

November 2016



Report: EP201503228132

NAM

Nederlandse Aardolie Maatschappij

Overkoepelende Analyse Ondergrondse Risico's 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

Samenvatting.....	3
1. Introductie.....	5
2. Vrijkomen van injectiewater als gevolg van zoutoplossing	6
3. Geïnduceerde bevingen als gevolg van waterinjectie	10
4. Reservoir integriteit	12
5. Conclusies	14
6. Referenties.....	15
7. Appendices	16

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.

Samenvatting

In dit rapport wordt een analyse gepresenteerd van de belangrijkste ondergrondse risico's die geassocieerd zijn met waterinjectie in oude (leeggeproduceerde) gasvelden in Twente. Het betreft hier het risico op het vrijkomen van injectiewater als gevolg van het oplossen van de afdekkende steenzoutlagen en het risico voor bodembewegingen/-trillingen.

Het productiewater dat vrijkomt bij de oliewinning in Schoonebeek wordt geïnjecteerd in de diepe ondergrond in een drietal leeg geproduceerde gasvelden (Tubbergen-Mander, Tubbergen en Rossum-Weerselo) in Twente. De injectie is begonnen in januari 2011. Actueel wordt ca. 3000 m³/d water geïnjecteerd in het Rossum-Weerselo veld. Volgens de originele planning werd verwacht dat nu 12.500 m³/d geïnjecteerd zou worden in alle drie velden.

Risico analyse onderdeel van vergunning

Voor aanvang van dit project is een risicoanalyse als onderdeel van de Milieu Effect Rapportage (MER) uitgevoerd. In de MER is aandacht besteed aan de twee hoofdrisico's:

- [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 injectiewater en/of bodemdaling.
- [2] 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, zolang de gemiddelde reservoir druk beneden de oorspronkelijke reservoirdruk blijft, er ook geen bodemdaling of trillingen als gevolg van waterinjectie worden verwacht.

Het risico management voor dit project is vastgelegd in een Waterinjectie Management Plan, dat onderdeel uitmaakt van de verleende vergunning. Hierin is een uitgebreid inspectie- en controleprogramma vastgelegd. De resultaten van de inspectieprogramma's moeten op jaarlijkse basis gedeeld worden met het bevoegd gezag en de toezichthouder (Staatstoezicht van de Mijnen).

Internationale deskundigheid

Om hierover aanvullend inzicht te verkrijgen is op verzoek van Staatstoezicht op de Mijnen (SodM) besloten een uitgebreidere set onderzoeken te doen. 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 dat de waterinjectie in de ondergrond van Twente veilig en verantwoord kan gebeuren, mits aan een aantal monitoring en inspectie voorwaarden wordt voldaan.

Beheersmaatregelen

De risicoanalyse rond het mogelijk oplossen van de afdekkende zoutlagen bevestigt dat de in de vergunning en het Waterinjectie Management Plan vastgelegde beheersmaatregelen 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. Eveneens zijn er 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 bevestigt 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 zeer klein ingeschat wordt, hetgeen in lijn is met de observatie dat gedurende de 55 jaar van gasproductie en gedurende de eerste 4 jaar van waterinjectie geen enkele beving is geregistreerd in dit gebied. Desondanks heeft NAM in overleg met SodM preventief een aantal extra beheersmaatregelen geïmplementeerd. Dit betreft een uitbreiding van het bestaande KNMI gefoonnetwerk met 7 extra meetpunten en daaraan geassocieerd de installatie van een accelerometernetwerk. Deze twee netwerken leiden tot een verbeterde locatiebepaling van eventuele bevingen in Twente en meten eveneens de daaraan geassocieerde grondversnellingen. Beide meetnetwerken liggen ook ten grondslag aan het seismisch risico- en responsplan dat de acties beschrijft die genomen zullen worden indien zich onverhoopt toch een beving voordoet. Dit responsprotocol is als addendum toegevoegd aan het vigerende Water Injectie Management Plan.

De analyse van het risico van geochemische incompatibiliteit bevestigt dat water injectie veilig en verantwoord kan plaatsvinden met de preventieve en reactieve beheersmaatregelen geïmplementeerd in het water injectie management plan.

In een recente brief aan de Tweede Kamer (Injectie van productiewater bij olie- en gaswinning, Kamerbrief Minister van Economische Zaken, DGETM-EM / 15020314) heeft de Minister van Economische Zaken bevestigd 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.

1. Inleiding

Het productiewater dat vrijkomt bij de oliewinning in Schoonebeek wordt geïnjecteerd in de diepe ondergrond in een drietal leeggeproduceerde gasvelden in Twente (Tubbergen-Mander, Tubbergen en Rossum-Weerselo). De waterinjectie is begonnen in januari 2011. Actueel wordt ca 3000 m³/d water geïnjecteerd in het Rossum-Weerselo veld. Volgens de originele planning werd verwacht dat nu 12.500 m³/d geïnjecteerd zou worden in alle drie velden.

Voor aanvang van dit project is een risicoanalyse als onderdeel van de Milieu Effect Rapportage (MER) uitgevoerd. In de MER is aandacht besteed aan de twee hoofdrisicos die betrekking hebben op de diepe ondergrond:

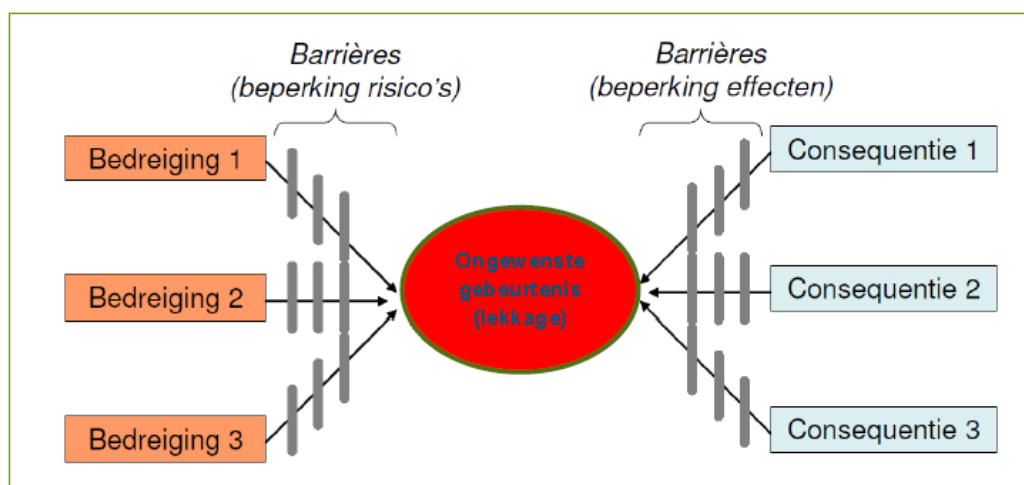
- [1] het mogelijk oplossen van de afdekkende steenzoutlaag indien deze laag in aanraking zou komen met het injectiewater wat zou kunnen leiden tot het vrijkomen van injectie water en/of bodemdaling.
- [2] effecten van bodembewegingen (daling en trillingen) indien water geïnjecteerd wordt.

De MER concludeert dat deze zoutlagen niet of nauwelijks zullen oplossen in het injectiewater en dat, zolang de gemiddelde reservoir druk beneden de oorspronkelijke reservoirdruk blijft, er dan ook geen bodemdaling of trillingen als gevolg van waterinjectie worden verwacht.

Om hierover aanvullend inzicht te verkrijgen is op verzoek van Staatstoezicht op de Mijnen (SodM) besloten een uitgebreidere set onderzoeken te doen. 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 dat de waterinjectie in de ondergrond van Twente veilig en verantwoord kan gebeuren, mits aan een aantal monitoring en inspectie voorwaarden wordt voldaan (Ref 10). Deze monitoring en inspectie activiteiten zijn reeds opgenomen in het Water Injectie Management Plan (Ref 5 en 7) en geoperationaliseerd.

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 rapport ligt nu voor. Hierin zijn de resultaten en review commentaren van de onderzoeken samengevat in een overkoepelende analyse van de ondergrondse risico's geassocieerd met waterinjectie in Twente.

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 echt plaatsvindt door middel van preventieve maatregelen (links), en dat de gevolgen van een gebeurtenis zoveel mogelijk beperkt worden door middel van reactieve maatregelen (rechts).



Figuur 1: Bow tie methodiek voor risico analyse

2. 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 ruim 1000 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.

Het injectiewater is zout, maar niet verzadigd met zout. Het oplossen van de afdichtende steenzout laag is een risico dat zou kunnen leiden tot de verspreiding van het injectiewater. 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 bow-tie analyse is primair ontwikkeld voor Tubbergen-Mander, Tubbergen en Rossum-Weerselo, maar is ook toepasbaar op andere Zechstein carbonaat velden bijvoorbeeld in Drenthe.

De mogelijke risico's 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 risico's linksonder zijn geassocieerd met mogelijke oplossing van zout in het reservoir verder van de injectieput vandaan.

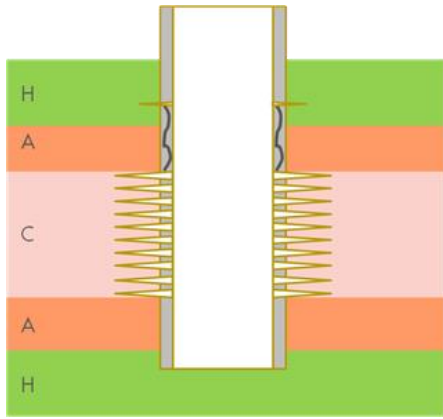
Op basis van uitgebreide modelleringen is aangetoond dat zoutoplossing alleen waarschijnlijk is als tegelijkertijd aan twee zeer specifieke condities voldaan wordt (Ref 1):

- [1] het (niet zout verzadigd) 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.

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 in het productiewater 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 gaat in Twente de diepe ondergrond in als injectiewater. 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.

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. Dichtbij de put ('near-wellbore') (risico's linksboven in de bow-tie van Appendix 1 en Figuur 2) 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 duidelijke 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.



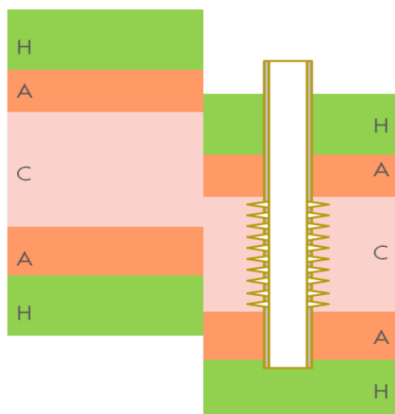
Figuur 2: Schematische weergave van een theoretisch scenario waarbij dichtbij de put injectie water in contact zou kunnen komen met het Steenzout of Halië (H): via injectie in het Carbonaat (C), waarna het via mogelijke scheurtjes (blauwe lijntjes) in slechte kwaliteit cement rondom de verbuizing langs de Anhydrietlaag (A) en het Halië stroomt, dan wel via een lek in de verbuizing op diepte van het Halië (rode spitse punten in laag H), waarna het weglekt naar het Carbonaat

Een primaire barrière is het controleren van de druk waarmee het water in het reservoir gepompt wordt. Hiervoor is in de Waterinjectievergunning voor iedere injectieput een maximale pomp druk tijdens injectie afgesproken waarbij wordt voorkomen dat de kans op mogelijke scheurvorming in de onder en bovenliggende afdichtende anhydrietlagen sterk gereduceerd wordt. Bovendien wordt ervoor gezorgd dat de gemiddelde druk in het reservoir niet boven de oorspronkelijke reservoirdruk uitkomt. 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. Dergelijke inspecties (calliper, temperatuur en CBL logs) zijn een integraal onderdeel van het Waterinjectie Management Plan voor de injectievelden (Ref 5). De resultaten van de inspectieprogramma's moeten op jaarlijkse basis gedeeld worden met het bevoegd gezag en de toezichthouder (Staatstoezicht van de Mijnen).

Mocht er onverhoopt toch injectiewater onder druk langs de verbuizing naar boven komen, dan zal dit niet direct in contact komen met grondwater. Tussen het injectiereservoir en het grondwaterniveau zit een gesteentepakket van 800-1600 meter dik waarin zich meerdere goed afdichtende kleisteenlagen bevinden die elk op zich het omhoog stromen zullen tegengaan.

2. Op afstand van de put ('far-field') (risico's linksonder in de bow-tie van Appendix 1 en Figuur 3)

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). Deze 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 denkbaar waarbij het injectiewater in contact zou kunnen komen met het steenzout (zie Figuur 3) 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 m³/d gedurende 20 jaar (cumulatief geïnjecteerd volume van 15 mln m³) 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.



Figuur 3: Als de carbonaat laag (C) op afstand van de put door verschuiving langs de breuk in diepte overlapt met het halië (H) zou injectiewater in direct contact met het Halië kunnen komen

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). De eigenschappen van het reservoir zijn 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. De beperkte verticale stroming maakt dat verdere oplossing door convectie, als het al op zou kunnen treden, ook zeer langzaam verloopt (Ref 1). Mede om deze redenen is in de Twente MER en het Waterinjectie Management Plan (Ref 5) geconcludeerd dat de kans op zoutoplossing verwaarloosbaar is en derhalve ook geen bodemdaling op zal gaan treden door dit proces.

Mocht er, ondanks alle preventieve omstandigheden en maatregelen, toch zoutoplossing plaatsvinden, bijvoorbeeld bij een put of bij een breuk, dan is het praktisch onmogelijk dat er een holte or "caverne" kan ontstaan. Op de diepte van de injectiereservoirs in Twente is het steenzout plastisch. De druk in het plastische zout is altijd hoger dan de druk in het injectiewater. Indien er een holte zou ontstaan zou deze snel gevuld worden door zout kruip. Door het plastische gedrag kan zout toestromen uit een uitgestrekt gebied, waardoor er geen lokale verzakkingen verwacht worden en de afdekkende werking van het zout intact blijft. 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 geen sprake zal zijn van zeer lokale, dicht aan het oppervlakte veroorzaakte, verzakkingen.

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."

Als beschermende maatregel wordt het gebied boven de injectievelden regelmatig op bodembeweging gecontroleerd. Als er door waterinjectie al bodemdaling zou optreden zijn dit bewegingen die gelijkmatig en zeer geleidelijk plaatsvinden en geen aanleiding geven tot schade aan infrastructuur of bebouwing. Direct bij de waterinjectieputten zullen de regelmatige metingen een vroegtijdige indicatie geven van mogelijke onregelmatigheden. Onverwachte drukken, veranderingen in de wanddikte van de ondergrondse verbuizing, temperatuur variaties in de putten zijn allemaal signalen die aangeven dat er mogelijk iets aan de hand is. In dat geval zal in eerste instantie de waterinjectie in de put terug genomen of zelfs helemaal gestopt worden. Vervolgens wordt een uitgebreide inspectie uitgevoerd die mogelijk zou kunnen leiden tot reparatie of, in een extreem geval, het permanent insluiten en abandonneren van de put.

In een recente brief naar de Tweede Kamer heeft de Minister van Economische Zaken (Ref 6, Appendix 3) bevestigd dat zowel op het vlak van injectiewaterlekkage als ook bodemdaling er een uitgebreid en afdoende monitoring programma is geïmplementeerd dat door toezicht van SodM binnen het vergunningskader voldoende waarborgen geeft voor Veiligheid en Milieu.

3. Geïnduceerde bevingen als gevolg van waterinjectie

Aardbevingen of trillingen kunnen ontstaan door spanningsveranderingen door productie of injectie in de diepe ondergrond. Vooral nabij bestaande breukzones kunnen er toe leiden, dat gesteentelagen ten opzichte van elkaar bewegen, wat wordt aangeduid als re-activatie van de breukzone. De bewegende gesteentelagen kunnen trillingen of aardbevingen veroorzaken.

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.

In de MER is aandacht besteed aan de effecten van bodembewegingen (daling en trillingen) indien water geïnjecteerd wordt. De MER concludeert 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 4 jaar waterinjectie in Twente niet tot bodembewegingen heeft geleid is in overeenstemming met de conclusies uit de MER.

De risicoanalyse die is uitgevoerd (Ref 4) gaat in op de belangrijkste factoren in de ondergrond die mogelijk 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 de conclusie van de MER dat het zeer onwaarschijnlijk is dat aardbevingen zich in Twente in de toekomst zullen voordoen. In het huidige rapport wordt deze conclusie onderbouwd aan de hand van de volgende inzichten:

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 (en dus ook Twente) 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.

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 4 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 spanningsstaat bevinden. Een andere factor is dat bovenstaand risico mogelijk hoger wordt 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.

Een derde factor die mogelijk van belang is, is het temperatuurverschil tussen het injectiewater en de reservoir temperatuur. Als dit temperatuurverschil groot is, zou het koude water mogelijk tot spanningssituaties in het reservoir kunnen leiden, wat breuken instabiel zou kunnen maken. Analyse van deze factor heeft echter aangetoond dat het te verwachten temperatuurverschil in het geval van de Twente velden (20 °C injectie water in 55°C reservoir), te klein is om een grote invloed te hebben op spanningsveranderingen op de breukvlakken en derhalve geen risico oplevert.

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 accuratesse 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 accuratesse is belangrijk om NAM's seismisch risico management plan effectief uit te kunnen voeren.

Het NAM rapport over aardbeving risico (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”

Inmiddels heeft NAM 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).

Eventuele metingen met dit gefoonnetwerk zijn gekoppeld aan het seismisch risico management systeem dat als addendum in het Waterinjectie Management Plan voor de waterinjectie in Twente is toegevoegd (Ref 9). Dit risico management plan koppelt mogelijke observaties (lees: geregistreeerde bevingen) aan beschermende maatregelen (Fig. 4).

Het op voorhand vaststellen wat, in het geval van een beving, mogelijke waarneembaar is aan de oppervlakte is zeer moeilijk omdat er voor dit gebied geen seimische waarnemingen zijn. Pas op het moment dat een beving optreedt zou die vergeleken kunnen worden met op dat moment beschikbare ‘Ground Motion Prediction Equations (GMPE)’ om op basis daarvan een betere risicoanalyse te doen met betrekking tot schade en veiligheid.

Code Groen	$M \leq 1,5$	Injectie wordt voortgezet volgens plan
Code Geel	$1,5 < M \leq 2,5$	Injectie wordt voortgezet volgens plan. De door de gefoons en accelerometers gemeten seismiciteit wordt geanalyseerd en vergeleken met de op dat moment beschikbare ‘Ground Motion Prediction Equations (GMPE)’. Indien nodig wordt de GMPE aangepast, waarna met SodM wordt besproken of de magnitudes die de grenswaarden vormen voor deze categorie kunnen worden verhoogd. Mogelijk volgt hieruit dat ook de magnitudes die de grenswaarde vormen van code oranje en code rood worden verhoogd.
Code Oranje	$2,5 < M \leq 3,0$	De put die het dichtst bij de locatie ligt waar de activiteit is waargenomen wordt ingesloten. De gegevens worden geanalyseerd en gedeeld met SodM. In overleg met SodM wordt besloten of de water injectie in de put die het dichtst bij de locatie ligt waar de activiteit is waargenomen moet worden verminderd.
Code Rood	$M > 3,0$	De put die het dichtst bij de locatie ligt waar de activiteit is waargenomen wordt ingesloten. Te nemen maatregelen, zoals bijv. het controleren van de put integriteit en de proces installatie, worden besproken met SodM.

Figuur 4. Seismisch risico en respons protocol voor Twente Waterinjectie

In een recente brief naar de Tweede Kamer heeft de Minister van Economische Zaken (Ref 6, Appendix 3) bevestigd dat op het vlak van bevingen er een uitgebreid en afdoende monitoring programma is geïmplementeerd dat door toezicht van SodM binnen het vergunningskader voldoende waarborgen geeft voor Veiligheid en Milieu.

4. Reservoir integriteit

Reservoir integriteit gaat over de manier waarop en mate waarin water injectie kan leiden tot veranderingen in het reservoir gesteente en de mogelijke gevolgen van deze veranderingen. Hieronder wordt verstaan aantasting door:

- Chemische reacties
- Mechanische veranderingen
- Temperatuur

Deze risico analyse heeft betrekking op de integriteit van het Zechstein kalksteen reservoir. De risico analyse omtrent de integriteit van de afdekkende zoutlagen staat omschreven in hoofdstuk 1.

Chemische reacties

Wanneer het injectiewater of de mijnbouwhulpstoffen daarin chemisch niet compatibel zijn met het reservoir gesteente 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 reservoir gesteente 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, 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 11).

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 reservoir gesteente (Ref 11). Ook de pH van het injectiewater is zodanig hoog dat het Zechstein reservoir gesteente 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 gesteente poriën 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 11). Mogelijkerwijs kunnen kleine hoeveelheden bariumsulfaat neergeslagen worden. Dit is te voorkomen door een antibarium-sulfaataanslagmoeistof toe te passen.

Tevens zijn de in het injectiewater voorkomende mijnbouwhulpstoffen onderzocht met betrekking tot chemische interactie met het Zechstein reservoir gesteente en formatiewater (Ref 11). De mijnbouwhulpstoffen zijn bedrijfsmatig ontwikkeld, waarbij alleen de leverancier de precieze samenstelling kent. Hoewel NAM de precieze samenstelling niet kent moet het wel duidelijk zijn dat de stoffen niet gevaarlijk zijn voor het gebruik. Aan de hand van risico-kaarten beschrijft de leverancier 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 reservoir gesteente en formatie water. De meeste mijnbouwhulpstoffen zijn niet reactief. Ze hechten zich bijvoorbeeld aan materialen en zorgen zodoende voor een beschermende laag. De H₂S binder is wel reactief met H₂S, maar de reactie producten die in het injectiewater voorkomen zijn niet reactief. De zuurstof binder kan aanslag vormen met componenten in het formatie water, maar het hoeveelheden zijn dusdanig klein dat het verwachte effect verwaarloosbaar is. De mijnbouwhulpstoffen hebben geen impact op het Zechstein reservoir gesteente 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 selectie proces.

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. Conform het waterinjectie management plan (Ref 5) worden injectiedrukken regelmatig geëvalueerd. 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 controle kamer de injectie stop gezet 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 4).

De analyse van het risico van geochemische incompatibiliteit bevestigt dat water injectie veilig en verantwoord kan plaatsvinden met de preventieve en reactieve beheersmaatregelen geïmplementeerd in het water injectie management plan.

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 condities in de Twente en Drenthe Zechstein velden 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 zout lagen 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 druk limit gesteld op de injectie pompen (zie hoofdstuk 1). Tevens wordt niet geïnjecteerd in of dichtbij breuken om het risico op aardbevingen te minimaliseren (zie hoofdstuk 2).

Temperatuur

Het is een bekend gegeven in de literatuur, dat injecteren van koud water in warme reservoirs kan leiden tot thermische scheuren van het reservoir gesteente. Injectie onder “fracture condities” zoals hierboven beschreven vindt dan plaats op een lagere injectiedruk dan normaal verwacht zou worden. In het geval van de waterinjectie in de Zechstein kalksteen velden kan dit effect optreden op momenten van hoge injectiesnelheid. Zoals boven beschreven is het niet de verwachting dat injectie onder “fracture condities” plaats zal vinden. Desalniettemin zijn de relevante beheersmaatregelen in Twente geïmplementeerd.

5. Conclusies

In dit rapport wordt een analyse gepresenteerd van de belangrijkste ondergrondse risico's die geassocieerd zijn met waterinjectie in oude (leeggeproduceerde) gasvelden in Twente.

Voor aanvang van dit project is een uitgebreide risicoanalyse als onderdeel van de Milieu Effect Rapportage (MER) uitgevoerd. In de MER is aandacht besteed aan de twee hoofdrisico's:

[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.

[2] 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, zolang de gemiddelde reservoir druk beneden de oorspronkelijke reservoirdruk blijft, er dan ook geen bodemdaling of trillingen als gevolg van waterinjectie worden verwacht.

Het risico management voor dit project is vastgelegd in een Waterinjectie Management Plan, dat onderdeel uitmaakt van de verleende vergunning. Hierin is een uitgebreid inspectie- en controleprogramma vastgelegd. De resultaten van de inspectieprogramma's moeten op jaarlijkse basis gedeeld worden met het bevoegd gezag en de toezichthouder (Staatstoezicht van de Mijnen).

Om hierover aanvullend inzicht te verkrijgen is op verzoek van Staatstoezicht op de Mijnen (SodM) besloten een uitgebreidere set onderzoeken te doen. 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 dat de waterinjectie in de ondergrond van Twente veilig en verantwoord kan gebeuren, mits aan een aantal monitoring en inspectie voorwaarden wordt voldaan.

De risicoanalyse rond het mogelijk oplossen van de afdekkende zoutlagen bevestigt dat de in de vergunning en het Waterinjectie Management Plan vastgelegde beheersmaatregelen 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. Eveneens zijn er 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 bevestigt dat de waarborgen voor een veilig en verantwoord opereren van de waterinjectie putten aanwezig zijn. Een uitgebreide analyse van de belangrijkste parameters die zouden kunnen leiden tot een verhoogd bevingsrisico hebben aangetoond dat dit risico als zeer klein ingeschat wordt, hetgeen in lijn is met de observatie dat gedurende de 55 jaar van gasproductie en gedurende de eerste 4 jaar van waterinjectie geen enkele beving is geregistreerd. Desondanks heeft NAM in overleg met SodM preventief een aantal extra beheersmaatregelen geïmplementeerd. Dit betreft een uitbreiding van het bestaande KNMI geofoonnetwerk met 7 extra meetpunten en daaraan geassocieerd de installatie van een accelerometernetwerk. Deze twee netwerken leiden tot een verbeterde locatiebepaling van eventuele bevingen in Twente en meten eveneens de daaraan geassocieerde grondversnellingen. Beide meetnetwerken liggen ook ten grondslag aan het seismisch risico- en responsplan dat de acties beschrijft die genomen zullen worden indien zich onverhoopt toch een beving voordoet. Dit responsprotocol is als addendum toegevoegd aan het vigerende Water Injectie Management Plan.

De analyse van het risico van geochemische incompatibiliteit bevestigt dat water injectie veilig en verantwoord kan plaatsvinden met de preventieve en reactieve beheersmaatregelen geïmplementeerd in het water injectie management plan.

In een recente brief aan de Tweede Kamer (Ref 6, Appendix 3) heeft de Minister van Economische Zaken bevestigd dat zowel op het vlak van injectiewaterlekkage, bevingen en bodem-daling er een uitgebreid en afdoende monitoringsprogramma is geïmplementeerd dat door toezicht van SodM binnen het vergunningskader voldoende waarborgen geeft voor Veiligheid en Milieu.

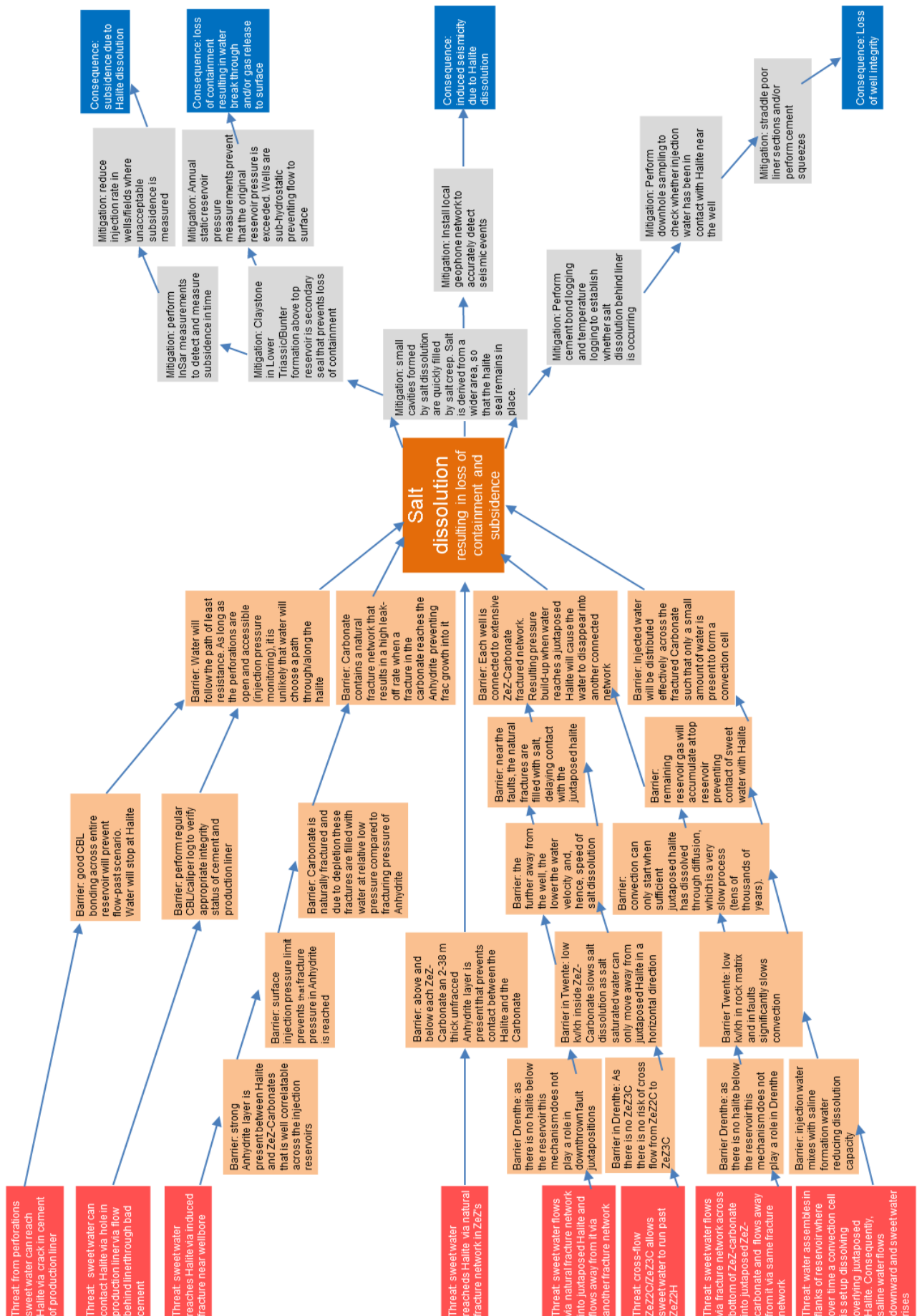
6. Referenties

1. Halite dissolution modelling of water injection into Carbonate gas reservoirs with a Halite seal. Report EP201310203080, NAM 2014.
2. Geology description of Twente Gas Fields: Tubbergen, Tubbergen-Mander and Rossum-Weerselo. Report EP201310201845, NAM 2014
3. Subsidence caused by Halite dissolution due to water injection into depleted Carbonate gas reservoirs encased in Halite. Report: EP201310204177, NAM 2014.
4. Threat assessment for induced seismicity in the Twente water disposal fields, Report: EP201502207168, NAM 2015.
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. Protocol seismische activiteit door waterinjectie - Addendum Waterinjectie Management Plan, Report: EP201502216336, NAM 2015.
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. Geochemical compatibility Of Schoonebeek oil field production water with Zechstein reservoirs. NAM, Dec 2016. EP201611200959

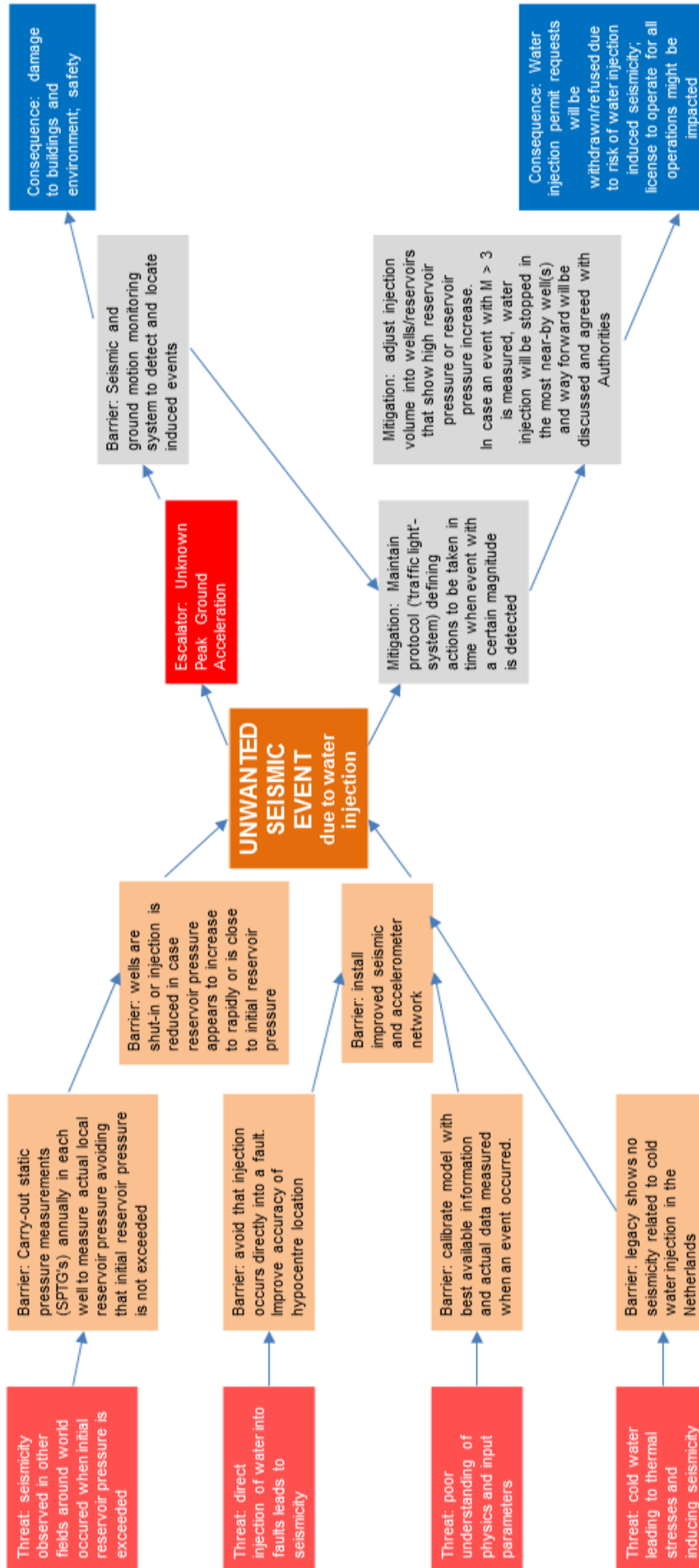
Deze en andere relevante NAM rapporten over water injectie in Twente zijn in te zien op de NAM website: <http://www.nam.nl/techniek-en-innovatie/waterinjectie-in-twente/downloads-waterinjectie-twente.html>

7. Appendices

Appendix 1 Bow-tie analyse voor zoutoplossing



Appendix 2. Bow-tie voor geïnduceerde seismiek



Ministerie van Economische Zaken

> Retouradres Postbus 20401 2500 EK Den Haag

De Voorzitter van de Tweede Kamer
der Staten-Generaal
Binnenhof 4
2513 AA 's-GRAVENHAGE

Datum 23 maart 2015
Betreft Injectie van productiewater bij olie- en gaswinning

Geachte Voorzitter,

Tijdens het wetgevingsoverleg energie van 17 november 2014 en het VSO schalingas van 18 december 2014 hebben verschillende leden vragen gesteld over de (wenselijkheid van) injectie van productiewater bij olie- en gaswinning en de bijbehorende risico's en gevolgen voor het milieu. Hierbij geef ik invulling aan mijn toezegging om uw Kamer hier schriftelijk nader over te informeren. Daarbij ga ik in op de omvang en eigenschappen van de injectie van productiewater in Nederland, de veiligheids- en milieuaspecten en de situatie in de Verenigde Staten.

Omvang en eigenschappen van de injectie van productiewater in Nederland

Bij de winning van olie en gas komt water mee uit de diepe ondergrond. Dit zogenaamde productiewater wordt aan de oppervlakte gescheiden van de olie of het gas en moet vervolgens worden verwerkt. Het productiewater kan op twee manieren verwerkt worden, namelijk door het terug te injecteren in de ondergrond of door het te reinigen en te lozen aan de oppervlakte. De afweging hiertussen wordt gemaakt conform de wettelijke procedures. In de praktijk blijkt dat, zeker als het om grote hoeveelheden gaat, injectie in lege olie- of gasvelden de meest milieuvriendelijke manier is om zich van productiewater te ontdoen.

Het moment waarop een vergunning om productiewater te injecteren wordt aangevraagd is afhankelijk van de geproduceerde hoeveelheid water. Normaal gesproken neemt de hoeveelheid productiewater bij de gasproductie uit een veld na verloop van tijd toe. Een injectievergunning is dan pas in een later stadium aan de orde. In andere gevallen, zoals bij de olieproductie bij Schoonebeek, is vanaf het begin van de productie sprake van een grote hoeveelheid productiewater die moet worden geloosd.

In de injectievergunning kunnen grenzen worden gesteld aan de totale hoeveelheid te injecteren productiewater en aan de snelheid waarmee wordt geïnjecteerd (dagdebiet). De maximaal toegestane hoeveelheid hangt samen met de grootte van het reservoir. Met de toenemende vullingsgraad neemt namelijk ook de druk in het reservoir toe. Uit veiligheidsoverwegingen moet deze reservoirdruk onder de oorspronkelijke druk van het reservoir blijven. Omdat er een relatie tussen de druk en de hoeveelheid geïnjecteerd productiewater bestaat,

Directoraat-generaal
Energie, Telecom &
Mededinging
Directie Energiemarkt

Bezoekadres
Bezuidenhoutseweg 71
2594 AC Den Haag

Postadres
Postbus 20401
2500 EK Den Haag

Factuuradres
Postbus 16180
2500 BD Den Haag

Overheidsidentificatienr
0000001003214169000
T 070 779 8911 (algemeen)
www.rijksoverheid.nl/ez

Ors kenmerk
DGETM-EM / 15020314

kan in plaats van een maximaal te injecteren hoeveelheid ook een maximale reservoirdruk als limiet gehanteerd worden. Een te hoge injectiedruk kan namelijk leiden tot ongewenste beschadiging van het reservoir. Het maximale dagdebiet is een manier om de maximaal toegestane injectiedruk vast te leggen.

Het injecteren van productiewater vindt in Nederland al plaats sinds 1972 (Borgswaer). Het productiewater dat in Borgswaer wordt geïnjecteerd, komt terecht in het Groningenveld en is met een vergunde hoeveelheid van 1,8 miljoen kubieke meter de grootste opslaglocatie van Nederland. Momenteel zijn er in zes provincies (Groningen, Friesland, Drenthe, Overijssel, Zuid-Holland en Noord-Holland) en voor een tiental locaties op zee vergunningen verstrekt voor herinjectie van productiewater.

Samenstelling productiewater

Het productiewater bestaat voor het grootste deel uit (formatie)water dat zijn oorsprong kent in de diepgelegen olie- of gasvelden. Bij injectie wordt dit dus weer teruggebracht naar een omgeving, waar het van nature een vergelijkbare samenstelling heeft: een hoge concentratie aan zouten en onder andere met koolwaterstoffen geassocieerde aromaten. Additionele en gebiedsvreemde mijnbouw hulpstoffen moeten voor injectie zo veel als mogelijk worden verwijderd. In specifieke gevallen, zoals in Twente, wordt ook water geïnjecteerd dat als zuivere stoom is aangewend om de oliewinning te verbeteren. De concentratie van de mijnbouw hulpstoffen in het injectiewater is zeer laag (minder dan 1‰, zie de milieueffectrapportage herontwikkeling olieveld Schoonebeek, rapport II, 2006). De samenstelling is zodanig dat het water niet als chemisch afval is te kwalificeren – het valt ruim binnen de normen die daarvoor gelden – maar kan niet zonder meer geloosd worden.

De samenstelling van het productiewater wordt frequent gecontroleerd op basis van monsters, die wkelijks (voor beknopte analyse) en maandelijks (voor uitgebreide analyse) worden genomen. De resultaten van de analyses worden conform de vergunning jaarlijks gerapporteerd aan het bevoegd gezag, waaronder SodM.

Veiligheid en milieu

Voor de injectie van productiewater vanaf een mijnbouwwerk op land is, naast de milieuvergunning die voor het mijnbouwwerk per definitie noodzakelijk is, vrijwel altijd ontheffing van het bevoegd gezag (de provincie) nodig op grond van het Lozingenbesluit bodembescherming (hierna: Lozingenbesluit).

Het Landelijk Afvalbeheerplan (LAP) geeft het beleidskader voor de gevallen waarin de injectie van productiewater kan worden toegestaan. Volgens het LAP wordt injectie van productiewater toegestaan in hetzelfde of een vergelijkbaar reservoir als waar het uit afkomstig is, mits:

- de bodemkwaliteit in de diepe ondergrond niet verslechtert; en
- de mijnbouw hulpstoffen zoveel mogelijk uit het productiewater zijn verwijderd.

Injectie van productiewater dat niet aan de criteria van het LAP voldoet, zal slechts worden toegestaan indien dit milieuhygiënisch de voorkeur verdient boven hergebruik of reiniging en lozing of indien de kosten van deze alternatieven niet in verhouding staan tot milieuhygiënische nadelen van injectie (de zogenaamde milieuhygiënische toets). Deze toets wordt uitgevoerd aan de hand van een zogenaamde 'Life Cycle Analysis', een standaard instrument (ISO 14040) om alle milieueffecten van processen of producten over de hele levensketen in kaart te brengen, en een aanvullend afwegingskader voor de diepe ondergrond (CE Delft, 2004: Met water de diepte in). Bij de vergunningverlening spelen zowel de landelijke, provinciale als lokale overheid een rol.

Kans op lekkages

De injectie van productiewater in lege olie- of gasvelden kent een aantal voordelen. Zo heeft de integriteit van het voormalig olie- of gasveld zich bewezen als een structuur waarbij afsluitende lagen van zout- of kleisteen ongewenste migratie van stoffen naar ondieper gelegen aardlagen verhinderen. Tevens geldt dat wanneer het water eenmaal is geïnjecteerd in het reservoir er, in tegenstelling tot bij olie en gas, geen kracht is die het geïnjecteerde water aanzet om het reservoir te verlaten. Ten eerste omdat het geïnjecteerde productiewater een vergelijkbaar soortelijk gewicht heeft als het water in zijn directe omgeving en een opwaartse kracht, zoals bij gas, niet aanwezig is. Ten tweede omdat de druk in het veld door de olie- of gasproductie is verlaagd en zodoende lager is dan druk buiten het veld, waardoor water eerder naar het veld toestroomt dan dat water het veld zou willen verlaten. Ten slotte liggen de velden waarin wordt geïnjecteerd op grote diepte, hetgeen betekent dat er een grote barrière van meer dan duizend meter gesteente ligt tussen de locatie waar wordt geïnjecteerd en de dichtstbijzijnde grondwaterlagen die voor mens en milieu van belang zijn. Hierdoor is het risico van migratie naar de grondwaterlagen verwaarloosbaar.

Zoals hierboven aangegeven gebeurt de injectie van productiewater onder strenge wettelijke voorschriften en veiligheidseisen en onder toezicht van Staatstoezicht op de Mijnen. De technische integriteit van de installatie wordt door de operator continu gemonitord. Zo wordt de druk in de pijpleidingen en in de putten continu gemeten en wordt de samenstelling van het productiewater en het grondwater op verschillende locaties in het systeem in de gaten gehouden. De integriteit van de pijpleidingen wordt ook periodiek gecontroleerd, en dient te voldoen aan de norm NEN 3650. Deze controle betreft onder andere de bescherming tegen het doorroesten van de leidingen (door middel van injectie van roest-beschermende middelen in de waterstroom en het aanbrengen van een kathodische bescherming) en het meten van eventuele ijzerdeeltjes in de waterstroom.

Incidenten moeten altijd bij SodM worden gemeld, waarna SodM de ernst van het incident vaststelt en passende maatregelen oplegt. Uw Kamer heeft specifiek gevraagd naar incidenten bij injectie van productiewater in Twente. Sinds 2011 wordt in Twente productiewater afkomstig van het Schoonebeekveld geïnjecteerd. Bij integriteitsmetingen aan de injectieputten in Twente is in het vierde kwartaal

van 2014 geconstateerd dat er in één put een kleine lekkage en in een andere put mogelijk een kleine lekkage optrad. Naar aanleiding daarvan zijn passende maatregelen genomen. Overigens zijn in de periode vanaf 2011 door NAM nog acht andere voorvallen en één ongeval gemeld aan SodM. Hoewel deze hebben plaatsgevonden op de waterinjectielocaties in Twente hebben zij niet te maken met het injectieproces. De voorvallen betreffen een rookontwikkeling door een te warm aangelopen lager met onvoldoende smering en zeven onbedoelde emissies naar lucht door lekkage van koelvloeistof uit airconditioning apparatuur in de gebouwen op het NAM-terrein. Kenmerkend voor deze koelvloeistof is dat deze direct verdampt bij contact met de lucht. Het ongeval betrof een werknemer met een verzwaarde enkel. Aan bovengenoemde incidenten is door SodM een lage ernstcode toegekend, waarvoor verder onderzoek niet noodzakelijk werd geacht. Bij geen van deze incidenten is er sprake geweest van lekkages of emissies naar de bodem. Het gaat hier dus om voorvallen met een laag risico waarbij geen gevaar is opgetreden voor mens of milieu. De voorvallen zijn conform de voorschriften afgehandeld.

Risico op bevingen en bodemdaling

De kans op geïnduceerde bevingen door injectie van productiewater ontstaat bij injectie tot een druk boven de oorspronkelijke reservoirdruk, of injectie waarbij de vloeistof in een seismisch actieve breuk terecht komt en daardoor de wrijvingsspanning op het breukvlak verkleint, waardoor de breuk kan worden geactiveerd.

In Nederland wordt her-injectie van productiewater alleen gedaan in uitgeproduceerde olie- of gasvelden waar de druk tot ver onder de oorspronkelijk heersende druk is gezakt. Het risico van bodemtrillingen bij injectie in lege olie- of gasvelden is daarom laag. De druk wordt tijdens de injectie continu gemonitord en is goed te beheersen. Het risico dat een breuk geactiveerd wordt is minder eenduidig vast te stellen. Hier kunnen modelstudies inzicht geven in het te verwachten injectiegedrag en de daaraan verbonden gevolgen. Zo'n modelstudie is uitgevoerd voor de injectievergunning van Bergermeer. Aanleiding daarvoor was de seismische activiteit die zich daar voorheen gedurende de productie van het Bergermeer gasveld heeft voorgedaan. Op basis van deze studie is een maximale injectiedruk bepaald en is een monitoringsprogramma vastgesteld, om het risico op bevingen te beperken. Tevens heeft het KNMI voor de regio Bergermeer het seismisch monitoringsnetwerk zodanig aangepast dat eventuele seismische activiteit aldaar adequaat kan worden geregistreerd.

Bij de recente injectievergunning van productiewater in Twente is, mede vanwege de omvang van de injectie, een waterinjectie management plan onderdeel van de injectievergunning. In dit plan zijn activiteiten beschreven die noodzakelijk zijn om zeker te stellen dat de integriteit van het reservoir (waarin wordt geïnjecteerd) en de afsluitende bovenlaag gewaarborgd blijft. Het plan bevat onder andere meet- en testverplichtingen ten aanzien van de waterinjectie, geeft de frequentie van deze testen aan alsmede de eventuele follow-up. Het plan is zodanig ingericht dat in geval van nieuwe ontwikkelingen of aandachtspunten het plan hierop wordt

aangepast, in lijn met het continue verbeterprincipe van ISO14001. Het plan voorziet tevens in evaluatiemomenten van de waterinjectie, na respectievelijk drie jaar (ten aanzien van zes putten) en zes jaar (ten aanzien van de resterende vijf putten) na start van de injectie. In een uitspraak van de Raad van State wordt de beschikbaarheid van het waterinjectie management plan als belangrijke maatregel gezien voor behoud van de integriteit van de formaties en afsluitende lagen. Daarnaast zullen nog monitoringsverplichtingen worden ingebracht in het waterinjectie management plan ten aanzien van seismiciteit bij waterinjectie, in lijn met internationale standaards over dit onderwerp. Als aanvulling op het waterinjectie management plan heeft Staatstoezicht op de Mijnen NAM in juli 2011 verzocht om een risicoanalyse uit te voeren naar het effect van waterinjectie in de lege reservoirs, onder andere naar de vraag of er een grootschalige oplossing van steenzout lagen kan plaatsvinden.

In Nederland is er tot op heden één beving geweest waarvan het KNMI opmerkt dat niet duidelijk is wat de oorzaak van deze beving is, maar dat gezien de coïncidentie met waterinjectie in het Weststellingwerf gasveld, er mogelijk een relatie bestaat. Deze beving vond plaats op 26 november 2009 bij De Hoeve (Friesland) en had een kracht van 2,8 op de schaal van Richter. Modelstudies van de operator Vermilion geven aan dat er mogelijk sprake is van een verzwakking van de randbreuk van het reservoir door het geïnjecteerde water.¹ Op basis van dit onderzoek is tevens vastgesteld dat de energie die na de beving nog in het systeem aanwezig is, zodanig is gereduceerd dat de kans op herhaling van seismische activiteit in de toekomst klein is. Deze conclusie is door SodM geaccordeerd.

Van bodemdaling is geen sprake bij injectie van productiewater. Afhankelijk van de mate van injectie kan er op termijn wel sprake zijn van enig herstel van de bodemdaling die gedurende de olie- of gaswinning is opgetreden. Bodemdaling en -stijging zijn bewegingen die gelijkmatig en zeer geleidelijk plaatsvinden en geen aanleiding geven tot schade aan bebouwing.

Vergelijking met de Verenigde Staten

Uw Kamer heeft ook gevraagd naar een vergelijking van de situatie in Nederland met de Verenigde Staten. In de VS zijn ca. 170.000 injectieputten geclassificeerd als olie- en gas-gerelateerde injectieputten. Wat betreft de wet- en regelgeving kan worden gesteld dat deze in grote lijnen vergelijkbaar is. Injectie van productiewater geldt ook in de VS als de te prefereren optie om het productiewater te verwerken. In de Verenigde Staten is injectie eveneens vergunningplichtig en maken monitoring en inspecties onderdeel uit van de bijbehorende controles. Injectie wordt gereguleerd door het Environmental Protection Agency (USEPA) en de regering van de betreffende staat en valt onder de Safe Drinking Water Act. Hierbij worden vergelijkbare voorwaarden gesteld aan

¹ SPE 16641D, 2011, Inducing Earthquake By Injecting Water In A Gas Field: Water-weakening Effect. Axel-Pierre Bois, CuriaTec, Mehdiakht Mahajeri, CuriaTec, Nick Dausi, SGS-Horizon, Slijm Harms, Vermilion Energy.

putten en reservoirs als in Nederland. Ook zijn er vergelijkbare voorschriften voor monitoring en tests.

Naar aanleiding van recente mogelijk door waterinjectie geïnduceerde bevingen in de VS is er een aantal initiatieven gestart om deze problematiek verder te onderzoeken. Op initiatief van 12 staten hebben de autoriteiten een werkgroep opgericht om samen met kennisinstellingen en de industrie de relatie tussen injectie en bevingen vast te stellen en maatregelen te formuleren om de risico's te verminderen. Vooruitlopend op de resultaten is in een aantal staten striktere regelgeving ingesteld ten aanzien van minimale afstanden tot breuken in de ondergrond en injectie van productiewater in seismisch actieve regio's. Op basis van seismische monitoring kan bij overschrijding van een bepaalde drempelwaarde de injectie worden aangepast of zelfs gestopt worden (de stoplichtmethode). Deze methode is inmiddels van kracht in Californië en Ohio – de staten met de meeste seismische activiteit in de VS – en wordt ook elders in de wereld toegepast, zoals Engeland en delen van Canada. Ohio heeft als enige staat de regel van kracht dat er een (micro)seismisch meetnet aanwezig moet zijn bij injectie.

Ook in Nederland worden bij de vergunningverlening voor injectie eisen gesteld aan afstand tot breuken en aan monitoring. Een belangrijk verschil tussen de VS en Nederland is dat in de VS regelmatig wordt geïnjecteerd in reeds watervoerende lagen, waardoor de kans groot is dat de druk in de ondergrond hoger wordt dan de originele druk. Bovendien wordt in de VS, in tegenstelling tot in Nederland, bij injectie geen maximum gesteld aan de reservoirdruk. Hierdoor kan er betrekkelijk snel een overdruk in die lagen ontstaan. Overschrijding van de oorspronkelijke reservoirdruk (overdruk) vergroot het risico op bevingen. De Nederlandse wet- en regelgeving en daaruit volgende praktijk maakt dus dat een situatie zoals in de VS zich in Nederland niet kan voordoen.

Resumerend

In Nederland is sinds 1972 ervaring met het her-injecteren van productiewater. Het injecteren is vergunningplichtig en het opstellen van een milieueffectrapportage maakt deel uit van de procedure. Gedurende de injectie vindt er continu monitoring plaats van druk en samenstelling van het injectiewater. SodM houdt toezicht op het proces. Tot op heden zijn er nauwelijks incidenten geweest.

Directoraat-generaal
Energie, Telecom &
Mededinging
Directie Energiemarkt

Oris kenmerk
DGETM-B1 / 15020114

Bij de meest recente injectievergunning waarbij aanmerkelijke hoeveelheden water worden geïnjecteerd is tevens een water injectie managementplan in de vergunning opgenomen, dat voorziet in een uitgebreid monitoringsprogramma en een tweetal evaluatiemomenten waarbij de doelmatigheid van de injectie na drie en na zes jaar wordt geëvalueerd.

(w.g.) H.G.J. Kamp
Minister van Economische Zaken