

Oktober 2018



Report: EP201810244166

Nederlandse Aardolie Maatschappij

Waterinjectie Management Plan 2018
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
2. Achtergrond	4
3. Integriteit van afsluitende bovenlaag: druklimieten	5
4. Monitoring en operatie van water injectie putten.....	6
5. Kalibratie van modellering	9
6. Kwaliteitsborging	10
6.1 Interne audits en reviews	10
6.2 Externe audits	10
7. Rapportage.....	11
8. Gebruikte Termen en Afkortingen	12
9. Referenties	13

1. Inleiding

Sinds 2011 wint NAM opnieuw olie uit het olieveld Schoonebeek. Bij het ophoogpompen van de olie komt ook water en gas mee naar boven. Het mengsel van al deze stoffen wordt op de oliebehandelingsinstallatie van elkaar gescheiden. Hierbij wordt de olie geëxporteerd naar een olieraffinaderij in Lingen, wordt het gas opnieuw 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). Gedurende de injectie van het productiewater is het belangrijk dat de integriteit van deze putten, het reservoir en de afsluitende bovenlaag gewaarborgd wordt.

Als onderdeel van de waterinjectievergunningen is in augustus 2009 een Waterinjectie Management Plan (WMP) opgesteld [1], dat de activiteiten in meer detail beschrijft die nodig zijn voor het waarborgen van die integriteit. NAM heeft in 2015 een aantal aanpassingen in het WMP voorgesteld [2], die instemming nodig hebben van het bevoegd gezag (ministerie van EZK/SodM). In de afgelopen drie jaar heeft er constructief overleg plaatsgevonden tussen NAM en SodM over de voorgestelde aanpassingen. Onderwerp van overleg waren het Protocol Seismische Activiteit door Waterinjectie [3], en de Overkoepelende Analyse Ondergrondse Risico's Waterinjectie Twente [4] (hierna ORA genoemd). Tevens heeft NAM de toegezegde 3-jaarlijkse en 6-jaarlijkse technische evaluaties van de Twente waterinjectie aan SodM overlegd [5], [6]. E.e.a. heeft geleid tot een verzoek van SodM d.d. 2 juli 2018 [7], waarin gevraagd wordt om actualisatie van het gehele WMP om hierin alle nieuwe inzichten en het 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.

2. Achtergrond

Bij de aanvang van de waterinjectie in Twente in 2011 waren 3 leeggeproduceerde gasvelden in Twente geselecteerd voor injectie van productiewater. Deze velden zijn: Tubbergen-Mander (TUM), Rossum-Weerselo (ROW) en Tubbergen (TUB). De reservoirs in deze velden liggen in het zogenaamde Zechstein carbonaat en de Limburg zandsteen. De afsluitende bovenlaag van deze voormalige gasreservoirs zijn de kleisteenlaag in de Bunterzandsteenformatie in het TUM-veld en het Zechstein Hallet (een zoutlaag) in de ROW en TUB velden.

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, ROW-9, TUB-7 en TUB-10 blijven beschikbaar voor mogelijke waterinjectie in de toekomst. De TUM putten zijn definitief buiten gebruik gesteld.

De verwachting was dat injectie van productiewater in de reservoirs zou plaatsvinden onder “fracturing” condities. Dit is ook beschreven in de vergunningsaanvragen destijds en ook zo vergund. Injectie onder “fracturing condities”* betekent dat er lokaal scheuren in het reservoir gesteente gecreëerd worden die de injectiviteit van de put vergroten. Tijdens injectie moet voorkomen worden dat deze scheuren in de afsluitende bovenlaag van het injectie reservoir groeien. Daarom zijn vóór de start van de waterinjectie druklimieten vastgesteld (zie hoofdstuk 3). Metingen geven echter aan dat het water in het reservoir wordt opgenomen in een natuurlijk netwerk van bestaande scheuren in het Zechstein carbonaat. Dit betekent dat injectie vooralsnog niet plaatsvindt onder “fracturing” condities.

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 opslag capaciteit. Om accurate modellering te verkrijgen en te behouden dienen deze parameters voor en tijdens injectie nauwgezet gemeten te worden. Aan de hand van de verzamelde injectiegegevens wordt de modellering geëvalueerd en gekalibreerd. De resultaten van deze evaluatie worden met het bevoegd gezag gedeeld. Het evaluatiemoment heeft, zoals overeengekomen, na 6 jaar van injectie plaatsgevonden [6]. 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 [5], omdat deze putten met een relatief klein reservoir volume 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. In de toekomst wordt een 6-jarlijks evaluatiemoment voorzien, zie ook Tabel 1.

In de navolgende secties zullen de druklimieten ter waarborging van de integriteit van de bovenlaag, monitoring en operatie van de water injectie, kalibratie van de modellering, kwaliteitsborging en rapportage aan het bevoegd gezag tijdens injectie besproken worden.

3. Integriteit van afsluitende bovenlaag: druklimieten

De verwachting was dat injectie van injectiewater in de gasreservoirs zou plaatsvinden onder “fracturing” condities. Tijdens injectie wordt het water met een zodanige druk geïnjecteerd dat de ondergrondse putdruk (ter hoogte van het reservoir) hoger is dan de minimale totale horizontale spanning in het injectie reservoir. Als gevolg worden er in het injectie reservoir lokaal scheuren gecreëerd die de injectie van water in het reservoir bevorderen. Echter, om ervoor te zorgen dat het water in het injectie reservoir blijft, mag de ondergrondse druk niet hoger worden dan de minimale totale horizontale spanning van de afsluitende bovenlaag. Hiertoe zijn bovengrondse druklimieten berekend op basis van de formatiesterkte in deze afsluitende bovenlagen, zie Tabel 1. In deze druklimieten is een veiligheidsmarge opgenomen. Voor de ROW en TUB velden is deze veiligheidsmarge 10% terwijl deze voor het TUM veld 20% is. De reden voor een kleinere veiligheidsmarge in de TUB en ROW velden is dat de formatiesterkte van de afsluitende bovenlaag in deze velden met een grotere nauwkeurigheid bekend is dan in het TUM veld. Indien de pompdruk de in Tabel 1 genoemde druklimieten bereikt zal de pomp automatisch afgezet worden.

Modellering van injectie van water in de Twente injectie reservoirs is uitgevoerd om de injectiedrukken uit te rekenen die nodig zullen zijn voor de geplande injectiedebieten. De maximaal verwachte injectiedrukken zijn per put gegeven in Tabel 1 samen met de maximaal geplande injectiedebieten. De modellering is gebaseerd op metingen van de waterkwaliteit en van de formatiesterktes van het injectie reservoir en de afsluitende bovenlaag. Deze tabel laat zien dat de verwachte maximale injectiedrukken lager zijn dan de druklimieten die dienen ter waarborging van de integriteit van de afsluitende bovenlaag.

Sinds de start van water injectie in 2011 zijn meerdere injectiviteitstesten (“Step-Rate Tests”, SRT) uitgevoerd. Deze geven duidelijke aanwijzingen dat het water in het reservoir wordt opgenomen in een natuurlijk netwerk van bestaande scheuren in het Zechstein carbonaat. Dit betekent dat injectie plaatsvindt onder een lagere druk dan de verwachte maximale injectiedrukken waarbij “fracturing” van het gesteente zou plaatsvinden.

Tabel 1: Bovengrondse druklimieten voor water injectie putten.

Put	Reservoir Diepte (m)	Druk-limiet (bar)	Veiligheids-marge	Maximale verwachte injectiedruk (bar)	Maximaal gepland Injectiedebiet (m ³ /d)	Evaluatie-moment * [5], [6]	Volgende Evaluatie-moment *
TUM-1**	1598	59	20%	27	346	2017	nvt
TUM-2**	1649	62	20%	56	100	2017	nvt
TUM-3**	1614	61	20%	50	100	2017	nvt
ROW-2	1083	115	10%	75	2000	2017	2023
ROW-3**	1692	180	10%	106	1500	2014, 2017	2023
ROW-4	1232	131	10%	85	2500	2014, 2017	2023
ROW-5	1163	124	10%	51	2500	2017	2023
ROW-7	1125	119	10%	45	1800	2014	2020
ROW-9**	1310	139	10%	106	1350	2014	2020
TUB-7***	1312	139	10%	48	2250	2014	2020
TUB-10**	1412	150	10%	86	2000	2014	2020

* tijdens het evaluatiemoment worden de resultaten gedeeld met het bevoegd gezag.

** Niet in gebruik sinds medio 2015.

*** Niet in gebruik sinds augustus 2014.

4. Monitoring en operatie van water injectie

Tijdens waterinjectie dienen een aantal parameters frequent gemonitord en gemeten te worden. Onderstaande Tabel 2 laat zien welke parameters dit zijn en met welke frequentie dit gebeurt. Tevens worden de (mogelijke) acties beschreven 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.

Tabel 2: Overzicht van surveillance activiteiten en testen die uitgevoerd worden tijdens water injectie

Activiteit	Frequentie	(Mogelijke) follow-up
Meting van Injectiedebiet en –druk ¹	Dagelijks	Vergelijking met en handhaving van druklimieten Kalibratie van modellering
Analyse van Waterkwaliteit/ samenstelling ²	1/week (beknopte analyse), 1/maand (uitgebreide analyse)	Aanpassing waterbehandeling op OBI Kalibratie van modellering
Meting van reservoir druk ³	1/jaar	Kalibratie van modellering
Meting van bodem put ³	1/jaar	Uitdiepen van de put
Caliper Injectie buis ³⁻⁴	1/jaar	Vervangen van injectiebuis
Caliper diepe verbuizing onder de packer ⁴⁻⁵	1/5jaar	Indien onregelmatigheid wordt waargenomen dan volgt verder onderzoek (zoals T-logging en/of CBL)
Injectiviteitstesten ⁶	1/jaar, opgeschort	Zuurstimulatie Kalibratie van modellering
Fall-off testen ⁶	1/jaar, opgeschort	Kalibratie van modellering
Analyse van hoeveelheid toegevoegde mijnbouwhulpstoffen	Continu	Aanpassen injectie mijnbouwhulpstoffen
Meting van annulaire drukken	Continu	Aflaten druk om maximaal toegestane druk te handhaven Herstelwerkzaamheden
Inspectie en onderhoud van putrand en spuitkruis	1/jaar	Herstelwerkzaamheden
Inspectie van de integriteit van boorgatverbuizing en annulaire ruimtes	1/jaar	Herstelwerkzaamheden
Locatiebezoek van operators voor visuele inspectie	1/week aan locaties met actieve injectoren, 1/maand aan locaties met ingesloten injectoren	Handmatig ingrijpen, herstelwerkzaamheden
Meting van seismiciteit met netwerk van geofoons en accelerometers ⁷	Continu	Opvolging in overeenstemming met seismisch protocol Kleine Velden [8]. (zonodig herzien van modellen en nemen van mitigerende maatregelen).
Satelliet (InSar) metingen van bodemniveau ⁸	1/jaar	Nader onderzoek indien coherente afwijkingen worden waargenomen van meer dan 2 centimeter.
Monitoring van grondwater rond putlocaties d.m.v. peilbuizen ⁹	Jaarlijkse bemonstering en analyse	Bijwerken van de opgestelde bodemrisicoanalyse

Aantekeningen bij Tabel 2:

1. De injectiedrukken en –debieten per individuele put worden dagelijks 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 Sectie 3. De druklimieten corresponderen met de minimale totale horizontale spanning van de afsluitende bovenlaag van het reservoir inclusief een 10% veiligheidsmarge voor de ROW en TUB velden, en 20% veiligheidsmarge voor het TUM veld (zie ook Tabel 1). Voor de ROW en TUB velden is een kleinere veiligheidsmarge gekozen dan voor het TUM veld omdat de formatiesterkte van de afsluitende bovenlaag in de ROW en TUB velden met een grotere nauwkeurigheid bekend is dan in het TUM veld. 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.
2. Tijdens injectie wordt de kwaliteit van het injectie water regelmatig gecontroleerd om erop toe te zien dat de concentratie van de in de vloeistof zwevende vaste stof deeltjes beneden de vereiste specificatie van 100 mg/l blijft. Mocht de specificatie van 100 mg/l overschreden worden, dan dient de waterbehandeling op de OBI aangepast te worden. De waterkwaliteit controle gebeurt wekelijks op een beperkt aantal componenten en één keer per maand vindt een uitgebreide analyse plaats. De monsternames en analyses worden uitgevoerd onder verantwoordelijkheid van het NAM laboratorium. De volgende componenten worden gemeten:
 - oliegehalte
 - zout, aromaten, zware metalen
 - indicatie samenstelling neerslagproducten
 - droge stof gehalte

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.

3. Eens per jaar worden de reservoir druk, de bodem van de put en de wanddikte van de injectiebuis gemeten. De bodem van de put kan omhoog komen doordat vaste stoffen (zoals zand) onder in de put accumuleren. 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 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. 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. De jaarlijkse meting van reservoir druk wordt verkregen middels een SPG (Static Pressure Gradient) – survey, d.w.z. een meting terwijl er geen water geïnjecteerd wordt, tenzij expliciet anders vermeld.
4. 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. 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), is in het verleden ook gebruik gemaakt van een electromagnetisch meetinstrument voor het bepalen van de caliper van de diepe verbuizing. Een handelsnaam van dienstverlener Schlumberger voor dit meetinstrument is EMIT. De meting van de caliper van de injectiebuis wordt jaarlijks uitgevoerd in de actieve waterinjectieputten.
5. De 5-jaarlijkse frequentie van de caliper meting van de diepe verbuizing wordt aangehouden op grond van eerdere caliper resultaten gemeten in 2013 en 2015, die geen verschil laten zien in wanddikte. Gezien dit feit en de al lange levensduur van de injectieverbuizing in de injectieputten (meer dan 30 jaar), wordt een 5-jaarlijkse frequentie voorgesteld. Met toekomstige resultaten wordt de frequentie opnieuw geëvalueerd.

De laatste meting van de caliper van de diepe verbuizing in de actieve waterinjectieputten is uitgevoerd in 2015. Het eerstvolgende meetmoment zal daarom in 2020 zijn.

6. Aangezien er momenteel in geen enkele injectieput onder “fracturing” condities wordt geïnjecteerd, zijn de jaarlijkse injectiviteitstesten en fall-off 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.

De injectiedrukken en -debieten worden dagelijks vergeleken met de drukken die berekend zijn met modellering. 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 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 gevormde scheuren in het reservoir gesteente langzaam verstopt raken. Mocht dit het geval zijn dan wordt er een zuurstimulatie uitgevoerd (HCI). 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 water injectie 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).

7. Er zijn nog nooit aardbevingen geregistreerd in of nabij de injectie reservoirs in Twente. Er is momenteel een netwerk van 9 geofonstations 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 Management Plan voor kleine velden [8]. 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 water injectie.
8. 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 water injectie, zal de inzet van mitigerende maatregelen worden beoordeeld.
9. Het grondwater wordt jaarlijks bemonsterd en geanalyseerd door een instelling die daartoe is erkend op grond van het Besluit Bodemkwaliteit; de analyseresultaten 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.

5. Kalibratie van modellering

Gedurende de water injectie 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. De tweede groep bestaat uit metingen van de reservoir druk, de bodem van de put en injectiviteits- en fall-off testen.

De eerste groep data wordt op een dagelijkse dan wel 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 data wordt jaarlijks verkregen en wordt (samen met de eerste groep data) gebruikt om het water injectie model jaarlijks te evalueren. Wanneer voldoende data beschikbaar is kan het model hiermee gekalibreerd worden. Regelmatige kalibratie is met name belangrijk wanneer onder “fracturing” condities wordt geïnjecteerd. Dit is vooralsnog in geen van de huidige injectieputten het geval. 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 afchatting 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 water injectie 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.

De reservoir druk wordt bepaald door de injectie te stoppen en vervolgens een drukketer aan een stalen kabel, “wireline” genoemd, in de put af te laten. Deze 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 derhalve groter zijn. De reservoir druk in combinatie met de cumulatieve hoeveelheid geïnjecteerd water is derhalve een belangrijke parameter voor de kalibratie van het injectie model. In de huidige injectieputten is de vullingsgraad dusdanig laag dat er onvoldoende data beschikbaar is voor een gefundeerde kalibratie van het injectiemodel. Om vulling binnen de vergunde druk- en volumelimieten te waarborgen is NAM voornemens om het injectiemodel te kalibreren bij het eerstvolgende evaluatiemoment zoals omschreven in Tabel 1.

6. Kwaliteitsborging

Bij de NAM is milieuzorg volledig geïntegreerd in het bedrijfsvoeringssysteem. Het bedrijfsvoeringssysteem is voornamelijk gericht op de aantoonbare beheersing van de bedrijfsprocessen. Voor elk bedrijfsproces is een op risico's (waaronder risico's voor het milieu) gebaseerd raamwerk van beheersmaatregelen opgesteld (Process Management System). Voor elk proces is een proces eigenaar benoemd, die intern de naleving van de betreffende regelgeving bewaakt.

Het milieuzorgsysteem van de NAM is sinds 1996 gecertificeerd volgens de norm NEN-EN ISO 14001. 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 water injectie, 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.

6.1 Interne audits en reviews

Bij interne audits wordt nagegaan of het bedrijfsvoeringssysteem werkt zoals het bedoeld is. Deze periodieke controle vindt plaats door:

- Systeemaudits door Shell Internal Audit met betrokkenheid van de NAM op bijvoorbeeld de EPBM processen EP18 Manage Geomatics (inclusief water injectie in voormalige gas reservoirs), EP.73 (Well & Reservoir Surveillance) en ASS.04.01 (Analyse asset performance and integrity).
- 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 water injectie systeem door teams, die andere water injectie systemen binnen NAM aansturen. Met betrekking tot de verificatie van de water injectie modellen wordt opgemerkt dat hierin ook Shell Research als expertise centrum wordt betrokken.
- Interne ISO-14001 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.

6.2 Externe audits

Externe audits worden door onafhankelijke en gekwalificeerde instellingen uitgevoerd. Deze audits vinden plaats in het kader van ISO 14001 en in het kader van de toezichthoudende taak door SodM.

Om het ISO 14001 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.

Binnen NAM wordt gebruik gemaakt van de "Corporate Audit findings and follow up database (Fountain)". Deze database is in het beheer bij de Governance, Risk and Assurance afdeling. In dit systeem worden de volgende kwaliteitsregistraties geregistreerd:

- Audit (meer)jarenplan EP Europe
- Overzicht correctieve en preventieve acties n.a.v. audits

7. Rapportage

Jaarlijks worden de data, zoals gegeven in Tabel 3, per put gerapporteerd aan het bevoegd gezag. Deze data bestaan uit de geplande injectieparameters (weergegeven in de groene balken) vergeleken met de actuele parameters. Indien er bijzondere ontwikkelingen zijn, zullen deze bij de tabel gevoegd worden.

Tabel 3 geeft de data voor de eerste 10 jaar. Echter, dit is enkel ter illustratie. Wanneer de injectie op de betreffende put langer dan 10jaar duurt, zal de tabel uitgebreid worden om zodoende de injectie data over de gehele levensduur weer te geven.

In het verleden werd in deze tabel data per injectiejaar (jaar 1, jaar 2, enz.) gerapporteerd. Dit heeft echter in enkele gevallen tot verwarring en incorrect gerapporteerde data geleid. Daarom zal deze tabel vanaf 2018 jaartallen bevatten om verwarring te voorkomen. Tevens is in de zomer van 2018 een uitgebreide check gedaan op reeds gerapporteerde data, correcties worden meegenomen in het jaarrapport over 2018.

Tabel 3: Data die jaarlijks aan het bevoegd gezag gerapporteerd zullen worden.

	Voor aanvang gasproductie	Bij aanvang waterinjectie	Jaar	Jaar	Jaar	Jaar	Jaar	Jaar	Jaar	Jaar	Jaar	Jaar	Jaar	Uiteindelijke situatie
			2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020		
Actuele pompdruk	bar													
Pompdruklimiet	bar													
Actuele reservoir druk (@datum)	bar													
Verwachte reservoirdruk aan einde injectiejaar	bar													
Gemiddelde injectiedebiet	m ³ /d													
Verwachte maximale injectiedebiet	m ³ /d													
Cumulatief geïnjecteerd volume aan einde injectiejaar	mln m ³													
Verwachte cumulatief geïnjecteerd volume aan einde injectiejaar	mln m ³													
Opslag capaciteit reservoir	mln m ³													
Actuele vullingsgraad	%													
Verwachte uiteindelijke vullingsgraad	%													

De resultaten van de andere monitoring en surveillance activiteiten die vermeld zijn in Tabel 2 zullen alleen in de jaarlijkse rapportage besproken worden als daar aanleiding toe is, in geval van afwijkingen van de normale situatie.

8. 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
WMP	Waterinjectie Management Plan

9. Referenties

- [1] Nederlandse Aardolie Maatschappij, "Water Injectie Management Plan," 2009, EP200907301803.
- [2] Nederlandse Aardolie Maatschappij, "Concept Addendum Waterinjectie Management Plan," 2015, EP201504208558.
- [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," Maart 2017, EP201503228132.
- [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] Staatstoezicht op de Mijnen, "Actualisatie waterinjectieplan n.a.v. 6 jaarlijkse evaluatie en risicoanalyse," Kenmerk 17167141, 2 juli 2018.
- [8] Nederlandse Aardolie Maatschappij, "Seismisch Risico voor "Kleine Velden"," EP201712203519.