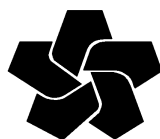


May 2022



**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)	Veiligheids-marge	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] (zonedig 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.