreiding zal zodoende pas na een aantal jaren wat grotere afmetingen hebben. Hoe sneller de verontreiniging wordt ontdekt, des te effectiever kan de verontreiniging worden gesaneerd. In de omgeving van iedere putlocatie bevinden zich peilbuizen waar het grondwater gemonitord wordt. Indien een verontreiniging gevonden wordt, kan sanering plaatsvinden.

Voor ondergrondse lekkages geldt dat door de dubbelwandige constructie van de put, waarbij de druk tussen de verschillende verbuizingen (de annuli) gemonitord wordt, interne lekkages vroegtijdig opgemerkt kunnen worden. Alle annulaire drukken worden gemonitord. Als een interne lekkage opgemerkt wordt zal de waterinjectie van de betreffende put tijdelijk of permanent gestopt worden. Indien er ondanks alles toch een externe lekkage boven de productiepacker ontstaat, dan kan het water uiteindelijk in de biosfeer terecht komen. Dit scenario is verder uitgewerkt in hoofdstuk 3 en de bijbehorende bow-tie in appendix 1.

Mogelijke lekkages beneden de productiepacker kunnen niet opgemerkt worden door middel van veranderende annulaire drukken. Daarom worden voor alle putten inspectieprogramma's vastgesteld die er in voorzien dat de conditie van de ondergrondse verbuizingen regelmatig gecontroleerd worden. Hierdoor wordt de mogelijke afname van de kwaliteit en conditie van de diepe verbuizingen vroegtijdig vastgesteld en kunnen lekkages voorkomen worden. Indien er onverwacht toch een lekkage beneden de productiepacker ontstaat, dan komt het injectiewater in contact met het Zechstein haliet, wat kan leiden tot het oplossen van zout. Ook dit scenario is verder uitgewerkt in hoofdstuk 3 en de bijbehorende bow-tie in appendix 1.

### **Monitoring**

De frequentie van monitoring activiteiten voor de Twente putten is opgenomen in het Water Injectie Management Plan (Ref 5 en 14). Voor Drenthe zal in een later stadium een soortgelijk document geschreven worden.

### **Selectie van putten**

Bij de selectie van injectieputten in Schoonebeek zal putintegriteit meegenomen worden als criterium. Voor de start van waterinjectie zal de operating envelope van de put opnieuw bepaald worden voor de nieuwe injectiecondities. Als een put een (beheerst) integriteitsprobleem heeft, zal het risico onder de nieuwe omstandigheden (injectie) opnieuw in kaart gebracht moeten worden, voordat de waterinjectie gestart wordt.

### **Wintershall-DEA incident**

Wintershall-DEA opereert het Emlichheim olieveld, de zuidelijke extensie van het Schoonebeek veld in Duitsland. Medio 2019 werd bekend dat Wintershall-DEA via één van hun water injectie putten (EMLH 132), in het ergste geval, zo'n 220.000 m3 injectiewater had verloren in de ondiepe biosfeer, Deze lekkage werd veroorzaakt door gaten in de binnen- en buitenverbuizing die langere tijd onopgemerkt zijn gebleven. NAM houdt zich aan de beheersmaatregelen van de water injectie putten die zijn overeengekomen met SodM en zijn vastgelegd in Ref. 14. Vergeleken met het beheer van Wintershall-DEA in de tijd voor de gerapporteerde lekkage hanteert NAM een aantal maatregelen die een lekkage in de ondiepe ondergrond in NAM injectieputten zeer onwaarschijnlijk maken. Zo wordt een annulus vloeistof met een lage Ph gebruikt om corrosie te voorkomen, worden jaarlijks metingen verricht aan de integriteit van de binnenbuis, en worden putten uit voorzorg buiten gebruik genomen wanneer een onregelmatigheid aangetroffen wordt in de metingen.

### **ROW-2 casing breuk**

Tijdens reparatiewerkzaamheden aan put ROW-2 in 2021 is geconstateerd dat de buitenbuis ter hoogte van het bovenste van de twee injectiereservoirs is gescheurd. Hierbij is de binnenbuis intact gebleven en is er geen injectiewater gelekt. Er is geen gevaar geweest voor mens en milieu. Wel is gebleken dat het monitoring systeem onvoldoende was toegerust om het defect te detecteren. Daarom is het monitoring system verder aangescherpt om sneller en nauwkeuriger interventies te kunnen doen na afwijkingen in metingen. Dit behelst het continu handhaven van positieve druk op de ringruimte tussen binnen- en buitenverbuizing. Verlies van deze druk initieert een alarm en onderzoek naar oorzaak. Tevens wordt jaarlijks het vloeistofniveau in annulaire ruimte tussen binnen- en buitenbuis gemeten. Deze verbeteringen zijn doorgevoerd in het water injectie management plan (Ref 14). Een soortgelijke gebeurtenis in de overige actieve water injectieputten in Twente zou geen significante impact hebben.



In deze putten wordt injectiewater in beide reservoirs geïnjecteerd. Bij een eventuele beschadiging van de buitenbuis zal het water altijd wegstromen in de lagen waarin al geïnjecteerd wordt en dus feitelijk geen verandering van de situatie opleveren. Voor mogelijk toekomstige water injectieputten in het Schoonebeek gasveld zal dit risico nader onderzocht moeten worden.

#### **SCH-447 casing vervorming**

Tijdens abandonment werkzaamheden op de Schoonebeek-447 put (SCH-447) in maart 2021 bleken zowel de casing (buitenste buis) als ook de tubing (binnenste buis; opvoer serie van olie) in de put dermate vervormd te zijn dat er geen diepere toegang in de put mogelijk was. Schoonebeek-447 is sinds 2012 uit productie. NAM heeft een onderzoek naar de oorzaak uitgevoerd middels een zogenoemde 'Root Cause Analysis (RCA)' (Ref 21)

Algemeen kan worden geconcludeerd dat het bij SCH-447 gaat om vervorming van de casing en tubing ter hoogte van het geologisch aanwezige natuurlijke zout in de bodem ('Röt-zoutpakket') op een diepte van circa 2km. Deze vervorming is hoogst-waarschijnlijk op die diepte ontstaan door zoutvloeï. Zoutvloeï is een langzaam proces onder invloed van temperatuur en geologische drukverschillen. Door vloeï van van het zout tegen de buitenkant van de casing heeft het de buitenbuis van SCH-447 plaatselijk ingedrukt en uiteindelijk ook de tubing. De krachten tengevolge van deze beweging zijn in later geboorde putten gemitigeerd door de toepassing van dubbele en/of zwaardere verbuizing; alle putten in de nabijheid van SCH-447 dateren van na 1974 en zijn met een dubbele buitenbuis uitgevoerd en sinds 1979 voorzien van extra versterkte casing ('Must casing') ter hoogte van het Röt-zoutpakket.

## 6. Conclusies

---

Ten behoeve van de herontwikkeling van het Schoonebeek olieveld is in 2009 een risicoanalyse als onderdeel van de Milieu Effect Rapportage (MER) uitgevoerd. In de MER is aandacht besteed aan het mogelijk oplossen van de afdekkende steenzoutlaag indien deze laag in aanraking zou komen met het injectiewater wat zou kunnen leiden tot het vrijkomen van injectie water en/of bodemdaling. Ook is aandacht besteed aan effecten van bodembewegingen (daling en trillingen) indien water geïnjecteerd wordt. De MER concludeert dat deze zoutlagen niet of nauwelijks zullen oplossen in het injectiewater en dat er geen bodemdaling of trillingen als gevolg van waterinjectie worden verwacht, zolang de gemiddelde reservoir druk beneden de oorspronkelijke reservoirdruk blijft.

Om hierover aanvullend inzicht te verkrijgen is op verzoek van Staatstoezicht op de Mijnen (SodM) in 2015 een uitgebreidere set onderzoeken gedaan. SodM heeft vervolgens de onderzoeksrapporten laten beoordelen door internationale experts van de US Geological Survey en de universiteiten van Clausthal en Parijs (ParisTech). Deze hebben de conclusies van NAM bevestigd. SodM stelt dat er een groot aantal aanwijzingen is dat waterinjectie in de ondergrond van Twente veilig en verantwoord kan gebeuren.

Daarnaast heeft TNO in 2016 op verzoek van het ministerie van economische zaken een additionele verificatie uitgevoerd m.b.t. het risico op zoutoplossing en aardbevingen. TNO kan zich vinden in de onderzoeksresultaten van NAM.

Latere gebeurtenissen bij put ROW-2 (gebroken buitenbuis) en ROW-4 (meet onregelmatigheid die mogelijk wijst op beperkte aantasting van Halië) hebben niet geleid tot verspreiding van stoffen in de biosfeer of tot enig gevaar voor mens en milieu. Echter, de voorvallen hebben wel geleid tot een actualisatie van deze overkoepelende risico analyse en tot verbeteringen in het monitoring systeem vastgelegd in het Water Injectie Management Plan.

Resumerend laat de risicoanalyse zien dat de beheersmaatregelen vastgelegd in de vergunning en in het Waterinjectie Management Plan (update 2021) goed werken en dat alle waarborgen voor een veilig en verantwoord opereren van de waterinjectieputten aanwezig zijn.

Dit houdt in dat preventie van grondwatervervuiling door het in de ondergrond ongecontroleerd vrijkomen van injectiewater alsmede lokale/regionale bodemdaling als gevolg van zoutoplossing op een goede manier preventief geborgd worden. Er zijn verschillende beheersmaatregelen geïmplementeerd die vroegtijdige detectie van eventuele problemen ten doel hebben en de mogelijkheid van verdere escalatie beogen te minimaliseren.

Ook de risicoanalyse rond de effecten van een door waterinjectie geïnduceerde aardbeving laat zien dat de waarborgen voor een veilig en verantwoord opereren van de waterinjectie aanwezig zijn. Een uitgebreide analyse van de belangrijkste parameters die zouden kunnen leiden tot een verhoogd bevingrisico hebben aangetoond dat dit risico als laag ingeschat wordt. Dit is in lijn met de observatie dat gedurende de 10 jaar van waterinjectie in Twente geen enkele beving is geregistreerd. In zuidoost Drenthe zijn voelbare aardbevingen geweest als gevolg van gasproductie, Echter, gedurende meer dan 10 jaar water injectie in de velden Schoonebeek, Coevorden en Dalen zijn geen aardbevingen geregistreerd die gerelateerd kunnen worden aan water injectie. Mocht zich onverhoopt toch een beving voordoen dan zal deze gedetecteerd worden door het seismische monitoring netwerk. Het seismische risicobeheersplan beschrijft de acties die genomen zullen worden in het onwaarschijnlijke geval van een beving met het doel om effecten te minimaliseren.

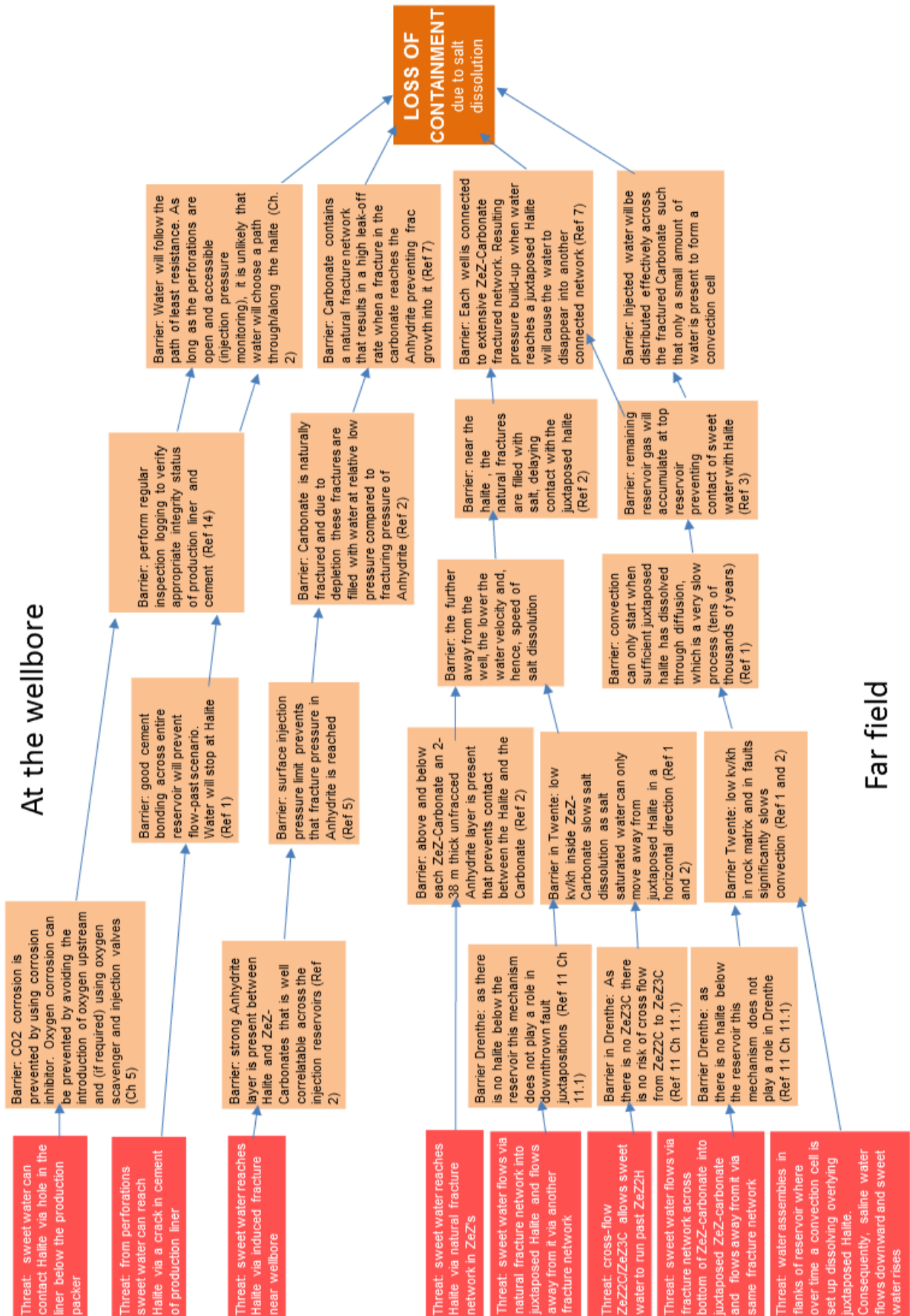
## 7. Referenties

---

1. Halite dissolution modelling of water injection into Carbonate gas reservoirs with a Halite seal. Report EP201310203080, NAM 2014 (2016 revisie).
2. Geology description of Twente Gas Fields: Tubbergen, Tubbergen-Mander and Rossum-Weerselo. Report EP201310201845, NAM 2014 (2016 revisie).
3. Subsidence caused by Halite dissolution due to water injection into depleted Carbonate gas reservoirs encased in Halite. Report: EP201310204177, NAM 2014 (2016 revisie).
4. Threat assessment for induced seismicity in the Twente water disposal fields, Report: EP201502207168, NAM 2015 (2016 revisie).
5. Waterinjectie Management Plan, Report: EP201308203212, NAM
6. Injectie van productiewater bij olie- en gaswinning, Kamerbrief Minister van Economische Zaken, DGETM-EM / 15020314, Maart 27 2015
7. Technical evaluation of Twente water injection wells ROW3, ROW4, ROW7, ROW9, TUB7 and TUB10 3 years after start of injection EP201410210164, NAM 2015
8. Literature review on Injection-Related Induced Seismicity and its relevance to Nitrogen Injection. Report TNO 2014 R11761. TNO 2014
9. Seismisch risicobeheersplan - Waterinjectie Twente velden. NAM rapport EP202009204124, NAM 2021.
10. Reviews NAM rapporten m.b.t. 'Risico's zoutoplossing' en 'Seismic threat analysis'. SodM, juni 2016. <https://www.sodm.nl/documenten/publicaties/2016/06/23/7-evaluatie-reviews-waterinjectie>
11. Herafweging verwerking productiewater Schoonebeek, Tussenrapport alternatievenafweging. Royal Haskoning DHV. Juni 2016. Referentie: I&BBD9591-100-100R001F02. <http://www.nam.nl/techniek-en-innovatie/waterinjectie-in-twente/evaluatie-onderzoek.html>
12. Geochemical compatibility Of Schoonebeek oil field production water with Zechstein reservoirs. NAM, Dec 2016. EP201611200959
13. Zoback, M.D. (2012) Managing the Seismic Risk Posed by Wastewater Disposal. ARMA e-NEWSLETTER SPRING 2012, Volume 1, Issue 2 Spring 2012.
14. Waterinjectie Management Plan - Waterinjectie Twente. EP202112200221 April 2022.
15. Waterinjectie in Twentse gasvelden. Report AGE 16-10.104. TNO AGE 2016
16. Technical evaluation of Twente water injection wells TUM1, TUM2, TUM3, ROW2, ROW3, ROW4 and ROW5 6 years after start of injection. EP201701214429 NAM 2017
17. Note for file: seismic threat assessment for the potential injection and storage of produced water in the Drenthe Zechstein Carbonate reservoirs. NAM, November 2016. EP201611202382
18. Balen, R.T. van, Houtgast, R.F. & Cloetingh, S.A.P.L. (2005). Neotectonics of the Netherlands. Quaternary Science Reviews, 24, 439-454. doi: 10.1016/j.quascirev.2004.01.011
19. NAM (2022) seismic threat assessment for schoonebeek-zechstein water injection. NAM rapport EP202204200931
20. NAM (2022) Seismisch risicobeheersplan - Waterinjectie Schoonebeek-Zechstein. NAM rapport EP202204200929
21. Subsurface Scenarios for ROW-2 Casing Shear. NAM rapport EP202111204310
22. Onderzoek SCH-447 Incident - Root Cause Analysis. NAM rapport EP202204201376

# 8. Appendices

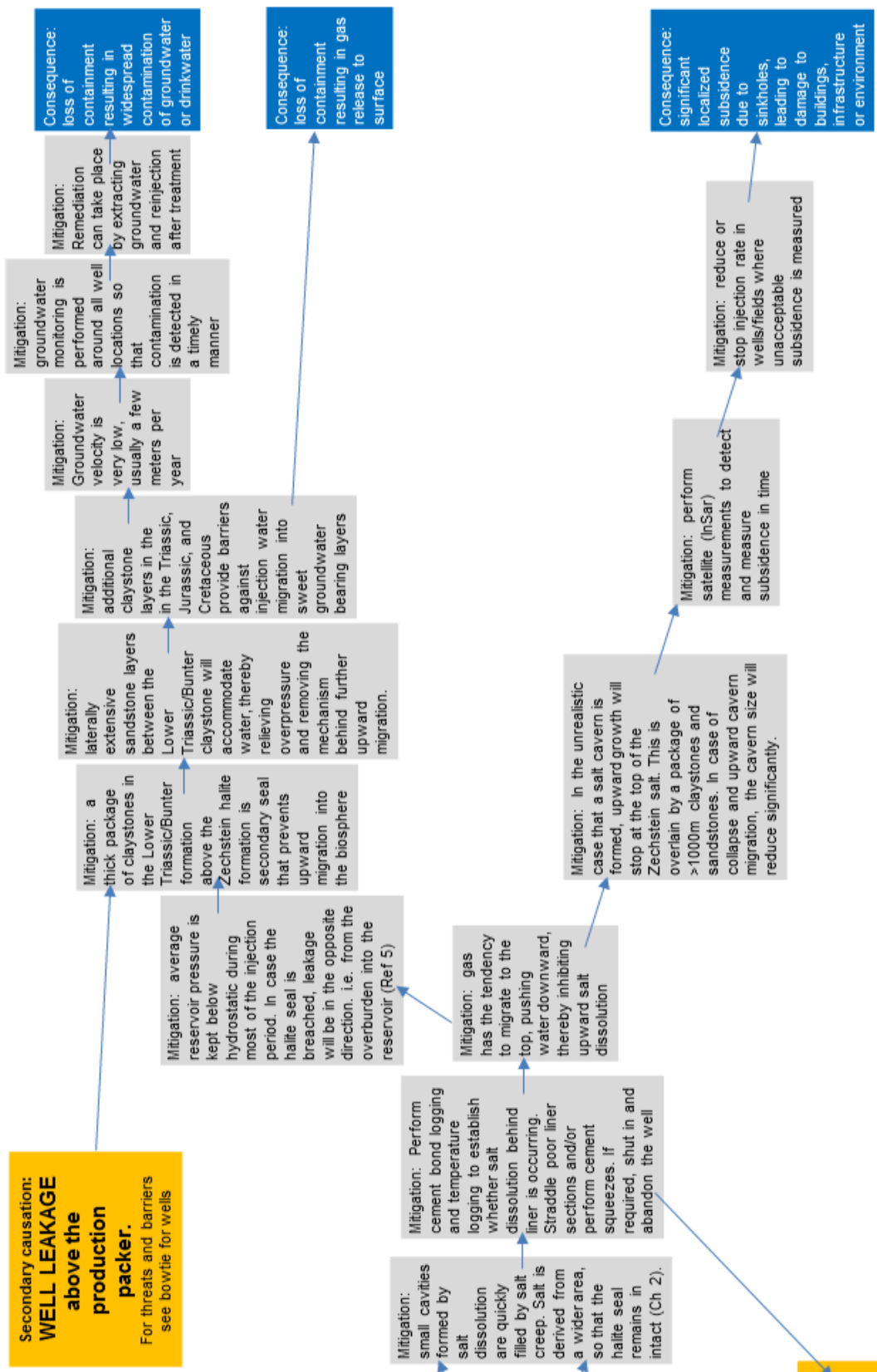
## Appendix 1 Bow-tie analyse voor zoutoplossing



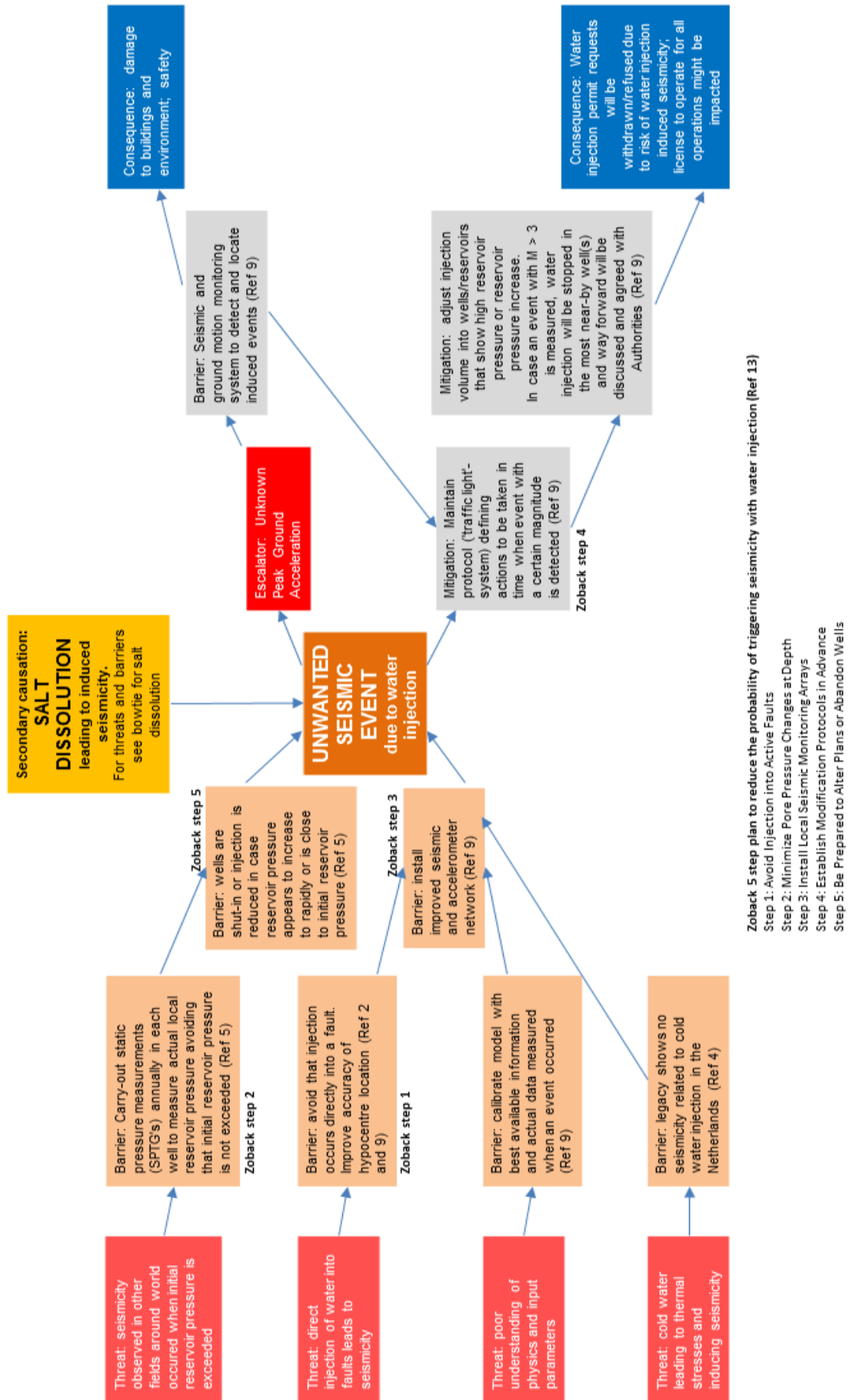
**Secondary causation: WELL LEAKAGE above the production packer.**  
 For threats and barriers see bowtie for wells

**LOSS OF CONTAINMENT**  
 due to salt dissolution

**Secondary event: INDUCED SEISMICITY**  
 due to Halite dissolution.  
 For consequences and mitigation see bowtie for induced seismicity



Appendix 2. Bow-tie voor geïnduceerde seismiek



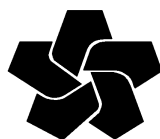


**Bijlage**

**6. Waterinjectie Management Plan  
2022, Twente, NAM, 2022**



May 2022



**NAM**

Report: EP202205201100

**Nederlandse Aardolie Maatschappij**

**Waterinjectie Management Plan 2022**  
**Waterinjectie Twente**

This document is the property of Nederlandse Aardolie Maatschappij, and the copyright therein is vested in Nederlandse Aardolie Maatschappij. All rights reserved. Neither the whole nor any part of this document may be disclosed to others or reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted in any form by any means (electronic, mechanical, reprographic recording or otherwise) without prior written consent of the copyright owner.

## Inhoudsopgave

1.	Inleiding .....	3
1.1	Waterinjectie activiteiten .....	3
1.2	Waterinjectie Management Plan (WMP) .....	3
1.3	Rapport indeling .....	4
2.	Integriteit van afsluitende bovenlaag: druklimieten .....	5
3.	Monitoring en rapportage van waterinjectie .....	6
3.1	Overzicht van monitoring en rapportage .....	6
3.2	Zes-jaarlijkse evaluatie van de injectie .....	11
3.3	Jaarrapportage .....	13
4.	Kalibratie van modellering .....	14
5.	Kwaliteitsborging .....	15
6.	Gebruikte Termen en Afkortingen .....	16
7.	Referenties .....	17

# 1. Inleiding

## 1.1 Waterinjectie activiteiten

Sinds 2011 wint NAM opnieuw olie uit het olieveld Schoonebeek. Bij het omhoogpompen van de olie komt ook water en gas mee naar boven. Het mengsel van deze vloeistofstromen wordt op de oliebehandelingsinstallatie van elkaar gescheiden. Vervolgens wordt de olie geëxporteerd naar een olieraffinaderij in Lingen, wordt het gas gebruikt bij de productie van stoom en wordt het water (ook wel productiewater of injectiewater genoemd) via ondergrondse leidingen naar grotendeels leeggeproduceerde aardgasvelden in Twente getransporteerd. Hier wordt het productiewater geïnjecteerd in een aantal waterinjectieputten (voormalige gasproductieputten).

Bij de aanvang van de waterinjectie in Twente in 2011 waren 3 bijna leeggeproduceerde gasvelden in Twente geselecteerd voor injectie van productiewater. Deze velden waren: Tubbergen-Mander (TUM), Rossum-Weerselo (ROW) en Tubbergen (TUB).

De waterinjectie heeft tijdelijk stilgelegen in de periode juni 2015 – september 2016 vanwege een lekkage in de watertransportleiding tussen De Hulte en de velden in Twente. Deze watertransportleiding is in de eerste helft van 2016 gerepareerd door het aanbrengen van een nieuwe 8-inch kunststofleiding in de bestaande 18-inch koolstofstalen leiding. Sinds de hernieuwde opstart van de olieproductie in Schoonebeek in september 2016 wordt alleen nog water geïnjecteerd in de putten ROW-2, ROW-4, ROW-5 en ROW-7, in het Zechstein carbonaat reservoir. De putten ROW-3 en ROW-9 blijven beschikbaar voor mogelijke waterinjectie in de toekomst. Ook de putten TUB-7 en TUB-10 worden in afwachting van nieuwe vervangende injectiecapaciteit in Drenthe voorlopig niet meer gebruikt. De putten TUM-1, TUM-2 en TUM-3 zijn na ingebruikname van de nieuwe kunststofleiding definitief buiten gebruik gesteld en zijn in 2021 volledig geabandonneerd.

Begin 2021 werd tijdens onderhoudswerkzaamheden van put ROW-2 een beschadiging vastgesteld aan de productieverbuizing (buitenbuis) net boven de annulaire afdichting [1]. Op grond daarvan is put ROW-2 in maart 2021 definitief buiten gebruik gesteld als waterinjectieput en definitief veilig afgesloten. Hangende het onderzoek naar de oorzaak van deze beschadiging in put ROW-2 is de andere waterinjectieput ROW-7 op dezelfde locatie tijdelijk uit bedrijf genomen door NAM. SodM zal op basis van het onderzoek beoordelen of het veilig genoeg is om injectie via put ROW-7 weer op te starten.

## 1.2 Waterinjectie Management Plan (WMP)

Gedurende de injectie van het productiewater is het belangrijk dat de integriteit van de putten, het reservoir en de afsluitende bovenlaag gewaarborgd worden. In het Waterinjectie Management Plan dat onderdeel is van de verleende omgevingsvergunningen zijn hiervoor specifieke parameters opgenomen. Deze parameters kunnen in de loop der tijd wijzigen indien nieuwe inzichten daarvoor aanleiding geven. Indien daarvan sprake zal het WMP geactualiseerd moeten worden en ter goedkeuring voorgelegd worden aan het bevoegd gezag. Onderstaande versies zijn afgelopen jaren verschenen:

### Waterinjectie Management Plan 2009

Als onderdeel van de waterinjectievergunningen is in augustus 2009 een Waterinjectie Management Plan (WMP) opgesteld [2], dat de activiteiten die nodig zijn voor het waarborgen van die integriteit in meer detail beschrijft. Dit WMP is ook uitgebreid getoetst door de Raad van State (2011).

### Waterinjectie Management Plan 2018

In de periode 2015-2018 heeft er constructief overleg plaatsgevonden tussen NAM en SodM over diverse aanpassingen. Onderwerp van overleg waren het Protocol Seismische Activiteit door Waterinjectie [3], en de Overkoepelende Analyse Ondergrondse Risico's Waterinjectie Twente [4]. Tevens heeft NAM de toegezegde 3-jaarlijkse en 6-jaarlijkse technische evaluaties van de Twente waterinjectie aan SodM overlegd [5], [6], [7]. Een en ander heeft geleid tot een verzoek van SodM d.d. 2 juli 2018 [8], waarin gevraagd wordt om actualisatie van het gehele WMP om hierin alle nieuwe inzichten en de resultaten van de gevoerde overleggen in op te nemen, zodat voor iedereen transparant is op welke wijze NAM in de toekomst zal zorgdragen voor een veilig en verantwoorde waterinjectie in Twente. Deze actualisatie is eind 2018 overlegd [9].

### Waterinjectie Management Plan 2021

Naar aanleiding van de bevindingen tijdens de onderhoudswerkzaamheden aan waterinjectieput Rossum-Weerselo 2 (ROW-2) in begin 2021, heeft SodM aan NAM verzocht een aantal verbeteringen door te voeren. Onder meer het uitvoeren van extra metingen die genoemd zijn in Tabel 2 zijn hier onderdeel van. Ook in de wijze van rapporteren worden een aantal verbeteringen doorgevoerd. Deze zaken zijn opgenomen in de 2021 versie van het Waterinjectie Management Plan

### Waterinjectie Management Plan 2022

In 2021 heeft NAM een aantal extra metingen in de operationele putten (ROW-4, 5 en 7) laten uitvoeren. De resultaten van deze metingen hebben geleid tot een actualisatie van de Overkoepelende Analyse Ondergrondse Risico's Waterinjectie Twente [4]. Om een beeld te krijgen van de gesteentelagen achter de casing onder de packer zijn bij wijzen van experiment Pulse Neutron Logs (PNL) gebruikt. Hierbij is bij een put (ROW-4) een onregelmatigheid aangetroffen. Mogelijk wijst deze onregelmatigheid op beperkte aantasting van het Haliëet. NAM heeft besloten om jaarlijks deze PNL-monitoring toe te passen op alle actieve water injectie putten. Tevens is besloten om de 3-jaarlijkse casing caliper ook voortaan jaarlijks te nemen. Deze wijzigingen zijn opgenomen in deze geactualiseerde 2022 versie van het Water Injectie Management Plan.

### **1.3 Rapport indeling**

In hoofdstuk 2 worden de druklimieten ter waarborging van de integriteit van de bovenlaag besproken. Hoofdstuk 3 behandelt de monitoring van de waterinjectie en rapportage aan het bevoegd gezag. Hoofdstuk 4 bespreekt de kalibratie van de modellering. Kwaliteitsborging wordt behandeld in hoofdstuk 5.

## 2. Integriteit van afsluitende bovenlaag: druklimieten

### Druklimieten en maximum injectie debieten

Tijdens het ontwerp van de Schoonebeek herontwikkeling was de verwachting dat injectie van productiewater in de reservoirs zou plaatsvinden onder “fracturing” condities. Dit is ook beschreven in de vergunningsaanvragen destijds en ook zo vergund.

Echter sinds de start van waterinjectie in 2011 zijn meerdere injectiviteitstesten (“Step-Rate Tests”, SRT) uitgevoerd. Deze geven duidelijke aanwijzingen dat het water in het reservoir wordt opgenomen in het natuurlijk netwerk van bestaande scheuren in het Zechstein carbonaat. Dit betekent dus dat de injectie niet plaatsvindt onder “fracturing” condities, maar dat de injectie drukken lager liggen dan de injectiedruk waarbij “fracturing” van het gesteente zou plaatsvinden.

De reservoir lagen waarin geïnjecteerd wordt liggen in het zogenaamde Zechstein carbonaat en de Limburg zandsteen. De afsluitende bovenlaag van deze voormalige gasreservoirs zijn de kleisteenlagen van de Hoofdkleisteen en de Rogenstein formaties in de Trias in het TUM-veld en het Zechstein Halië (een zoutlaag) in de ROW en TUB- velden. Op basis van de formatiesterkte in de afsluitende bovenlagen zijn bovengrondse druklimieten per put uitgerekend, zie Tabel 1. In deze druklimieten is een veiligheidsmarge opgenomen. Gebaseerd op de kennis van de afsluitende bovenlaag is deze veiligheidsmarge 10% voor de ROW en TUB velden (de TUM velden worden in deze versie van het WMP niet meer meegenomen omdat de putten volledig afgesloten zijn, net zoals put ROW-2). Indien de pompdruk de genoemde druklimieten bereikt uit, dan wordt de pomp automatisch afgezet.

*Tabel 1: Bovengrondse druklimieten voor waterinjectie putten.*

Put	Reservoir Diepte (m)	Veiligheidsmarge	Druk limiet (bar)	2009 vergund injectie debiet <sup>1</sup> (m3/d)
ROW-3	1692	10%	180	1500
ROW-4	1232	10%	131	2500
ROW-5	1163	10%	124	2500
ROW-7	1125	10%	119	1800
ROW-9	1310	10%	139	1350
TUB-7	1312	10%	139	2250
TUB-10	1412	10%	150	2000

<sup>1</sup> In voorgaande versies van het WMP werd deze kolom aangeduid als “Maximaal gepland Injectiedebiet”. Echter, deze geplande waarden gingen nog uit van injectie onder “fracturing” condities, de daadwerkelijke reservoir injectiviteit in het Zechstein carbonaat is beter dan verwacht.

### 3. Monitoring en rapportage van waterinjectie

#### 3.1 Overzicht van monitoring en rapportage

Tijdens waterinjectie worden een aantal parameters frequent gemonitord en gemeten. Onderstaande Tabel 2 laat zien welke parameters dit zijn, met welke frequentie dit gebeurt, en de (mogelijke) acties die uit de analyse van deze testen kunnen volgen. De monitoring activiteiten die genoemd worden in de bow-tie diagrammen van de Overkoepelende Risico Analyse [4] worden ook vermeld in Tabel 2.

Vervolgens wordt aangegeven waar de data wordt gerapporteerd. Er zijn twee periodieke rapportages, de zes-jaarlijkse evaluatie van de injectie (sectie 3.2) en de jaarrapportage (sectie 3.3). Afwijkende observaties worden opgenomen in de jaarrapportage als daar aanleiding voor is. Contractor rapporten met meting resultaten worden gedeeld met SodM.

Tabel 2: Overzicht van surveillance activiteiten en testen die uitgevoerd worden tijdens waterinjectie

	<b>Activiteit</b>	<b>Frequentie</b>	<b>(Mogelijke) follow-up</b>	<b>Rapportage</b>
1.	Meting van Injectiedebiet en –druk	Real-Time	Vergelijking met en handhaving van druklimieten Kalibratie van modellering	Jaar gemiddelden en volumes in de Jaarrapportage.
2.	Analyse van Waterkwaliteit/ samenstelling	1×/week (beknopte analyse), 1/maand (uitgebreide analyse)	Aanpassing waterbehandeling op OBI Kalibratie van modellering	Jaarrapportage
3.	Meting van reservoir druk	1×/jaar	Kalibratie van modellering	Jaarrapportage & 6-jaarlijkse evaluatie
4.	Meting van bodem put (Hold-Up Depth)	1×/jaar	Uitdiepen van de put	6-jaarlijkse evaluatie
5.	Caliper Injectie buis	1×/jaar	Vervangen van injectiebuis	6-jaarlijkse evaluatie
6.	Caliper <sup>2</sup> diepe verbuizing onder de packer	1×/jaar	Indien onregelmatigheid wordt waargenomen dan volgt verder onderzoek (zoals T-logging en/of CBL)	6-jaarlijkse evaluatie
7.	Meting van haliet caprock integriteit	1×/jaar	Indien onregelmatigheid wordt waargenomen dan volgt verder onderzoek	6-jaarlijkse evaluatie
8.	Meting van vloeistofniveau in annulaire ruimte tussen binnen- en buitenbuis	1×/jaar	Nader onderzoek indien onregelmatigheid wordt waargenomen	Jaarrapportage & 6-jaarlijkse evaluatie
9.	Meting van annulaire drukken en observatie van afwijkingen	Continu	Druk aflaten of aanvullen om die in het interval maximaal toegestane / minimaal benodigde druk te handhaven. Herstelwerkzaamheden	Jaarrapportage & 6-jaarlijkse evaluatie Opvullen/aflaten gerapporteerd in eWIMS

<sup>2</sup> Daar waar caliper toegang niet mogelijk is vanwege een kleine tubing diameter wordt een alternatieve monitoring tool gebruikt.

10.	Inspectie en onderhoud van putrand en spuitkruis	1×/jaar	Herstelwerkzaamheden	eWIMS
11.	Locatiebezoek van operators voor visuele inspectie	1×/week aan locaties met actieve injectoren, 1×/maand aan locaties met ingesloten injectoren	Handmatig ingrijpen, herstelwerkzaamheden	Niet van toepassing Genoteerd in URL Logboek.
12.	Injectiviteitstesten	opgeschort (1×/jaar)	Zuurstimulatie Kalibratie van modellering	6-jaarlijkse evaluatie
13.	Fall-off testen	opgeschort (1×/jaar)	Kalibratie van modellering	6-jaarlijkse evaluatie
14.	Analyse van hoeveelheid toegevoegde mijnbouwhulpstoffen	Continu	Aanpassen injectie mijnbouwhulpstoffen	Jaarrapportage
15.	Meting van seismiciteit met netwerk van geofoons en accelerometers	Continu	Opvolging in overeenstemming met seismisch risico beheersplan water injectie Twente velden [10] (zonodig herzien van modellen en nemen van mitigerende maatregelen).	KNMI website. NAM rapportage volgens het Seismisch Risico Management Plan
16.	Satelliet (InSar) metingen van bodemniveau	1×/jaar	Nader onderzoek indien coherente afwijkingen worden waargenomen van meer dan 2 centimeter.	NAM in-house monitoring door Geomatics afdeling
17.	Monitoring van grondwater rond putlocaties d.m.v. peilbuizen	Jaarlijkse bemonstering en analyse	Bijwerken van de opgestelde bodemrisicoanalyse	Analyseresultaten beheerd door contractor (Arcadis)



#### Add 1) Meting van Injectiedebiet en –druk

De injectiedrukken en –debieten per individuele put worden real-time gemeten. De data worden opgeslagen in een database, die (gedurende de werkweek) dagelijks gemonitord wordt door een Production Programmer die de drukken vergelijkt met de druklimieten zoals deze beschreven zijn in hoofdstuk 2.

Om het vergelijken van de actuele injectiedrukken met de opgegeven druklimieten te vergemakkelijken, is er een “exception based surveillance” procedure opgezet waarbij een alarm wordt gegeven wanneer de actuele injectiedruk groter wordt dan 90% van de druklimiet. Indien nodig zal het injectiedebiet (en dus ook de bijbehorende injectiedruk) verlaagd worden. Mocht de druk toch oplopen dan wordt de pomp automatisch afgezet zodra de actuele druk de druklimiet bereikt.

#### Add 2) Analyse van Waterkwaliteit/samenstelling

Tijdens injectie wordt de samenstelling van het injectie water regelmatig gecontroleerd. De waterkwaliteit controle gebeurt wekelijks op een beperkt aantal componenten en één keer per maand vind een uitgebreide analyse plaats zoals de omgevingsvergunning heeft aangegeven. De monsternames en analyses worden uitgevoerd onder verantwoordelijkheid van het NAM laboratorium.

In het Schoonebeek olieveld worden mijnbouwhulpstoffen toegevoegd, waarbij gestuurd wordt op de technisch minimaal benodigde dosering om overdosering zoveel mogelijk te vermijden. De toegepaste hoeveelheden mijnbouwhulpstoffen die terecht komen in het injectie water worden jaarlijks gerapporteerd.

#### Add 3-5) Meting van reservoir druk / Meting van bodem put / Caliper Injectie buis

Eens per jaar worden de bodem van de put, de reservoir druk en de wanddikte van de injectiebuis gemeten. Bovengenoemde parameters worden gemeten met behulp van “wireline”, een stalen kabel waaraan een drukmeter en caliper meetinstrument bevestigd worden. Deze meters worden dan in de put afgelaten om op bepaalde dieptes drukmetingen en wanddikte metingen te doen.

De “bodem” van de put kan omhoog komen doordat vaste stoffen (zoals zand) onder in de put accumuleren. De bodem van de put wordt bepaald door een gewicht aan “wireline” in de put af te laten. Zodra dit gewicht op de bodem van de put landt, zal het gewicht dat aan de “wireline” hangt en dat wordt gemeten aan het oppervlak, instantaan afnemen.

De jaarlijkse meting van reservoir druk wordt verkregen middels een SPG survey (Static Pressure Gradient), d.w.z. een meting terwijl er geen water geïnjecteerd wordt, tenzij expliciet anders vermeld.

De caliper van de injectiebuis en verbuizing wordt in het algemeen gemeten met een zg. “multi-finger caliper tool”. Dit instrument meet eventuele afwijkingen in de interne diameter van de buis door de uitslag/positie van een groot aantal uitgeklapte “meetvingers” (24-40 stuks) te registreren terwijl het instrument door de buis omhoog getrokken wordt. Een handelsnaam van dienstverlener Schlumberger voor dit meetinstrument is PMIT, van dienstverlener Expro is dit MIT.

Op basis van deze metingen wordt het injectie model aangepast en wordt bepaald of de put uitgeschoond moet worden, of dat de injectiebuis vervangen moet worden.

#### Add 6) Caliper diepe verbuizing onder de packer

Voor de caliper meting van de diepe verbuizing werd initieel een 5-jaarlijkse frequentie aangehouden. Hoewel de resultaten van deze meting bij een 5-jaarlijkse frequentie tot op heden geen verontrustende resultaten hebben laten zien, wordt de frequentie nu verhoogd naar jaarlijks.

In het geval dat de multi-finger caliper tool geen zinvolle meting kan doen, b.v. vanwege een te groot verschil in interne diameter tussen de injectiebuis en de diepe verbuizing (zoals in put ROW-7), wordt ook gebruik gemaakt van een electromagnetisch meetinstrument voor het bepalen van het metaalverlies van de diepe verbuizing. Een handelsnaam van dienstverlener Schlumberger voor dit meetinstrument is EMIT, van dienstverlener TGT is dit Pulse-MTI. Met het Space-Panorama instrument van dienstverlener Archer kan d.m.v. ultrasone metingen ook een visualisatie van de

verbuizing gemaakt worden als mogelijke aanvulling of vervanging van de caliper meting. De meting van de caliper van de injectiebuis wordt jaarlijks uitgevoerd in de actieve waterinjectieputten.

#### Add 7) Meting van haliet caprock integriteit

Op grond van de ervaring in ROW-4 is het WMP uitgebreid met een jaarlijkse evaluatie van de integriteit van de haliet caprock middels time-lapse Pulsed Neutron Logging evaluatie.

#### Add 8) Meting van vloeistofniveau in annulaire ruimte tussen binnen- en buitenbuis

Op grond van de ervaring in ROW-2 is het WMP uitgebreid met een jaarlijkse meting van het vloeistof niveau in de annulaire ruimte tussen de injectiebuis en de productieverbuizing. Een verandering van het vloeistof niveau in de annulaire ruimte kan wijzen op een integriteitsprobleem, bijvoorbeeld indien dit niveau zich niet vlak onder het oppervlak bevindt in de sub-hydrostatische ROW putten.

#### Add 9) Meting van annulaire drukken en observatie van afwijkingen

Er is een wekelijkse routine om annulusdrukken te inspecteren en zonodig worden de annulaire ruimtes bijgevuld met N<sub>2</sub> om de drukken boven de 2 bar te brengen. Rapportage vindt plaats in “Wikker”, een applicatie die deel is van de Operations Desk Top (ODT) portal. Annuli drukken worden geregistreerd via een DCS en PI, alarmen worden via de Schoonebeek controle kamer doorgegeven aan Operaties in Twente. Sinds Jan 2020 wordt de MinaP voor alle water-injectors in de A-annulus actief bijgehouden. Een alarm wordt geactiveerd als de lage grens wordt bereikt. A MinaP in eWims leidt tot een alarm en onderzoek naar de druk in de Annulus. De ervaring leert dat schommelingen van drukken als gevolg van injectie-activiteiten veelvuldig voorkomen (bijvoorbeeld door temperatuur effecten). De dienstdoende Operator kan besluiten dat verder onderzoek vereist is en een verzoek plaatsen in het systeem.

Jaarlijks wordt er een vloeistof-meting uitgevoerd in de annuli. Momenteel zijn de Echometer en Stikstof PV=C metingen de gangbare en meest efficiënte methoden om vloeistof metingen te verrichten. Deze directe meting geeft meer, en beter te vertrouwen informatie over de integriteit van de put dan drukken alleen. In aanvulling op deze jaarlijkse metingen bouwt NAM Analytics aan modellen om met de huidige drukdata anomalieën te detecteren. Het is de verwachting dat hiermee triggers kunnen worden gegenereerd voor additionele, ad-hoc vloeistofmetingen.

#### Add 12-13) Injectiviteitstesten / Fall-off testen

Aangezien er momenteel in geen enkele injectieput onder “fracturing” condities wordt geïnjecteerd, zijn de jaarlijkse injectiviteitstesten en fall-off testen opgeschort (zie hoofdstuk 5). Deze zullen worden hervat wanneer uit de injectiedruk (welke continu wordt bemeten) blijkt dat onder “fracturing” condities wordt geïnjecteerd. De opschorting zal derhalve jaarlijks, bij het inplannen van de surveillance activiteiten, worden geëvalueerd.

Uit vergelijking van de trend van de actuele injectiedruk (bij gelijkblijvend injectiedebiet) met die van de berekende drukken kan bepaald worden of injectie onder “fracturing” condities plaatsvindt, en zo ja of de lokaal gecreëerde scheuren binnen het reservoir blijven. Indien injectie onder “fracturing” condities plaatsvindt worden de dimensies van de scheuren eens per jaar bevestigd via een fall-off test.

Uit de vergelijking van de actuele drukken en injectiedebieten met de gemodelleerde waarden kan tevens bepaald worden of de natuurlijke danwel geïnduceerde scheuren in het reservoirgesteente langzaam verstopt raken. Mocht dit het geval zijn dan kan een zuurstimulatie worden uitgevoerd (HCl). Ervaring uit het verleden in dezelfde type reservoirs laat zien dat deze stimulaties succesvol zijn in het herstellen van de injectiviteit. De verwachting is dat in het leven van een waterinjectie put 1 à 2 zuurstimulaties nodig zullen zijn.

Verlies van injectiviteit kan ook bepaald worden via injectiviteitstesten. Indien injectie onder “fracturing” condities plaatsvindt worden deze testen jaarlijks gebruikt om de formatiesterkte van het injectie reservoir te bepalen bij de dan geldende reservoir druk. Deze informatie wordt dan gebruikt bij de verdere kalibratie van de modellering (zie sectie 5).

#### Add 15) Meting van seismiciteit met netwerk van geofoons en accelerometers

Er zijn nog nooit aardbevingen geregistreerd in of nabij de injectie reservoirs in Twente. Er is momenteel een netwerk van 9 gefoonstations in de regio, die ook zijn uitgerust met grondversnellingsmeters (accelerometers). Hiermee kunnen alle bevingen met een sterkte van  $M=0.5$  en hoger geregistreerd en gelokaliseerd worden (dus ook niet voelbare bevingen). Bevingen worden niet verwacht. Voor het geval dat zich toch een beving voor zou doen heeft NAM een seismisch response protocol. Dit is beschreven in het seismisch risico beheersplan water injectie Twente velden [10]. Indien er tegen de verwachting in toch een beving wordt geregistreerd, dan zal een analyse uitgevoerd worden. De plaats van de aardbeving wordt vergeleken met het geologische model, de locatie van putten en breuken. Indien nodig worden geologische modellen herzien en worden mitigerende maatregelen genomen zoals het verminderen van waterinjectie.

#### Add 16) Satelliet (InSar) metingen van bodemniveau

De bodembeweging boven de Twente waterinjectie velden wordt jaarlijks gemonitord door middel van InSAR (met beschikbare beelden sinds 2011). Indien coherente afwijkingen worden waargenomen in de tijd in de omgeving van de injectie putten van meer dan 2 centimeter zal de oorzaak hiervan worden onderzocht. In geval de oorzaak toe te wijzen is aan de waterinjectie, zal de inzet van mitigerende maatregelen worden beoordeeld.

#### Add 17) Monitoring van grondwater rond putlocaties d.m.v. peilbuizen

Het grondwater wordt jaarlijks bemonsterd en geanalyseerd door een instelling die daartoe is erkend op grond van het Besluit Bodemkwaliteit; de analysesresultaten worden ten minste tien jaar bewaard en kunnen te allen tijde worden getoond aan de controlerende ambtenaren van het bevoegd gezag. Bemonstering en analyse vindt plaats conform NEN 5740. Het monitoringsysteem is ingericht en wordt beheerd conform de Nederlandse richtlijn monitoring bodemkwaliteit bedrijfsmatige activiteiten.

### **3.2 Zes-jaarlijkse evaluatie van de injectie**

Vóór de start van de waterinjectie zijn analyses gemaakt van de verwachte connectie van de injectieputten met het injectie reservoir, de ontwikkeling van de reservoir druk tijdens injectie en de uiteindelijke opslagcapaciteit. Om accurate modellering te verkrijgen en te behouden worden verschillende parameters voor en tijdens injectie nauwgezet gemeten. Aan de hand van de verzamelde injectiegegevens wordt de modellering geëvalueerd en gekalibreerd. De resultaten van deze evaluatie worden 6-jaarlijks met het bevoegd gezag gedeeld, zie Tabel 3. Voor een aantal putten (ROW-3, ROW-4, ROW-7, ROW-9, TUB-7 en TUB-10) heeft dit evaluatiemoment al na 3 jaar plaatsgevonden, omdat deze putten met een relatief klein reservoirvolume verbonden zijn. Het was de verwachting dat in deze putten de reservoirdruk relatief snel zou oplopen waardoor een eerdere accurate kalibratie van de modellering mogelijk zou zijn. Hierdoor zijn er effectief twee groepen van putten ontstaan die afwisselend om de 3 jaar worden geëvalueerd. Het reservoir gedrag van de actieve putten (ROW-4, ROW-5, ROW-7) laat geen relatief snelle drukstijgingen zien. Om in de toekomst alles in 1 rapportage op te nemen zal put ROW-7 daarom ook in de komende evaluatie (2023) worden meegenomen.

Toekomstige 6-jaarlijks evaluatiemomenten zijn samengevat in Tabel 3. Putten waarvoor geen nieuwe data meer beschikbaar is gekomen sinds de laatste evaluatie omdat ze niet meer in gebruik zijn (gesuspenseerd danwel ge-abandoneerd), worden niet opnieuw geëvalueerd.

Tabel 3: Overzicht van historische en toekomstige 6-jaarlijkse evaluatie momenten. De historische evaluaties zijn aangegeven als referentie naar het rapport ( [5], [6] en [7]), de toekomstige momenten als "x".

Put	6-jaarlijkse evaluatie-momenten*											Volgende evaluatie-moment *				
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026
TUM-1**							[6]									
TUM-2**							[6]									
TUM-3**							[6]									
ROW-2**							[6]						x			
ROW-3				[5]			[6]						x			
ROW-4				[5]			[6]						x			
ROW-5							[6]						x			
ROW-7				[5]						[7]			x			
ROW-9				[5]						[7]						
TUB-7				[5]						[7]						
TUB-10				[5]						[7]						

\* Onverlet de 6-jaarlijkse evaluatie momenten vinden routinematige inspecties omtrent put integriteit normale doorgang tot aan abandonnement van de put (eWIMS).

\*\* Rossum-Weerselo-2 is begin 2021 op Zechstein reservoir-niveau gedeeltelijk ge-abandonneerd, de Tubbergen-Mander putten worden eind 2021 door NAM ge-abandonneerd

### 3.3 Jaarrapportage

Jaarlijks worden de waterkwantiteit (hoeveelheid geïnjecteerd water) alsmede de waterkwaliteit (samenstelling van het injectiewater) en mijnbouwhulpstoffen gerapporteerd aan het bevoegd gezag. De waterinjectie parameters (injectiedruk, reservoirdruk, volume en debiet) worden in het vervolg gerapporteerd op de wijze zoals aangegeven in Tabel 4.

De resultaten van de overige monitoring en surveillance activiteiten zoals vermeld in Tabel 2 zullen alleen in de jaarlijkse rapportage besproken worden als daar aanleiding toe is, in geval van afwijkingen van de normale situatie.

Tabel 4: Waterinjectie parameters.

	Pompdruk limiet	Actuele pompdruk	Maximale injectie debiet	Gemiddelde injectiedebiet	Cumulatief geïnjecteerd volume aan einde injectiejaar	Actuele reservoir druk (@1240 mTVss)	Verwachte reservoirdruk bij huidige cumulatieve injectie	Actuele vullingsgraad
	bar	bar	m3/d	m3/d	mIn m3	bar	bar	%
Voor aanvang gasproductie								
Bij aanvang waterinjectie						0.000		
2011								
2012								
2013								
2014								
2015								
2016								
2017								
2018								
2019								
2020								
2021								
Verwachte uiteindelijke situatie								

## 4. Kalibratie van modellering

Gedurende de waterinjectie is het belangrijk om de modellering regelmatig te kalibreren. Hiervoor worden op regelmatige basis metingen en testen uitgevoerd zoals beschreven in Tabel 2. De data die hierbij verkregen worden, zijn onder te verdelen in 2 groepen.

De eerste groep betreft dagelijkse metingen van de injectiedrukken en –debieten en wekelijkse waterkwaliteitsmetingen. Deze data wordt op een dagelijkse danwel wekelijkse basis gemonitord om injectie binnen de vergunde limieten te waarborgen. Tevens kan deze data worden gebruikt om te bepalen of onder “fracturing” condities wordt geïnjecteerd.

De tweede groep bestaat uit metingen van de reservoir druk, de bodem van de put en injectiviteits- en fall-off testen. Deze data worden jaarlijks verkregen en worden (samen met de eerste groep data) gebruikt om de waterinjectie modellering jaarlijks te evalueren.

### Fracture model

Vooralsnog vindt in geen van de huidige injectieputten injectie plaats onder “fracturing condities”. Mocht dit in de toekomst veranderen dan kan, wanneer voldoende data beschikbaar is, het fracture model gekalibreerd worden. Regelmatige kalibratie is met name belangrijk wanneer onder “fracturing” condities wordt geïnjecteerd. De belangrijkste parameters die voor eventuele kalibratie worden gebruikt zijn:

- Dimensies van de gecreëerde lokale scheuren (indien aanwezig en meetbaar)
- Reservoir druk
- Minimale totale horizontale spanning van het injectiereservoir (indien meetbaar)

De dimensies van de gecreëerde lokale scheuren worden bepaald met behulp van fall-off testen. Bij deze testen wordt de injectie stop gezet en de afname van de injectiedruk als functie van de tijd gemeten. Op basis van deze data kan een afschatting gemaakt worden van de hoogte en laterale omvang van de lokale scheuren. Met betrekking tot de Zechstein Carbonaat reservoirs kan hierbij ook bepaald worden of de lokaal gecreëerde scheuren verbinding hebben kunnen maken met de breuken die van nature al aanwezig zijn in deze reservoirs. Dit is belangrijke informatie voor de verdere kalibratie van het waterinjectie model.

De minimale horizontale spanning van het injectiereservoir wordt verkregen uit een “step-rate” test die onderdeel uitmaakt van de jaarlijkse injectiviteitstest. Deze spanning, die voor een groot gedeelte de benodigde injectiedruk bepaalt, zal oplopen naarmate de reservoir druk oploopt. De mate waarin dit gebeurt wordt bepaald door de “depletie constante”. Door de genoemde step rate test jaarlijks uit te voeren wordt deze depletie constante nauwkeurig bepaald en daarmee het injectiemodel verder gekalibreerd.

Aangezien er momenteel in geen enkele injectieput onder “fracturing” condities wordt geïnjecteerd, zijn de jaarlijkse fall-off en step-rate testen opgeschort. Deze zullen worden hervat wanneer uit de injectiedruk (welke op dagelijkse basis wordt gemonitord) blijkt dat onder “fracturing” condities wordt geïnjecteerd. De opschorting zal derhalve jaarlijks, bij het inplannen van de surveillance activiteiten, worden geëvalueerd.

### Reservoir druk model

De reservoir druk zal toenemen naarmate injectie voortduurt. De snelheid waarmee de reservoir druk toeneemt, hangt af van het reservoirvolume dat verbonden is met de put. Als conservatieve aanname is op dit moment gesteld dat dit volume gelijk is aan de hoeveelheid gas die door de betreffende put zelf geproduceerd is (gecorrigeerd met de “Gas Formatie Volume factor”). Het reservoirvolume dat met de put verbonden is, kan groter zijn indien nabijgelegen putten ook uit het verbonden reservoir gesteente gas hebben geproduceerd. De reservoir druk in combinatie met de cumulatieve hoeveelheid geïnjecteerd water is derhalve een belangrijke parameter voor de kalibratie van de injectie modellering. In de huidige injectieputten is de vullingsgraad dusdanig laag dat er onvoldoende data beschikbaar is voor een gefundeerde update van de injectiemodellering.

## 5. Kwaliteitsborging

Voor NAM is veiligheid en gezondheid van burens, medewerkers en aannemers samen met de zorg voor het milieu heel belangrijk. De installaties en activiteiten moeten daarvoor aan de strengste eisen voldoen. Assurance activiteiten en inspecties zijn belangrijk om eventuele verbeteringen door te voeren

Bij NAM is het Veiligheids- en Milieubeheerssysteem volledig geïntegreerd in het bedrijfsvoeringsysteem en beschreven in de zogenoemde RIGG-documenten (Rapport inzake Grote Gevaren), die worden beoordeeld door SodM.

Meer specifiek is het milieuzorgsysteem (EMS) van NAM, dat sinds 1996 is gecertificeerd volgens de norm NEN-EN ISO14001. Het milieuzorgsysteem staat voor een systematische beheersing van de milieuaspecten die een bepaalde mate van risico met zich meebrengen. Verstoring van bodem en ondergrond, inclusief waterinjectie, is door de NAM onderkend als een belangrijk milieuaspect, waarvoor procedures, werkinstructies en voorliggend water management plan zijn opgesteld. Het auditsysteem is trapsgewijs opgebouwd en bestaat uit interne en externe audits.

Bij interne audits wordt nagegaan of het bedrijfsvoeringsysteem werkt zoals het bedoeld is. Voorbeelden zijn:

- Systeemaudits door Shell Internal Audit op bijvoorbeeld de processen UPMB 18 “Manage Geomatics” (inclusief waterinjectie in voormalige gas reservoirs), AMS 2.2.3 “Perform WRFM” en AMS 2.2.4 “Ensure Safe Production”;
- Het controleren van de werking en kwaliteit van het opgestelde Water Management Plan door middel van “peer reviews”. Hierbij worden reviews uitgevoerd op het Schoonebeek waterinjectie systeem door teams, die andere waterinjectie systemen binnen NAM aansturen. Met betrekking tot de verificatie van de waterinjectie modellen wordt opgemerkt dat hierin ook Shell Research als expertise centrum wordt betrokken;
- Interne milieuzorgaudits (EMS audits), waarbij onder andere het functioneren van de verschillende elementen van het milieuzorgsysteem en de werking van de procedures, werkinstructies en injectieprotocollen wordt gecontroleerd.

Externe audits en inspecties worden door onafhankelijke en gekwalificeerde instellingen uitgevoerd. Deze audits en inspecties vinden plaats in het kader van ISO14001 en in het kader van de toezichthoudende taak door SodM. Om het ISO14001 certificaat te behouden wordt elk jaar een audit uitgevoerd door een extern bedrijf. Het geïdentificeerde milieu-aspect “waterinjectie” en de beheersing hiervan kan deel uitmaken van deze audit.

De aanbevelingen uit audits en reviews worden opgenomen in een NAM-database systeem (Radar). De opvolging van de aanbevelingen wordt door het NAM management beoordeeld en bewaakt.

## 6. Gebruikte Termen en Afkortingen

CBL	Cement Bond Logging, instrument om de kwaliteit van de cementatie van de boorgatverbuizing te meten.
HCl	Zoutzuur
InSar	Interferometric synthetic-aperture radar
OBI	Olie Behandelings Installatie
ORA	Overkoepelende Risico Analyse
ROW	Rossum-Weerselo
SPG	Static Pressure Gradient
SRT	Step-Rate Test, injectiviteitstest
T-logging	Meting van het temperatuur profiel over (een deel van) de lengte van het boorgat
TUB	Tubbergen
TUM	Tubbergen-Mander
WRFM	Well, Reservoir & Facility Management
WMP	Waterinjectie Management Plan



## 7. Referenties

- [1] Nederlandse Aardolie Maatschappij, "Preliminary Findings Report - Well Integrity investigation of well ROW-2," 2021, EP202103200653.
- [2] Nederlandse Aardolie Maatschappij, "Water Injectie Management Plan," 2009, EP200907301803.
- [3] Nederlandse Aardolie Maatschappij, "Addendum Waterinjectie Management Plan - Protocol Seismische Activiteit door Waterinjectie," 2015, EP2015022216336.
- [4] Nederlandse Aardolie Maatschappij, "Overkoepelende Analyse Ondergrondse Risico's Waterinjectie Twente en Schoonebeek," April 2022, EP202205200317.
- [5] Nederlandse Aardolie Maatschappij, "Technical evaluation of Twente water injection wells ROW3, ROW4, ROW7, ROW9, TUB7 and TUB10 3 years after start of injection," 2015, EP201410210164.
- [6] Nederlandse Aardolie Maatschappij, "Technical evaluation of Twente water injection wells TUM1, TUM2, TUM3, ROW2, ROW3, ROW4 and ROW5 6 years after start of injection," 2017, EP201701214429.
- [7] Nederlandse Aardolie Maatschappij, "Second technical evaluation of Twente water injection wells TUB-7, TUB-10, ROW-9 and ROW-9," EP202012203362, januari 2021.
- [8] Staatstoezicht op de Mijnen, "Actualisatie waterinjectieplan n.a.v. 6 jaarlijkse evaluatie en risicoanalyse," Kenmerk 17167141, 2 juli 2018.
- [9] Nederlandse Aardolie Maatschappij, "Waterinjectie Management Plan 2018 - Waterinjectie Twente," 2018, EP201810244166.
- [10] Nederlandse Aardolie Maatschappij, "Seismisch risicobeheersplan - Waterinjectie Twente velden Kenmerk," 29/1/2021.
- [11] Nederlandse Aardolie Maatschappij, "Concept Addendum Waterinjectie Management Plan," 2015, EP201504208558.