Bijlage: beoordeling van de ondergrondse risico's en risicobeheersing van waterinjectie in Schoonebeek gasveld

Deze bijlagen (Ondergrond, O.1 t/m O.7) bevatten een integrale beoordeling van de ondergrondse risico's die verband houden met de injectie in het Schoonebeek-gasveld van water afkomstig uit het Schoonebeek-olieveld. Deze beoordeling is in het kader van meerdere aanvragen:

1. Aanvraag *instemming gewijzigd winningsplan Schoonebeek Gas*;
2. WABO aanvraag "*NAM Veranderingsvergunning inrichting SCH-447*".

Dit is daarom een bijlage bij zowel het advies op de WABO aanvraag als bij het advies op het gewijzigde winningsplan Schoonebeek Gas.

In deze bijlage worden de volgende onderwerpen getoetst:

1. het overkoepelende plan van waterinjectie
2. het seismisch risico
3. de beheersing van het seismisch risico
4. het risico van aantasting integriteit van het reservoir en afsluitende lagen door oplossing en andere chemische processen
5. het risico van aantasting integriteit via scheuren in afsluitende lagen door hoge injectiedruk, reservoirdruk of reservoirstimulatie
6. de integriteit van de injectieputten

O.1 Beoordeling van het overkoepelende plan van waterinjectie

De NAM geeft een overkoepelende beschrijving van hun plan voor waterinjectie in het rapport '*Injectie van het Schoonebeek oliewater in het Schoonebeek gasveld*'.[1] De NAM geeft aan met dit rapport een uitwerking te geven van de vereisten van het sectorplan Deel B.12 van het Landelijk afvalbeheerplan 3 (LAP3).[2] Deze uitwerking moet volgens het LAP3 conform het '*protocol*'[3] zoals opgesteld door het *Convenant werkgroep injectie productiewater* met het doel: '*het vaststellen van de integriteit van een ondergrondse opslagvoorziening*'. Het LAP geeft aan dat wanneer de uitwerking conform dit protocol wordt gedaan, voldaan wordt aan hetgeen gesteld is in het LAP.

In dit overkoepelende rapport geeft de NAM een beschrijving van de te injecteren waterstromen (hfst. 2), van de samenstelling van het water en de effecten van het water in het reservoir (hfst. 3), van de injectieputten (hfst. 4) en van de geologie van het reservoir en de afsluitende gesteentelagen (hfst. 5). Vervolgens werkt de NAM een aantal specificaties voor de waterinjectie nader uit aan de hand van het bovengenoemde *protocol* conform LAP3. In hfst. 6 van het rapport geeft de NAM een onderbouwing van de injectiedruk die scheurgroei in de afsluitende laag moet voorkomen en van de injectiecapaciteit in termen van 1) de injectiesnelheid en 2) van het in het reservoir beschikbare volume in relatie tot het totaal te injecteren volume. In hfst. 7 en 8 geeft de NAM een nadere toelichting over het samengaan van waterinjectie met gaswinning en een risico-inschatting van zoutoplossing van de afsluitende laag boven het reservoir.

Een aantal aspecten die in dit overkoepelende rapport worden geïntroduceerd zijn verder uitgewerkt in de aanvullende studies die de NAM als bijlages bij de aanvragen heeft ingediend.

Voor een aantal aspecten van de waterinjectie formuleert de NAM in de aanvraag (of onderliggende bijlages) specificaties waaronder een beschrijving van de verwachte samenstelling van het njectiewater, het maximum injectievolume per dag (debiet), het totale opslagvolume (opslagcapaciteit) en de begrenzingen van de reservoir- en injectiedrukken.

---

[1] NAM rapport EP202303201029, april 2023, Uitwerking Waterinjectie Protocol - Injectie van het Schoonebeek oliewater in het Schoonebeek gasveld, ingediend als bijlage M7 bij de WABO-aanvraag wijziging inrichting Schoonebeek-447.

[2] https://lap3.nl/publish/pages/121387/lap3_b-12_storten-of-anderszins-op-of-in-de-bodem-brengen-ow_1-1-2024.pdf

[3] Convenant werkgroep injectie productiewater, 2005, Werkgroep injectie productiewater. https://lap3.nl/publish/pages/138150/staatstoezichtmijnen_convenant_werkgroep_injectie_productiewater_en_concept_protocol_aanvraag_inject.pdf

Oordeel SodM

SodM oordeelt dat de NAM met dit overkoepelende plan van waterinjectie de relevante onderwerpen voor risico-inschatting op hoofdlijn adresseert en daarbij voldoende invulling geeft aan de verwachtingen zoals die zijn gesteld in het '*protocol*'[2] waar het LAP naar verwijst.

SodM geeft hieronder een technische beoordeling van de onderwerpen met betrekking tot '*de integriteit van de ondergrondse opslagvoorziening*' en van de aangevraagde specificaties van de waterinjectie. Waar SodM dat voor de beheersing van risico's nodig vindt, adviseert SodM om met vergunningvoorschriften grenswaardes vast te leggen.

O.2 Beoordeling van het seismisch risico

De NAM geeft in het *'Seismic Threat Assesment*' rapport[4] een onderbouwing voor de seismische risicoanalyse:

- een analyse van de meest waarschijnlijke mechanismen die aanleiding kunnen geven voor het optreden van bevingen in verband met waterinjectie;
- een overzicht van de historische waterinjectie in het Schoonebeek-gasveld en bevingen in het gasveld. Vervolgens analyseert de NAM of er een verband kan worden vastgesteld tussen het optreden van bevingen en de waterinjectie.
- een inschatting van de mate van de seismische dreiging en het risico door de aangevraagde injectie van water.

2.1 Analyse van onderliggende mechanismen van bevingen door gaswinning en waterinjectie

De NAM presenteert in het rapport vijf mogelijk mechanismen voor aardbevingen in een gasveld als gevolg van gaswinning en/of waterinjectie:

I. Toename van de schuifspanning langs het breukvlak als gevolg van daling van de reservoirdruk door gaswinning;
II. Spanningsverandering langs breukvlak bij toename van de gemiddelde reservoirdruk bij waterinjectie als gevolg van een hysterese effect[5] na reservoircompactie door gaswinning;
III. Verandering van de gesteentespanningen door afkoeling en de daardoor veroorzaakte krimp van gesteentes bij waterinjectie;
IV. Lokale toename in vloeistofdruk in de buurt van het breukvlak;
V. Verzwakking van het breukvlak door chemische en vloeistofdrukverandering in het breukvlak.

De NAM concludeert in het rapport dat mechanismen I en mechanisme III naar verwachting het meest bepalend zijn voor het seismisch risico. De NAM verwacht dat het effect van stijging van de reservoirdruk door het vullen van het reservoir met water (mechanisme II) een veel kleinere invloed heeft op het seismisch risico. Over het algemeen leidt juist de daling van de gemiddelde reservoirdruk tot toename van de gesteentespanning; namelijk de schuifspanning op breuken neemt bij drukdaling toe, waardoor het breukoppervlak kritische gespannen[6] raakt en beweging langs het breukoppervlak op kan treden. Door een toename van de gemiddelde reservoirdruk wordt de spanningstoestand op breuken daarom doorgaans minder kritisch. Er zijn enkele scenario's waarin de toename van de reservoirdruk wel kan leiden tot verslechtering van de spanningstoestand. Uit één studie[7] uitgevoerd in het kader van het Kennisprogramma Effecten

---

[4] *NAM rapport EP202304200850, april 2023, Seismic Threat Assessment for Schoonebeek-Zechstein Water Injection, aanvulling E op bijlage M7 bij de WABO-aanvraag wijziging inrichting Schoonebeek-447.*

[5] *Hysterese effect treedt op wanneer gesteentespanning zich bij toename van de reservoirdruk niet herstelt tot een vergelijkbare spanningstoestand zoals die was voor aanvang van de gaswinning. Als na een daling van de reservoirdruk bij gaswinning compactie van reservoirgesteente optreedt, dan kan een gedeelte van deze compactie permanent zijn. Bij toename van de reservoirdruk (door waterinjectie) herstelt bij hysterese de gesteentespanning zich deels tot de gesteentespanning van voor aanvang van de gaswinning.*

[6] *Bij een kritisch gespannen breuk is de schuifspanning even groot als de wrijving op de breuk die beweging tegenhoudt. Wordt de schuifspanning nog groter dan zal er beweging langs de breuk gaan optreden.*

[7] Studie KEM-01, Geomechanical factors determining fault criticality during pressure cycling of underground gas storage in reservoirs, https://www.kemprogramma.nl/blog/view/57979342/kem-01-geomechanical-factors-determining-fault-criticality-during-pressure-cycling-of-underground-gas-storage-in-reservoirs.

Mijnbouw is gebleken dat als een breukoppervlak heeft geschoven na veel drukdaling en compactie, bij drukstijging en bij gedeeltelijk terugveren van het gesteente er vervolgens nieuwe spanning kan opbouwen. Deze omstandigheid doet zich volgens de studie alleen voor als de reservoirdruk vrijwel volledig herstelt. Het gedeelte van het breukoppervlak waar spanning opbouwt bij herstel van de reservoirdruk is veel kleiner dan het breukoppervlak dat tijdens de gaswinning is gaan schuiven. De andere delen van het breukoppervlak stabiliseren zich bij de stijging van de reservoirdruk.

De NAM merkt bovendien op dat de invloedsfeer van de effecten (door bovengenoemde vijf mechanismen) verschillend zijn. De NAM concludeert op basis van hun analyses dat het gebied dat door afkoeling wordt beïnvloed (mechanisme III) veel kleiner is dan het gebied waar de reservoirdruk verandert (mechanisme II). Uit deze analyse volgt dan ook dat drukdaling door gaswinning naar oordeel van de NAM een groter breukoppervlak kan beïnvloeden dan door waterinjectie. Het effect van mechanisme IV (lokale toename van de vloeistofdruk in het breukvlak) wil de NAM voorkomen door de injectieputten op voldoende afstand van breuken te plaatsen. En mechanisme V van chemische verzwakking van het breukgesteente komt volgens de NAM weinig voor, waardoor de kans op invloed hiervan klein is.

Oordeel SodM

SodM kan zich vinden in de algemene weging van de mechanismen, dus dat de drukdaling door gaswinning een grotere invloedsfeer heeft en een groter breukoppervlak kan beïnvloeden dan door de waterinjectie. Voor de magnitude kan dit betekenen dat de maximaal te verwachte magnitude van bevingen (Mmax) door de waterinjectie niet hoger wordt dan waarmee al rekening werd gehouden in verband met de gaswinning. De kans op kleinere bevingen (dan de Mmax) zou wel kunnen toenemen. In het onderstaande wordt nader ingegaan op deze kans- en risicoinschatting.

De NAM kiest voor een analyse van spanningsveranderingen in het reservoir op basis van eenvoudige fysische beschrijvingen van het geomechanisch gedrag. Uitgebreide doorrekening van combinaties van processen zijn daarin niet meegenomen. SodM oordeelt dat dit ook niet mogelijk is omdat de benodigde data hiervoor niet beschikbaar zijn; Voor zulke uitgebreide doorrekening zijn is een uitgebreide(re) catalogus met aardbevingen nodig en die is gelukkig voor het gebied niet beschikbaar. Daarvoor zijn in het gebied relatief een te beperkt aantal bevingen in het Schoonebeek-gasveld opgetreden. Met de huidige beschikbare kennis is het daarom niet mogelijk om met voldoende zekerheid vast te stellen welke (combinatie van) processen het drijvende mechanisme zal zijn in het geval er in de toekomst bevingen optreden in het Schoonebeek-gasveld. Er is wel voldoende bekend over het geomechanische gedrag van de gesteentelagen en breuken om een reële inschatting te kunnen maken van maximale magnitude van bevingen en van de kans op beven en daarmee van de ondergrondse invloed op het risico van seismiciteit.

Ondanks de beperkingen van de gegeven eenvoudige analyse levert deze analyse dus wel relevante inzichten voor de risicobeoordeling en voor de risicobeheersing. Mechanisme I als gevolg van de drukdaling door gaswinning krijgt aandacht in de reguliere Seismische Risico analyse volgens de SRA-leidraad[8] die in hfst. 2.3 van deze beoordeling wordt getoetst. Waterinjectie heeft via de mechanismen II t/m V invloed op de kans op beven. SodM weegt met betrekking tot de rol van waterinjectie op aardbevingen ook mee dat er wel degelijk aanwijzingen zijn (ook in Nederland) dat door waterinjectie, via mechanismen III, IV en V, breuken kunnen gaan schuiven.

Onderzoek naar aanleiding van een beving in het gasveld Weststellingwerf laat zien dat er mogelijk sprake is geweest van water die een randbreuk bereikte en mogelijk tot verzwakking heeft geleid door het geïnjecteerde water[9].

De NAM geeft nadere toelichting in hfst. 4 van het *'Seismic Threat Assesment*' rapport en wat SodM in de bijlages O.2 en O.3 verder beoordeeld.

[8] *Methodiek voor risicoanalyse omtrent geïnduceerde bevingen door gaswinning, versie 1.2, 1 februari 2016*

[9] *Onderzoek na de beving op 26 november 2009 bij De Hoeve (Friesland) met een magnitude van 2,8; Zie kamer-brief, 2015, 33952 nr. 31, https://zoek.officielebekendmakingen.nl/kst-33952-31.html#ID-483407-d36e133*

2.2 Historische waterinjectie en de analyse naar een mogelijk verband met aardbevingen

Het Schoonebeek-gasveld bevindt zich in de buurt van een aantal andere vergelijkbare gasvelden waaronder de gasvelden Emmen, Dalen en Coevorden. Al deze gasvelden zijn seismisch actief. Behalve in Emmen, heeft in deze andere omliggende velden ook waterinjectie plaatsgevonden.

De NAM heeft de periode van waterinjectie, het moment van aardbevingen en de afstand tussen het epicentrum van de bevingen en de locatie van de injectieput vergeleken. In de Coevorden-gasveld vond waterinjectie plaats van 1980 t/m 1994 en in het Dalen-gasveld van 1997 t/m 2011. In het Schoonebeek gasveld wordt sinds 2010 water geïnjecteerd dat meekomt tijdens de gasproductie uit omliggende gasvelden. Er is een tiental lichte bevingen gemeten in het Schoonebeek gasveld en de omliggende gasvelden (M=0,8 tot 2,2). De meeste bevingen relateert de NAM aan de gaswinning, voor één beving concludeert de NAM zowel gaswinning als waterinjectie een rol kan hebben gespeeld. De NAM concludeert op basis van de analyse dat de bevingen niet het gevolg zijn van de waterinjectie.

Oordeel SodM

SodM vindt deze analyse van de NAM zeer beperkt. Het is goed mogelijk dat er bijvoorbeeld kleine bevingen zijn geweest door de waterinjectie, maar die niet zijn geregistreerd doordat het toenmalige meetnet deze nog niet kon meten. In figuur 3.1 van het *'Seismic Threat Assesment*' rapport presenteert de NAM de stapsgewijze verbeteringen van het seismisch meetnet in de regio. Tot 1990 konden in deze regio bevingen met een magnitude lager dan 2,5 niet worden waargenomen. Met een aantal stapsgewijze verbeteringen kunnen sinds 1995 bevingen van een magnitude van 1,5 en hoger worden waargenomen. Na nog recentere verbeteringen aan het seismisch meetnet in Noordoost Nederland kunnen met het huidige meetnet van het KNMI trillingen vanaf een magnitude van 0,5-1,0 in de regio worden gelokaliseerd. SodM concludeert op basis van de analyse van historische bevingen dat een verband tussen bevingen en waterinjectie niet kan worden uitgesloten.

2.3 Seismische Risico Analyse voor de gaswinning en voor de waterinjectie

De NAM geeft in de aanvraag voor wijziging van het winningsplan Schoonebeek Gas een Seismische Risico Analyse (SRA) volgens de stappen van de SRA-leidraad "Methodiek voor risicoanalyse omtrent geïnduceerde bevingen door gaswinning".[10] In deze methodiek wordt eerst beoordeeld of het veld al beeft en of de kans op beven verwaarloosbaar is. Indien dit niet het geval is, wordt een inschatting van de realistische sterkste beving, de Mmax, gemaakt. Vanaf een Mmax van 2,5 dient een niveau 2 analyse uitgevoerd te worden in de vorm van een risicomatrix waarbij bovengrondse en ondergrondse effecten worden meegenomen.

Volgens de SRA-leidraad wordt de inschatting van de realistisch sterkste aardbeving gemaakt op basis van het grootst mogelijk breukoppervlak dat in het slechtste geval in één keer zou kunnen bewegen. De kans dat een beving met de hiermee berekende sterkte kan optreden is zeer klein, omdat deze analyse ervan uitgaat dat het gehele breukoppervlak op hetzelfde moment (nabij) kritisch gespannen is, waardoor de breuk over de hele lengte langs het gasveld in één keer gaat schuiven. In de werkelijkheid zorgen variaties in de compactie en/of de oriëntatie en hellingshoek van de breuk ervoor dat de spanningen langs de breuk niet overal hetzelfde zijn en is de kans dat een beving beperkt blijft tot een kleiner gedeelte van de breuk heel groot.

NAM beschrijft in de SRA dat het Schoonebeek-gasveld een bevend veld is en geeft daarom vervolgens een inschatting van de Mmax. Voor het Schoonebeek-gasveld zijn de positie, vorm en afmeting van de breuken in en rond het gasveld voldoende bekend voor een reële inschatting van deze Mmax. De NAM geeft in het winningsplan als inschatting van de Mmax een magnitude van 3,9. De kans dat een beving met de maximale magnitude optreedt is voor het Schoonebeek-gasveld verwaarloosbaar. Op basis van de risico classificatie (de risicomatrix) uit de SRA-leidraad komt de NAM voor het Schoonebeek gasveld uit in de laagste categorie I.

[10] *De SRA-leidraad - Methodiek voor risicoanalyse omtrent geïnduceerde bevingen door gaswinning, versie 1.2, 1 februari 2016*

In de SRA wordt enkel uitgegaan van de gaswinning. De Mmax-inschatting wordt doorgaans gemaakt ervan uitgaand dat er sprake is van spanningsopbouw langs de breuk als gevolg van drukdaling bij gaswinning, overeenkomstig mechanisme I in het *'Seismic Threat Assesment*' rapport van de NAM. Echter, de Mmax-inschatting blijft hetzelfde ook wanneer de langste breuk door een ander mechanisme of door een combinatie van mechanismen over de gehele lengte kritisch gespannen raakt en in één keer gaat schuiven. Voor het bepalen van de Mmax van een gasveld waarin ook waterinjectie plaatsvindt, kan deze leidraad daarom ook worden gebruikt.

In de regio, binnen een straal van 8 km, hebben bevingen tot nu toe maximaal een magnitude van 2,2 gehad. De kans op bevingen van zulke magnitude blijft reëel. Het effect van opslingering schat de NAM in als klein; door de relatief stevige bodem (zand) die meer dan 90% in de directe regio uitmaakt, is het effect van opslingering van de ondiepe bodem bij een aardbeving daardoor op de meeste plekken kleiner. Volgens de opslingerkaart van Van Ginkel (2022)[11] zijn er in de omgeving ook slappe grond en extra gevoelige bodems aanwezig.

Oordeel SodM

SodM kan zich vinden in de inschatting van de Mmax en oordeelt dat deze geldt voor de gaswinning en dat deze inschatting van de Mmax met de aangevraagde waterinjectie hetzelfde blijft. SodM oordeelt dat met voortzetting van gaswinning in combinatie met waterinjectie er meer bevingen kunnen optreden dan als er enkel gaswinning zou plaatsvinden. Deze extra bevingen zullen naar verwachting niet zwaarder zijn dan de bevingen die door de gaswinning al op kunnen treden.

2.4 Conclusie

SodM concludeert dat waterinjectie als (mede)oorzaak voor de historische bevingen op basis van de door de NAM aangeleverde analyse niet kan worden uitgesloten. De gegeven analyse van de mogelijke geomechanische processen en de beschikbare historisch data geeft een indicatie maar geen uitsluitsel over de interactie tussen gasproductie en waterinjectie. Hierbij moet ook worden opgemerkt dat de hoeveelheid te injecteren water in de voorziene plannen significant meer is dan de injectie die tot nu toe in het Schoonebeek gasveld heeft plaatsgevonden. Dit verhoogt de kans dat geïnjecteerd water breuken kan bereiken. SodM weegt hierin ook mee dat er met het onderzoek naar aanleiding van de beving in het gasveld Weststellingwerf wel degelijk aanwijzingen zijn (ook in Nederland) dat door waterinjectie breuken kunnen gaan schuiven.

Op basis van de analyse naar de mogelijke mechanismen blijft er sprake van een vergroting van de kans op aardbevingen als gevolg van waterinjectie, naast de reeds aanwezige kans op bevingen als gevolg van de gaswinning. Dit betekent dat het mogelijk is dat door de waterinjectie er meer bevingen kunnen optreden dan als er enkel gaswinning zou plaatsvinden. Echter, deze extra bevingen zullen naar verwachting niet zwaarder zijn dan de bevingen die door de gaswinning al op kunnen treden. De waterinjectie verandert niet de inschatting van de zwaarste beving die fysisch, op basis van een realistische bepaling van het grootste breukoppervlak dat in één aardbeving kan gaan bewegen, mogelijk zou kunnen zijn.

O.3 Beoordeling van de beheersing van het seismisch risico

Beheersing van de seismische risico's is mogelijk door nieuwe injectieputten op voldoende afstand van breuken te plaatsen en door beheersmaatregelen te treffen als zich een (kleine) beving voordoet om zo de kans op (zwaardere) bevingen te verkleinen.

3.1 Positionering van injectieputten als preventieve beheersmaatregel

In hfst. 4 van het *'Seismic Threat Assesment*' rapport geeft de NAM een uitgebreide toelichting op de locatiekeuze van nieuwe putten en op de ontwikkeling van het afkoelingsfront in het reservoir in relatie tot afstanden tot de breuken. De NAM concludeert (hfst. 6) dat zij hun put-locaties zodanig

[11] van Ginkel, J. (2022). Seismic site response in the Netherlands: impact of the shallow subsurface composition on earthquake ground motion amplification. [Thesis fully internal (DIV), University of Groningen]. University of Groningen. https://doi.org/10.33612/diss.211424759

gekozen hebben dat het seismisch risico zo veel als mogelijk kan worden beperkt. Voor drie van de vier putten verwacht de NAM dat het afkoelingsfront op voldoende afstand van breuken zal blijven zodat geen waarneembare veranderingen van de spanningen op breuken door afkoeling wordt verwacht. Voor een vierde injectieput overlapt het afkoelingsgebied wel met een kleine gekarteerde breuk in het reservoir.

Het seismisch risico wordt vooral bepaald door zware aardbevingen, die het gevolg zijn van het schuiven van een groot oppervlak langs een lange breuk. De NAM verwacht op basis van de analyse voor de voorgestelde positionering van de injectieputten dat het gebied dat door de waterinjectie kan afkoelen geen invloed zal hebben op deze grotere breuken. En dat met deze putlocaties de bijdrage van mechanisme III (afkoeling) aan spanningsopbouw langs breuken en daarmee deze bijdrage aan het seismisch risico beperkt wordt.

Het gebied binnen het gasveld waar water naartoe stroomt (het waterfront) en het gebied waar de gemiddelde reservoirdruk toeneemt (het drukfront) reiken verder dan het afkoelingsgebied. De NAM verwacht dat het waterfront en het drukfront waarschijnlijk wel meerdere breuken zullen bereiken. Een toename van de vloeistofdruk in het reservoir leidt in de meeste gevallen en voor het grootste deel van het breukoppervlak tot een verlaging van de spanning. Om deze reden concludeert de NAM dat de kans op bevingen door toename van de gemiddelde reservoirdruk laag is.

Oordeel SodM

SodM oordeelt dat de kans op een zware beving mogelijk afneemt bij stijging van de gemiddelde reservoirdruk over het gasveld als daarbij het oppervlak afneemt van breukdelen die (nabij) kritisch gespannen zijn. De invloed van mechanisme I op het seismisch risico neemt daarmee af. Nuancering hierop is wel dat voor delen van breukoppervlak de spanningstoestand zou kunnen verslechteren waardoor het een toename van het aantal lichtere beving ook mogelijk zou kunnen zijn.

Hierbij moet bovendien worden opgemerkt dat bij waterinjectie vloeistofdruktoename in het breukvlak zelf altijd moet worden vermeden. Bij toename van de vloeistofdruk in het breukvlak neemt de weerstand van breukvlak tegen schuiven af; de breuk wordt dan als het ware gesmeerd. Door waterinjectie op voldoende afstand van (grote) breuken uit te voeren kan de kans hierop sterk worden verkleind. Lokaal is er rond de injectieput gedurende de injectie een hogere druk dan verder van de put. Wanneer de injectie (tijdelijk) stopt, zakt deze lokaal hogere druk rond de injectieputten tot het drukniveau in de rest van het reservoir(blok). Met de door de NAM toegezegde afstanden tussen de injectieputten en breuken bevindt de lokale drukopbouw rond de put op voldoende afstand van breuken en wordt de spanningstoestand op breukvlakken bepaald door de gemiddelde reservoirdruk in de daaraan grenzende reservoirblokken.

SodM oordeelt dat de positionering van nieuw aan te leggen injectieputten een belangrijke voorzorgmaatregel is om de kans op beven te verminderen. SodM is van mening dat het mogelijke effect van afkoeling van gesteente rond breuken en de spanningsverandering op breukvlakken daarmee voldoende beperkt zal kunnen worden.

SodM zal conform de geldende wet- en -regelgeving voorafgaand aan de aanleg van de injectieputten het werkprogramma beoordelen en daarin ook de positionering van de putten toetsen op de in de aanvraag voorgestelde afstand tot breuken. SodM wil dit werkprogramma zorgvuldig beoordelen en verwacht hier meer dan de wettelijke vier weken voor nodig te hebben. SodM adviseert daarom de NAM te vragen om dit werkprogramma ruim voor de wettelijk verplichte termijn in te dienen aangezien de NAM de werkzaamheden pas kan starten nadat deze beoordeling is afgerond.

3.2 Seismisch Risicobeheersplan als correctieve beheersmaatregel bij een beving

Een operator is verplicht een Seismische Risico Beheersplan (SRB) op te stellen voor velden die behoren tot de seismisch risicocategorie 2. Voor het Schoonebeek-gasveld komt de NAM op basis van de SRA-leidraad die voor enkel gaswinning geldt uit op de laagste risicocategorie 1. De NAM stelt voor om ook voor het Schoonebeek gasveld evengoed een Seismisch Risicobeheersplan toe te passen. In dit SRB beschrijft de NAM de acties die ze nemen afhankelijk van zwaarte van een beving. De NAM beschrijft in het SRB ook de wijze waarop afstemming met veiligheidsregio's en

decentrale overheden plaatsvindt om zo bewoners in de omgeving van het Schoonebeek-gasveld goed te kunnen informeren.

De NAM verwijst in het winningsplan naar het '*seismisch risicobeheersplan voor kleine velden*'.[12] In dit SRB heeft de NAM alle producerende gasvelden opgenomen en in een escalatieprotocol de actie- en communicatiestappen beschreven voor de gasvelden die behoren tot seismisch risicocategorie 2. De NAM benoemt in een aanvullende toelichting[13] voor het Schoonebeek-gasveld een aantal escalatiestappen van acties en communicatie als onderdeel van een SRB.

Oordeel SodM

SodM is van mening dat voor een aantal van de escalatiestappen lagere magnitude grenswaardes wenselijk zijn dan wat in het SRB '*voor kleine velden*' is vastgelegd. SodM heeft in 2015 voor de waterinjectie in Twente, in verband met het potentiële seismisch risico van waterinjectie, advies gevraagd aan een externe expert op het gebied van seismische risicobeheersing. Deze expert heeft toe geadviseerd over de doeltreffendheid van de seismische risicobeheersing.[14] Daaruit kwamen aanbevelingen naar voren die aansluiten bij de 5-beheerstappen-van-Zoback[15], een internationaal veelvuldig gehanteerde methode voor de seismische risicobeheersing bij waterinjectie. SodM oordeelt dat deze beheersmethodiek ook actueel is voor de aangevraagde waterinjectie in het Schoonebeek-gasveld. De NAM doet zelf ook een aanvullende voorstellen voor actualisatie van het SRB. Om aan te sluiten op de aanbevelingen uit het bovengenoemde externe review en daarmee een vergelijkbaar escalatieprotocol als het Seismisch Risicobeheersplan voor de waterinjectie in Twente te borgen, is het nodig om de onderstaande aanpassingen te verzoeken voor het SRB voor Schoonebeek.

1. De ondergrens van metingen binnen het groene escalatieniveau (het normale werkgebied) dient te liggen op een magnitude van 0,5 in plaats van op 1,5.[16] Omdat het Schoonebeek-gasveld een bevend veld is, zouden met een gevoeliger seismisch meetnet bevingen tussen de magnitude 0,5-1,5 binnen het normale werkgebied (groen) geregistreerd kunnen worden. Deze trillingen zullen niet tot nauwelijks gevoeld worden, maar zijn wel inzichtelijk voor het kunnen volgen van een mogelijke trend in seismiciteit.
2. Bij meer dan twee lichte trillingen per jaar ($M \leq 1,5$) en/of na één beving $1,5 < M \leq 2,0$ doet de NAM een nadere analyse en worden waar nodig aanbevelingen gedaan conform het escalatieniveau '*seismisch actief*' (geel).
3. De NAM overlegt met toezichthouder (SodM) over eventuele maatregelen op de gaswinning en op de waterinjectie bij een tweede beving van een $1,5 < M \leq 2,0$ per jaar, conform het escalatieniveau '*verhoogde seismische activiteit*' (oranje); ditzelfde geldt na één beving per jaar van $2,0 < M \leq 3,0$.
4. De NAM stopt bij '*hoge seismische activiteit*' (rood), in ieder geval tijdelijk, met de gaswinning en waterinjectie; dit escalatieniveau rood geldt na meer dan twee bevingen per jaar van een magnitude tussen de 2,0 en 3,0. Activiteiten kunnen pas worden hervat na analyse en na overleg met en toestemming van de toezichthouder (SodM) over mogelijke maatregelen. Op basis van de effecten als gevolg van die bevingen kan, als voorbeeld, SodM de NAM dan ook om nadere analyse verzoeken naar de schades als gevolg van de beving en de implicaties daarvan ook meewegen in gewenste vervolgmaatregelen.
5. Na de eerste beving van een magnitude groter dan 3,0 stoppen de activiteiten van gaswinning en waterinjectie voorgoed.

---

[12] Het Seismisch Risicobeheersplan kleine velden, te vinden op de NAM website: https://nam-onderzoeksrapporten.data-app.nl/reports/download/kleine-velden/nl/220febb2-2ff0-413d-9e1a-63bc9f0e3f13

[13] *Hfst 5.2 'Recommendations for control of induced seismicity', in NAM rapport EP202304200850, april 2023, Seismic Threat Assessment for Schoonebeek-Zechstein Water Injection, ingediend als aanvulling E op bijlage M7 bij de WABO-aanvraag wijziging inrichting Schoonebeek-447.*

[14] *Door SodM gevraagd extern review op het seismisch risico door waterinjectie, Dr. Elsworth (2015): https://www.sodm.nl/binaries/staatstoezicht-op-de-mijnen/documenten/publicaties/2016/06/23/6-dr-ellsworth---review-of-twente-threat-assessment/6-dr-ellsworth-review-of-twente-threat-assessment.pdf*

[15] *Zoback, M.D. (2012) Managing the Seismic Risk Posed by Wastewater Disposal. ARMA e-NEWSLETTER SPRING 2012, Volume 1, Issue 2 Spring 2012.*

[16] *De NAM geeft aan met het huidige meetnet trillingen te kunnen lokaliseren tussen magnitude van 0,5-1,0.*

SodM oordeelt dat met deze aangescherpte escalatiestructuur schade door aardbevingen kan worden beperkt. Met deze escalatiestructuur kan de NAM bij lichte bevingen van magnitude 0,5-1,5, (doorgaans niet voelbare trillingen) op tijd een adequate analyse doen naar mogelijk oorzaken en daarop bijsturen. In geval van verhoogde seismische activiteit (punt-3) kan de NAM in overleg met de toezichthouder op tijd maatregelen treffen. De kans op herhaling van meerdere zwaardere aardbevingen (magnitudes boven de 2,0) kunnen naar oordeel van SodM worden verkleind met de invulling van de escalatieniveaus volgens bovengenoemde punten 4 en 5. Dat betekent dat bij meer dan twee bevingen per jaar van magnitude tussen 2,0 en 3,0 in ieder geval tijdelijk wordt gestopt en vervolg alleen kan nadat de NAM analyse doet en vervolgmaatregelen voorstelt die door SodM die door SodM worden getoetst. En dat bij één beving met een magnitude groter dan 3,0 voorgoed wordt gestopt.

SodM is van mening dat de precieze oorzaak van de beving (gaswinning en/of injectie) mogelijk niet goed te achterhalen is. Het is daarom noodzakelijk dat er één geïntegreerd SRB is voor de gaswinning en voor de waterinjectie in het Schoonebeek-gasveld.

SodM vindt verder dat de bestaande onzekerheden en beperkingen van de inschatting van de invloed van waterinjectie op het bevingsrisico met aanvullende detailstudies nauwelijks zullen verbeteren. Het zijn onzekerheden die intrinsiek zijn voor operaties in reservoirs in de diepe ondergrond. SodM verwacht dat er tijdens de periode van resterende gasproductie en waterinjectie nog bevingen in het Schoonebeek-gasveld zullen kunnen optreden. De sterkte van deze bevingen zal naar verwachting vergelijkbaar zijn met de reeds opgetreden bevingen. De inschatting van de zwaarst mogelijke beving veranderd niet door de voorgenomen waterinjectie. De sterkte van deze bevingen zal naar verwachting vergelijkbaar zijn met de reeds opgetreden bevingen. De inschatting van de zwaarst mogelijke beving veranderd niet door de voorgenomen waterinjectie. De genoemde onzekerheden over de invloed van waterinjectie spelen ook mee op de gewenste uitwerking van het SRB. Na een beving van een magnitude groter dan 3,0 (op basis van het SRB), is er een reële verwacht dat onderzoek naar de beving geen eenduidige oorzaak zal kunnen geven. SodM adviseert daarom dat de gaswinning en de waterinjectie in het Schoonebeek-gasveld voorgoed stopt na een beving met een magnitude groter dan 3,0.

SodM concludeert dat er één geïntegreerd SRB dient te zijn voor het Schoonebeek-gasveld met de beheersmaatregelen in verband met zowel de gaswinning en de waterinjectie. SodM adviseert om in het besluit een voorschrift op te nemen waarin de NAM wordt gevraagd om een geactualiseerd en geïntegreerd SRB in te dienen met locatie-specifieke implementatie voor het Schoonebeek-gasveld[17]. In dit geactualiseerde SRB dient de NAM in de locatie-specifieke implementatie de escalatieniveau's nader uit te werken, zoals hierboven in hfst.3.2 aangegeven. SodM oordeelt dat het risico van seismiciteit daarmee voldoende kan worden beheerst.

SodM adviseert met oog op de beheersing van het seismisch risico om voorschriften op te nemen dat waterinjectie alleen kan plaatsvinden in aanwezigheid van een adequaat Seismisch Risicobeheersplan en seismisch meetnetwerk:

- De NAM zal binnen zes maanden na instemming met het voorliggende winningsplan een geactualiseerd en geïntegreerd Seismisch Risicobeheersplan indienen, met daarin een locatie-specifieke escalatiestructuur voor de seismische risicobeheersing in het Schoonebeek-gasveld en voor de waterinjectie.
- Waterinjectie vindt alleen plaats met een door de Inspecteur Generaal der mijnen goedgekeurd Seismisch Risicobeheersplan waarin de locatie-specifieke escalatiestructuur is beschreven voor de seismische risicobeheersing in het Schoonebeek-gasveld en voor de waterinjectie.
- Waterinjectie vindt alleen plaats in de aanwezigheid van een seismisch meetnetwerk die in de omgeving van het Schoonebeek gasveld bevingen vanaf een magnitude van 0,5 kan meten en lokaliseren (MoC).

17 Met geïntegreerd en locatie-specifiek SRB wordt bedoeld dat de beheersmaatregelen voor het Schoonebeek-gasveld in het reeds bestaande SRB 'voor kleine velden' kunnen worden uitgewerkt, met een locatie-specifieke implementatie van de escalatieniveau's, en geintegreerd voor zowel de gaswinning als voor de waterinjectie in het Schoonebeek-gasveld.

O.4 Beoordeling van risico van aantasting integriteit van het reservoir en afsluitende lagen door oplossing en andere chemische processen

De NAM geeft in de volgende documenten nadere onderbouwing van de risico's van aantasting van de afsluitende lagen en van de risicobeheersing:

- *Uitwerking Waterinjectie Protocol Injectie van het Schoonebeek oliewater in het Schoonebeek gasveld, Bijlage M7 bij de WABO aanvraag voor wijziging SCH447.*
- *Rapport "Overkoepelende Analyse Ondergrondse Risico's waterinjectie Schoonebeek Zechstein" als onderdeel van bijlagenpakket milieu SCH447, appendix F bij bijlage M7.*
- *het Waterinjectie Management Plan 2023 Waterinjectie Schoonebeek-Zechstein, EP202303201027, Bijlage M8 bij de WABO aanvraag voor wijziging SCH447.*

4.1 Overkoepelende analyse van aanleidingen voor aantasting van de integriteit

In het document '*Uitwerking Waterinjectie Protocol'* geeft de NAM een algemene beschrijving van de waterstroom en mogelijke gevolgen van injectie in het reservoir, voor de putten en de afsluitende laag. In hfst. 3 benoemt de NAM een aantal mogelijke effecten van de waterinjectie in het reservoir, waaronder H_2S vorming, kleizwelling in het reservoir en aanslagvorming rond de injectieputten. Als deze (chemische) effecten van de waterinjectie beperkt blijven tot het reservoir, is er vooral een operationeel risico voor de mijnbouwonderneming; kleizwelling kan de doorlaatbaarheid van het reservoir verslechteren waardoor het injectiewater minder makkelijk het reservoir instroomt. Echter, zolang de drukken in het reservoir binnen vast te stellen veilige begrenzingen blijft, leidt verslechtering van de doorlaatbaarheid enkel tot verslechtering van de operationele condities voor de NAM en niet tot risico's voor mens of milieu.

Als chemische effecten zoals zoutoplossing de afsluitende lagen of breuken aantasten dan zou bij escalatie daarvan wel op termijn een probleem kunnen optreden voor mens en milieu. De NAM identificeert in het rapport '*Overkoepelende Analyse Ondergrondse Risico's*', met behulp van risicobeheerschema's[18], zogenaamde bow-ties, de mogelijke aanleidingen voor oplossing van de afsluitende zoutlaag. Vervolgens identificeert de NAM operationele en natuurlijke barrières om aantasting van de afsluitende laag te vermijden en om zo verlies van injectiewater uit het reservoir te voorkomen.

In hfst. 5 geeft de NAM toelichting over de opbouw van het injectiereservoir en de afsluitende zoutlaag. Het reservoir bestaat uit dolomitische kalksteenlagen van het ZEZ2C Laagpakket met een laagdikte van 70-200 m. Aan de onderkant wordt het reservoir begrensd door een Zechstein anhydrietlaag (ZEZ1A) met een dikte van 150-250 m. Aan de bovenkant wordt het reservoir begrensd door een doorgaans 200-300 m dik pakket Zechstein zoutpakket (ZESA). Het onderste deel van dat zoutpakket bestaat uit een enkele meters dikke Zechstein anhydrietlaag (ZEZ2A) en direct daarboven bevindt zich een pakket met voornamelijk haliet (ook wel steenzout genoemd) of anders (zoutige) kleisteenlagen[19] (ZEUC). Boven deze zoutlaag bevindt zich een pakket kleistenen van de Hoofd-Kleisteen Formatie (RBSM) van zo'n 200 meter dikte, behorend tot de Onder-Germaanse Trias Groep), wat ook het afsluitende gesteente vormt.

In hfst. 5.2.2 gaat de NAM nader in op de interne variaties in dikte van de afsluitende lagen. De NAM stelt dat het anhydriet (ZEZ2A) overal aangetroffen is. Echter in de bestaande put SCH-537B is de anhydrietlaag slechts 3 meter dik en ontbreken daar de halietlagen. De NAM geeft hier nadere toelichting over op basis van observaties die zijn gemaakt bij de boring van de put SCH-537B. In

[18] NAM Rapport 'Overkoepelende Analyse Ondergrondse Risico's waterinjectie Schoonebeek Zechstein', EP202303201028, als onderdeel van bijlagenpakket milieu SCH447, appendix F in WABO aanvraag, binnen het rapport appendices 1-3 van de analyse.

[19] De zoutlaag boven het ZEZ2C reservoir bestaat dus uit meerdere lagen, met algemene aanduiding ZEZ2, ZEZ3 en ZEZ4. In geval dat de anhydriet- en halietlagen van de afsluiting worden onderscheiden, dan worden die respectievelijk aangeduid met ZEZ2A (A voor anhydriet) en ZEZ2H/ZEZ3H/ZEZ4H voor de halietlagen en met tussenliggende lagen van carbonaten, anhydriet of kleisteen. Waar de haliet afwezig is, is een Zechstein kleisteenlaag aanwezig die in de literatuur vaak wordt aangeduid met ZEUC. Zie hiervoor ook de: https://www.dinoloket.nl/stratigrafische-nomenclator/naar-stratigrafische-groep/zechstein-groep

figuur 5.5 toont de NAM de waarnemingen van alle boringen door de afsluitende lagen en reservoir en geeft een interpretatie van de horizontale voortzetting en begrenzing van deze lagen. De NAM beschrijft dat rond put SCH-537B de anhydriet laag (ZEZ2A) 3 m dun is en dat het haliet afwezig is. Verder kan uit de interpretatie van de NAM worden opgemaakt dat zich boven de dunne anhydriet laag mogelijk eerst een zandige/permeabele laag aanwezig is en daarboven een Zechstein kleisteenlaag (ZEUC). Het totale pakket van anhydriet, haliet en kleisteen lagen definieert de NAM als de primaire afsluitende laag met daarboven de eerder genoemde Hoofd-Kleisteen Formatie (RBSM).

De eigenschappen van deze verschillende gesteentelagen boven en naast het injectiereservoir zijn van belang in de overwegingen over aanleiding voor aantasting van de afsluitende lagen en de wijze waarop aantasting vermeden en lekkage uit het injectiereservoir verhinderd wordt. De NAM onderbouwt in het rapport hoe deze combinatie van eigenschappen van de verschillende gesteentelagen gezamenlijk de natuurlijke barrière vormt tegen de uitstroom van gas en water.

In het onderstaande geeft SodM een oordeel van de risico's van lekkage uit het reservoir via de afsluitende laag op basis van de volgende beoordelingsstappen:

- De status van afsluiting boven, naast en onder het injectiereservoir, inclusief het onderliggende aquifer;
- Maatregelen ter voorkoming van aantasting van de afsluitende laag door zoutoplossing;
- Inschatting van het risico in geval van voortgaande zoutoplossing van haliet bij blootstelling van zoet water;
- Beoordeling van de beheersing van het resterende risico van aantasting van de afsluitende laag en van lekkage.

4.2 De status van afsluiting boven, naast en onder het injectiereservoir (inclusief het aquifer)

De NAM geeft aan dat uit seismische gegevens over de opbouw van het injectiereservoir en de afsluitende lagen blijkt dat rond de gekozen locaties voor de nieuwe injectieputten de afsluitende anhydriet- en halietlagen voldoende aanwezig zijn. Tegelijk laat de NAM met de putgegevens in meer detail zien wat de variaties kunnen zijn in de interne opbouw van de afsluitende lagen.

De bovengegeven toelichting over de variaties in de interne opbouw van de afsluitende lagen onderstreept voor SodM het belang om inzicht te hebben in de gegevens op basis van de nader vast te stellen precieze locaties van de injectieputten en op basis van de daadwerkelijke boringen van de injectieputten. De Mijnbouwwet voorziet in het afgeven van instemmingsbesluit of vergunning op basis van het voorliggende plannen en dat daarna de details van de boringen via een werkprogramma en via een boorrapporten door de toezichthouder worden getoetst.

Naast de begrenzing van het reservoir aan de bovenkant is ook de begrenzing aan de zij- en onderkant van belang. Door de gebogen en verbroken structuur van de gesteentelagen (zichtbaar in de seismische gegevens), begrenzen de afsluitende lagen het reservoir niet alleen aan bovenkant maar ook aan de zijkanten (figuur 5.3, rapport '*Uitwerking Waterinjectie Protocol*'; figuur 13.2 van het Winningsplan Schoonebeek-gas). De onderkant van het Schoonebeek-gasveld wordt gevormd door het gas-watercontact. Bovenin het reservoir zat in het verleden het aardgas onder de hoge initiële reservoirdruk van 358 bar (op referentiediepte van 3000 m, TVDSS) ingevangen en drukte naar beneden toe tegen het onderliggende vrije formatiewater. De grens tussen het aardgas bovenin het reservoir en het vrije formatiewater wordt het gas-watercontact genoemd. Dit vrije water onder het gas-watercontact, maar binnen de reservoir laag, wordt in de rapporten van NAM het aquifer genoemd.

In het kader van het Landelijk afvalbeheerplan 3 (LAP3) komen bij het beginsel van terugneembaarheid van afval in de ondergrond, met betrekking tot de injectie in de diepe ondergrond, drie overwegingen naar voren: dat het ontvangende reservoir over een goede afdichting beschikt, voldoende compatibel is, en dat het aquifergedrag beperkt is. SodM heeft in deze beoordeling getoetst dat er voldoende zekerheid is dat het injectiewater in het Schoonebeek-gasveld opgesloten blijft.

SodM oordeel

Met betrekking tot overwegingen over aquifergedrag constateert SodM dat door de afname van de neerwaartse druk in het gasveld het onderliggende aquifer (het vrije water onder de gaskolom) omhoog kan komen. In het rapport '*Uitwerking Waterinjectie Protocol*' beschrijft de NAM dit gedrag in Appendix C over '*waterproductie*' (hfst. C2). Dit is aquifergedrag dat vaak voorkomt in de laatste fase van gaswinning. Voor SodM ligt hierin geen aanleiding voor vragen over de integriteit van het reservoir en afsluitende lagen. Ook met het beschreven aquifergedrag kan de integriteit geborgd blijven zolang injectie plaatsvindt binnen de veilige reservoir- en injectiedrukken. SodM oordeelt dat het effect van het aquifer gedrag voldoende beperkt is zolang de gemiddelde reservoirdruk onder de hydrostatische druk blijft. Daarmee kan geïnjecteerd water niet onderlangs via het aquifer wegstromen.

SodM oordeelt dat het voldoende aanwezig zijn van de afsluitende lagen boven het reservoir en rond de gekozen locaties van nieuwe injectieputten een belangrijk uitgangspunt is om in te kunnen stemmen met de plannen. De in de aanvraag gegeven informatie is voldoende om de rol van de verschillende barrières af te wegen en om het belang van dit uitgangspunt te herkennen. Het juiste moment om de definitieve putlocaties te toetsen is met de beoordeling van het werkprogramma voor het aanleggen (boren) van de injectieputten. Dat werkprogramma wordt op een latere moment voor aanvang van de boringen ingediend bij SodM conform de vereisten van de Mijnbouwwet en dan door SodM beoordeeld. SodM verwacht hier extra tijd voor nodig te hebben. SodM adviseert om dit als voorschrift op te nemen. De aanwezigheid van geschikte afsluitende lagen kan definitief worden vastgesteld na het eindrapport van de boringen (*End of Well report*) en op basis van aanvullende analyse van de NAM van die gegevens worden beoordeeld.

4.3 Maatregelen ter voorkoming van aantasting van de afsluitende laag door zoutoplossing

In het rapport met de '*Uitwerking Waterinjectie Protocol Injectie*' geeft de NAM een inschatting van het risico van aantasting van de afsluitende laag door zoutoplossing. Na de toelichting over de opbouw van de afsluitende lagen en de werking geeft de NAM in hfst. 8.3 nadere onderbouwing over het risico van zoutoplossing.

Het pakket van afsluitende Zechstein lagen bevat meerdere halietlagen en vormt samen met anhydriet- en kleisteenlagen de afsluiting. Deze lagen hebben als vergelijkbare eigenschap dat aardgas en vloeistoffen zoals injectiewater er zeer slecht in kunnen doordringen. Daarentegen kan haliet wel oplossen als het in contact komt met het zoete injectiewater. De anhydrietlaag tussen het reservoir en het bovenliggende haliet vermindert de kans dat het zoete injectiewater in contact komt met het haliet en dat het kan oplossen. Bovendien is anhydriet zeer stijf waardoor het moeilijk samendrukt onder hoge gesteentespanning. Daarentegen kan in de anhydrietlaag wel scheurvorming optreden als de vloeistofdruk en rekspanningen (door afkoeling) daar te groot worden. Haliet daarentegen zal eerder de neiging hebben tot vloeigedrag door de relatief hoge temperaturen in de op 2900 m diepe lagen. Nadere beoordeling van het risico van aantasting van de afsluiting door scheurgroei volgt in bijlage O.5.

De NAM geeft op basis van seismische data en gegevens uit boringen van putten een interpretatie van de opbouw van de afsluitende lagen. De NAM geeft zowel aan dat het anhydriet in de geboorde putten overal is aangetroffen, maar erkent tegelijk ook dat er onzekerheid blijft over of de laag daarmee overal aanwezig is. Voor een aantal locaties zou het reservoir alsnog in direct contact kunnen staan met oplosbaar haliet. Naast de bovenbeschreven variaties binnen de afsluitende lagen, is er ook de mogelijkheid van reeds aanwezige scheurtjes in de anhydrietlaag die gevuld kunnen zijn met haliet, of plekken waar door verplaatsing langs breuken het reservoir in contact kan staan met een halietlaag. Als op die plekken zoet water kan komen, is beginnende zoutoplossing niet uit te sluiten.

De NAM wil met hun selectie van nieuwe injectieputlocaties de kans op zoutoplossing zo klein mogelijk maken. De locatiekeuze van de injectieputten moet ervoor zorgen dat er voldoende afstand is tussen zoet water en breuken. Locaties waar de reservoirlaag in contact zou kunnen staan met de halietlaag zijn in seismische gegevens te zien als dat is gebeurd door verschuivingen van lagen langs grote breuken.

De NAM zegt met de selectie van de locaties voor de injectieputten toe dat een ruime afstand wordt gekozen tot deze breuken. De NAM geeft met berekeningen van de verspreiding van

injectiewater in het reservoir een inschatting en komt tot een afstand van 140 meter voor het zoetwaterfront als een veilige afstand. De NAM rekent daaroverheen een extra marge van 75 meter in verband met onzekerheden, vooral door beperkingen in de horizontale resolutie van seismische data op basis waarvan de positie van breuken wordt geïnterpreteerd.

SodM oordeel

SodM concludeert dat door de onzekerheden in de interpretaties van de opbouw van lagen in de diepe ondergrond lokaal niet kan worden uitgesloten dat de anhydriet op plekken afwezig is. De aangegeven variaties binnen de primaire afsluitende lagen laat naar oordeel van SodM zien dat beginnende zoutoplossing niet kan worden uitgesloten, in geval dat het zoete water zover kan stromen dat het op plekken komt waar de anhydrietlaag ontbreekt.

SodM schat in dat de kans op beginnende oplossing van haliet in het scenario van direct contact tussen zoet water en haliet bij breuken kan worden gereduceerd met deze toezegging van de NAM over de locatiekeuze van nieuwe injectieputten. Echter, doordat het Schoonebeek-gasveld een kalkstaan reservoir is met een netwerk van scheurtjes blijft er een kans dat water een groter bereik heeft en dat contact tussen zoet water en haliet niet kan worden uitgesloten. De NAM zegt in het Waterinjectie Management Plan toe dat bij aanvang van de waterinjectie via '*fall-off*' metingen zal worden bepaald of bij de waterinjectie scheurtjes in het reservoir worden opengedrukt (zie hfst 5.3 van deze beoordeling).

Voor SodM vormt het belang van de locatiekeuze van nieuwe putten reden om het werkprogramma voor het aanleggen (boren) van de injectieputten en de resultaten van de boringen hier extra op te willen beoordelen. SodM doet in het kader van de Mijnbouwwet al toetsing van het werkprogramma. SodM verwacht door de extra toetsing, extra tijd nodig te hebben. SodM adviseert daarom hierover een voorschrift op te nemen.

4.4 Inschatting van het risico in geval van voortgaande zoutoplossing van haliet bij blootstelling van zoet water

De NAM verwijst voor het scenario van oplossing van haliet naar het rapport "*Overkoepelende Analyse Ondergrondse Risico's Waterinjectie Schoonebeek Zechstein*". Dit is een scenario dat de NAM wil vermijden door het zoete water op voldoende afstand van grote breuken te injecteren. De kans kan daarmee worden verkleind maar daarmee verdient het scenario van zoutoplossing nog steeds verdere analyse. De NAM verwijst voor deze analyse naar onderzoek dat de NAM in 2014 heeft uitgevoerd[20]. De NAM gaat daarmee in op het scenario waarin geleidelijk zout van de afsluitende laag zou oplossen wanneer niet-verzadigd (zoet) injectiewater in direct contact komt met de afsluitende halietlagen en wanneer dat water door stroming wordt ververst.

SodM heeft deze studie en modelberekeningen van zoutoplossing in 2015 laten beoordelen door onafhankelijke reviewers[21]. SodM schat in dat deze studie ook voor de waterinjectie in het Schoonebeek gasveld relevant is en heeft de NAM in 2023 aanvullende vragen gesteld over de toepasbaarheid op de waterinjectie in het Schoonebeek-gasveld. De NAM heeft hierop aanvullende toelichting gegeven[22] over de overeenkomsten en de verschillen tussen de waterinjectie in Twente-gasvelden en het Schoonebeek-gasveld en de effect daarvan op de oplosbaarheid van haliet.

In de modelberekening van zoutoplossing (2014) gaf de NAM een inschatting van de tijdsduur en van de mate waarin zoutoplossing zou kunnen optreden als gevolg van de circulatie van het geïnjecteerde zoete water. De externe reviewers (2015) bevestigden de conclusies van de NAM dat het enkele duizenden jaren duurt voordat watercirculatie op afstand van de injectieputten kan optreden zodanig dat zoet water in lokaal contact met de zoutlaag ververst wordt en het water met opgelost zout kan wegstromen. Slechts onder deze condities van circulatie zou voortgaande

[20] NAM rapport, *Halite dissolution modelling of water injection into Carbonate gas reservoirs with a Halite seal,* December 2014, EP201310203080; de voor de NAM voor Schoonebeek-waterinjectie relevante onderdelen van dit rapport heeft de NAM verwerkt in de voorliggende aanvraag, in de bijlage M7 '*Uitwerking Waterinjectie Protocol*'.

[21] SodM evaluatie, 2016 naar aanleiding van externe reviews in 2015 op NAM rapporten (2014), zie: https://www.sodm.nl/documenten/publicaties/2016/06/23/7-evaluatie-reviews-waterinjectie

zoutoplossing kunnen optreden en zou de afsluitende zoutlaag kunnen oplossen waar die in direct contact staat met het opslagreservoir.

In de aanvullende toelichting van 17 oktober 2023 gaat de NAM in op vragen van SodM over de toepasbaarheid van de modelberekening van zoutoplossing uit 2014. De NAM geeft uitleg over de reservoirtemperatuur (123 °C) en de horizontale en verticale permeabiliteit (een zogenaamde Kv/Kh-ratio van 1,0) in het Schoonebeek gasveld. Het aanwezige formatiewater heeft een hoge temperatuur, en dat vermengt zich met het koude injectiewater. Door vermenging met warm formatiewater (warmer dan bij eerdere waterinjectie in Twente) verwacht de NAM een beperkte toename in oplosbaarheid. Door het voldoende brede bereik van modelparameters in de modelberekeningen van 2014 passen ook de reservoirparameters van het Schoonebeek gasveld binnen de marges van die modelberekeningen.

Oordeel SodM

De mate waarin grootschalige zoutoplossing zou kunnen optreden als gevolg van de circulatie van het geïnjecteerde zoete water. En dat geldt voor de situatie waarin zoet injectiewater in contact kan komen met de halietlagen en de kans daarop is ook klein. SodM oordeelt dat de kans op beginnende zoutoplossing mogelijk is maar dat de kans op voortgaande zoutoplossing met als gevolg de vorming van een lekpad of holruimte zeer klein is door de bovenbeschreven natuurlijke barrières die de helpen om bij beginnende aantasting te verhinderen dat er een lekpad ontstaat.

4.5 Beoordeling van de beheersing van het resterende risico van aantasting van de afsluitende laag en van lekkage

De NAM formuleert in het rapport '*Overkoepelende Analyse Ondergrondse Risico's*' (in risicobeheerschema's) een aantal barrières die het risico van de ontwikkeling van een continu lekpad en van lekkage moeten helpen te minimaliseren. De verwachting is dat het haliet op vrijwel de meeste plekken aanwezig is. Daar werkt de door de NAM gedefinieerde extra barrière die ervoor zorgt dat ook in geval van beginnende zoutoplossing de ontwikkeling van grotere holruimtes en van een lekpad wordt vermeden doordat het haliet vloeit en daarmee een ruimte dichtdrukt.

Op plekken waar het haliet afwezig is, zoals blijkt uit de gegevens van put SCH-537B, is daarvoor in de plaats een Zechstein kleisteenlaag. Die kleisteen zelf lost niet op maar draagt in de nabijheid van haliet en bij eventuele oplossing daar ook niet bij aan vloeigedrag. Daar werkt deze extra barrière dus niet. De NAM geeft daarvoor als extra barrière aan dat boven het gehele Schoonebeek gasveld alsnog een continu kleisteen pakket van het Hoofd-Kleisteen Formatie (RBSM) aanwezig is met een dikte van zo'n 200 meter dikte.

Als laatste, in het slechtste scenario, met een zeer lage kans, dat er toch een volledig lekpad zou ontstaan dan helpt de begrenzing van de gemiddelde reservoirdruk die lager is dan de hydrostatische druk. Met deze begrenzing van de reservoirdruk is de druk over het gasveld en over individuele compartimenten onder de hydrostatische druk waardoor het risico van lekkage op afstand van de put verwaarloosbaar is. Dit komt doordat er op voldoende afstand van de injectieputten, in het reservoir geen opwaarts stromingspotentieel is zolang de druk onder de hydrostatische druk blijft. Zie bijlage O.5 voor verdere beoordeling van deze gemiddelde reservoirdruk en van de injectiedruk lokaal bij de putten.

SodM oordeel

SodM verwacht dat het vloeigedrag van haliet op een diepte van 2900 m, waar de afsluitende lagen zich bevinden, de temperaturen voldoende hoog zijn voor de werking van deze extra barrière tegen de ontwikkeling van grotere holruimtes en tegen de ontwikkeling van een continu lekpad.

SodM oordeelt dat de NAM met de *overkoepelende analyse*[23] in voldoende mate de operationele en natuurlijke barrières heeft geïdentificeerd ter mitigatie van de risico's van aantasting van de afsluitende laag en van lekkage.

[23] NAM Rapport '*Overkoepelende Analyse Ondergrondse Risico's waterinjectie Schoonebeek* Zechstein', EP202303201028, als onderdeel van bijlagenpakket milieu SCH447, WABO aanvraag, appendix F.

De NAM geeft voldoende invulling aan de gewenste risicobeheersing via deze barrières. Daarmee wordt de kans verkleind dat de aanleidingen voor aantasting van de afsluitende laag zich kunnen voordoen. In het Waterinjectie Management Plan (WMP) beschrijft de NAM de 'surveillance activiteiten en testen' en de mogelijke 'follow-up'. SodM oordeelt dat hiermee beginnende aantasting van integriteit in de zeer directe nabijheid van de putten mogelijk kunnen worden opgemerkt. Analyses laten zien dat geen monitoring mogelijk is voor de vroegtijdige signalering van aantasting van de afsluitende laag buiten de invloedsfeer van de injectieputten. Ter voorkoming van substantiële zoutoplossing op afstand van de putten wordt door de NAM een beroep gedaan op voorzorgsmaatregelen en op de aanwezigheid en effectiviteit van een aantal natuurlijke barrières. De belangrijkste voorzorgmaatregel is de positionering van de waterinjectieputten die moeten liggen op voldoende afstand van breuken, en van naast en bovenliggende oplosbaar halietlagen. Ook dienen bij de boringen aan te treffen afsluitende gesteentelagen overeen te komen met de in aanvraag gestelde verwachting dat de anhydriet en haliet voldoende aanwezig is. SodM concludeert dat daarmee de risico's van aantasting van de afsluitende lagen voldoende geborgd kunnen worden.

SodM adviseert om voor te schrijven dat de NAM ruim voor de aanvang van de werkzaamheden de definitieve plannen van putontwerp en het ondergrondse traject van de putten aan SodM voorlegt om te kunnen toetsen aan de in de aanvraag voorgestelde risicobeheersmaatregelen:

- Uiterlijk 12 weken voor aanvang van aanleg van de injectieputten dient de Nederlandse Aardolie Maatschappij B.V. bij de Inspecteur-generaal der mijnen een plan in waarin het putontwerp en de ondergrondse trajecten van de putten in relatie tot gesteentelagen en (breuk)strukturen zijn beschreven en waaruit blijkt hoe de voorgestelde risicobeheersmaatregelen in het putontwerp zijn geïmplementeerd.

SodM adviseert om een voorschrift op te nemen voor een onderbouwing van de aanwezigheid van een geschikte afsluitende gesteentelagen op basis van de resultaten in het eindrapport van de boringen van de injectieputten:

- De NAM dient binnen 6 weken na het eindrapport van de boringen van injectieputten bij de Inspecteur-generaal der mijnen een onderbouwing in die laat zien dat de in de aanvraag toegezegde integriteit en sterkte van de afsluitende gesteentelagen aanwezig is.

SodM adviseert met oog op beheersen van de integriteit van de afsluitende lagen om voor te schrijven dat de waterinjectie plaatsvindt conform een door de Inspecteur Generaal der mijnen goedgekeurd Waterinjectie Management Plan:

- Injectie vindt alleen plaats conform een door Inspecteur Generaal der mijnen goedgekeurd waterinjectie management plan.
- Voor wijziging van het Waterinjectie Management Plan is goedkeuring vereist van de Inspecteur Generaal der mijnen.

O.5 Beoordeling van risico van aantasting integriteit via scheuren in afsluitende lagen door hoge injectiedruk, reservoirdruk of reservoirstimulatie

5.1 Inleiding over de wijze van aantasting van de afsluitende laag door scheurgroei

In de overkoepelende risicoanalyse heeft de NAM de scheurgroei correct geïdentificeerd als mogelijk aanleiding voor aantasting van de integriteit van de afsluitende laag. De NAM licht toe dat de druk waarbij mogelijke scheurvorming in de afsluitende laag boven het reservoir kan optreden wordt berekend aan de hand van geomechanische eigenschappen van het gesteente.

In het rapport met de "*Uitwerking Waterinjectie Protocol Injectie"* geeft de NAM in Appendix D nadere toelichting over de "*Water injectie in fractured reservoirs*". De NAM beschrijft de mogelijke operationele omstandigheden van injectie in de kalksteen-lagen van Schoonebeek-gasveld met een scenario van injectie onder lage injectiedruk en onder hoge injectiedruk. In geval van injectie onder hoge injectiedruk zouden in het reservoir bestaande scheuren kunnen worden opengedrukt of

nieuwe scheuren kunnen groeien. In het WMP zegt de NAM toe om bij het begin van de waterinjectie met injectiviteitstesten vast te stellen in hoeverre injectie plaatsvindt via het scheurnetwerk, en of er sprake is van injectie onder '*fracturing condities*'.

Het openen en groeien van scheuren in het reservoirgesteente vormt op zichzelf geen risico zolang de afsluitende lagen daarmee niet worden aangetast. Wel kan geïnjecteerd water makkelijker breuken bereiken als het via een netwerk van scheuren door het reservoir stroomt. De onderstaande beoordeling over injectiedruk speelt daarom ook een rol in de beoordeling van het effect van waterinjectie op breuken (volgens mechanismen IV en V in Hfst 2.1 van bijlage O.2).

De belangrijkste aanleidingen voor aantasting van de afsluitende laag door scheurgroei en voor lekkage uit het reservoir:

a. Als de gemiddelde reservoirdruk in het reservoir te hoog wordt;
b. Als de vloeistofdruk lokaal in en rond de injectieputten te hoog wordt;
c. Als door injectie van relatief koud water het gesteente in het reservoir en rond de put te sterk afkoelt dat zich krimpscheuren vormen.

Het is goed om op te merken dat van nature in het reservoirgesteente van het Schoonebeek-gasveld reeds scheuren aanwezig zijn. Gedurende de lange geologische geschiedenis hebben zich in de kalksteenlagen van het reservoir een netwerk van scheuren gevormd. Dit komt veel voor in dit soort kalksteen reservoirs. Wanneer die bestaande natuurlijke scheuren open staan of open wordt gedrukt door de waterinjectie, dan kan het water makkelijker door een netwerk van open scheuren het reservoir in stromen. Scheuren in het reservoir is geen risico zolang de scheuren niet in en door de afsluitende laag heen groeien. In het bovenliggende steenzout zijn scheuren van nature zeer ongebruikelijk doordat met het vloeigedrag van het zout scheurgroei wordt tegengegaan. Met de waterinjectie mag de druk niet zodanig hoog worden dat alsnog scheurgroei in afsluitende gesteentelagen zou kunnen optreden.

In het onderstaande geeft SodM de beoordeling van dit risico en de risicobeheersing door begrenzing van de injectie- en reservoirdruk.

5.2 Drukbegrenzing ter voorkoming van lekkage via scheuren door de afsluitende laag

In hfst. 6 van de uitwerking op basis van het waterinjectie protocol[24] geeft de NAM achtereenvolgens een onderbouwing van de injectiedrukken in vergelijking tot de druk waarop de afsluitende lagen kunnen scheuren (hfst. 6.1.1. m.b.t. de sterkte van de afsluitende laag). De NAM geeft verder een inschatting van het totale volume dat de NAM verwacht veilig te kunnen injecteren (de injectiecapaciteit) op basis van het totaal geproduceerde hoeveelheid gas.

De NAM geeft een inschatting (hfst. 6.3.) van de 'wateropslagvolumes' voor verschillende compartimenten van het gasveld en komt tot een totale volume van 43,5 miljoen m^3 voor de verschillende compartimenten samengenomen (de injectiecapaciteit). De NAM maakt bij de inschatting onderscheid tussen een Noordelijk en Zuidelijk compartiment, waarbij in het noordelijk compartiment het reservoir verder wordt opgedeeld in een westelijk en oostelijk compartiment. Uit de gaswinning blijkt dat er enige mate van drukcommunicatie is tussen de noordelijke compartimenten en het zuidelijke compartiment. Het zuidelijk compartiment van het veld verwacht de NAM te vullen via waterinjectieputten vanaf de SCH-447 locatie. De noordelijke compartimenten deels via de nieuw aan te vragen waterinjectie vanaf de SCH-313 locatie, eveneens voor water afkomstig uit het Schoonebeek-olieveld. Daarnaast heeft er zowel in de noordelijke als zuidelijke compartimenten waterinjectie plaatsgevonden van de vergunde injectie van water uit gasvelden.

De NAM geeft aan in totaal 33 miljoen m^3 volume in het reservoir te injecteren, uitgesplitst in een 12,9 miljoen m^3 vanaf locatie SCH-447 en 20,1 miljoen m^3 vanaf de locatie SCH-313.[25] Bovendien zegt de NAM toe dat met de waterinjectie wordt gestopt zodra de reservoirdruk het niveau van de hydrostatische druk van 318 bar op referentiediepte van 3000 meter (TVDSS[26]) heeft bereikt.

---

[24] NAM rapport EP202303201029, april 2023, Uitwerking Waterinjectie Protocol - Injectie van het Schoonebeek oliewater in het Schoonebeek gasveld, bijlage M7 bij de WABO-aanvraag wijziging inrichting Schoonebeek-447.
[25] 33 miljoen m^3 wordt genoemd in hfst. 6.4 van het winningsplan Schoonebeek-gas, versie 2.0, juli 2023.
[26] TVDSS staat voor 'True Vertical Depth below Sea Level', de verticale diepte gemeten vanaf zeeniveau.

SodM oordeelt dat de drukbegrenzing, meer dan de begrenzing van het totale volume, van belang is voor de veilige uitvoering van de waterinjectie met oog op de integriteit van het reservoir en de afsluitende lagen. SodM beoordeelt deze drukbegrenzing van 318 bar als bovengrens voor de gemiddelde reservoirdruk in gasveld een veilige drukbegrenzing om de volgende redenen.

De hydrostatische druk is de vloeistofdruk als wordt uitgegaan van het gewicht van de waterkolom vanaf een referentiediepte tot aan zeeniveau. Op een referentie diepte van 3000 meter (TVDSS) in het reservoir bedraagt deze druk 318 bar, uitgaande van hydrostatische gradiënt van 0,106 bar/m voor het formatiewater in de gesteentelagen boven het reservoir. De initiële reservoirdruk in het Schoonebeek gasveld was 358 bar op deze referentiediepte van 3000 m (TVDSS). Dat betekent dat de gasdruk voor aanvang van de gaswinning in het Schoonebeek gasveld hoger was dan de tegendruk van een volledige waterkolom op die diepte. Deze gasdruk werd gedurende de lange geologische tijd tegengehouden door de afsluitende zoutlagen die opwaartse stroming van het aardgas uit het reservoir verhinderde. De afsluitende zoutlaag vormt daarmee een barrière die stroming verhindert ook wanneer vloeistofdruk hoger is dan de hydrostatische druk.

Op basis van berekeningen van de sterkte van de afsluitende laag (hfst. 6.1.1) komt de NAM tot de inschatting dat de maximum toelaatbare vloeistofdruk die de afsluitende zoutlaag aan kan voordat het gaat scheuren. Aan de hand van berekeningen van de formatiesterkte die bepaald wordt door de horizontale gesteentespanning in de afsluitende halietlaag (het steenzout) komt de NAM tot een inschatting van 638 bar. Dit is op basis van een verwachte reele gradiënt van de minimum horizontale spanning van 0,22 bar/m en berekend voor een diepte van 2900 meter in de afsluitende laag.

De NAM vraagt aan om bovenaan de injectieputten een druklimiet van 250 bar te mogen hanteren (de *Flowing Tubing Head Pressure*, FTHP). Onderin de injectieputten komt de injectiedruk daarmee uit op een maximum druk van 549 bar (de *Flowing Bottomhole Pressure*, FBHP) Deze FBHP is de optelsom van de FTHP en het gewicht van een 2900 meter waterkolom van het injectiewater, gerekend met een hydrostatische gradiënt voor het injectiewater van 0,103 bar/m. Doordat de wrijvingsverliezen als gevolg van stroming langs de binnenbuis bij deze FBHP niet zijn meegenomen, zal de daadwerkelijk maximum druk onderin de injectieputten iets lager zijn. De injectiedruk bovenin de put als FTHP te begrenzen, overeenkomstig de aanvraag van de NAM, heeft als voordeel dat die druk makkelijker handhaafbaar is doordat de FTHP direct gemeten kan worden bovenaan de injectieputten.

SodM vindt het van belang dat de druk in het reservoir wordt begrensd, zowel als een gemiddelde reservoirdruk over het hele gasveld, als ook de lokale druk in en nabij de injectieputten. Lokaal mag de injectiedruk hoger zijn dan de gemiddelde reservoirdruk, als dat veilig kan. En zolang de gemiddelde reservoirdruk begrensd blijft tot de hydrostatische druk.

SodM stelt vast dat de NAM voor de gemiddelde reservoirdruk kiest voor een veilige marge door het reservoir te vullen tot de hydrostatische druk en niet tot de hogere initiële reservoirdruk. Daarmee blijft de NAM met de aangegeven gemiddelde reservoirdruk van 318 bar op referentiediepte van 3000 meter (TVDSS) ruim onder de veilige marge van de vloeistofdruk. Het reservoir en de afsluitende gesteentelagen hebben laten zien gedurende een lange geologische geschiedenis hogere vloeistofdrukken aan te kunnen.

Ook de door de NAM voorgestelde injectiedruk blijft ruim onder de druk waarop scheurgroei in de afsluitende haliet zoutlaag kan optreden. Echter, de omstandigheid van injectie van koud water (20 °C) in een relatief warm reservoir (~120 °C) vereist een ruime marge[27]. SodM adviseert om die injectiedrukken vast te leggen bovenaan de put volgens de door de NAM aangevraagde FTHP. Echter, als uit de boringen van de nieuwe injectieputten blijkt dat het haliet daar afwezig is of zeer dun is, zal de begrenzing van de lokale injectiedruk daaraan moeten worden aangepast om een ruime veiligheidsmarge te kunnen handhaven. De berekening van de FBHP is immers gebaseerd op het uitgangspunt dat er voldoende haliet aanwezig is om een horizontale gesteentespanning te hebben waar de NAM in de aanvraag rekening mee houdt. Als verwachtingswaarde gaat de NAM in de aanvraag uit van 0,22 bar/m; SodM gaat uit van een minimale gradiënt van 0,21 bar/m om bij

[27] *1 bar/°C geeft een grove inschatting van de verandering in de gesteentespanning door afkoeling, wat overeenkomt met 50 bar (ΔS) als minimale marge voor een temperatuurverschil van 100 °C.*

een FTHP van 250 bar een voldoende veiligheidsmarge te behouden[28]. Om deze reden adviseert SodM om in het voorschrift over de begrenzing van de injectiedruk de nadere bepaling toe te voegen dat die drukken enkel gelden mits ondersteund door de in de injectieputten aangetoonde gesteentes en daaruit volgende horizontale gesteentespanning. SodM doet in het kader van de Mijnbouwwet reeds toetsing van de eindrapporten van de boringen. SodM adviseert om een voorschrift op te nemen voor een onderbouwing van de sterkte van de aangetroffen afsluitende gesteentelagen op basis van de resultaten (in het eindrapport) van de boringen.

5.3 Beheersing van de reservoir permeabiliteit en de effecten van put- of reservoirstimulatie

In hfst. 8.2 van de uitwerking op basis van het waterinjectie protocol[29] beschrijft de NAM de wijze waarop ze van plan is om permeabiliteit (doorstroming van het injectiewater) rond de injectieputten te behouden of te verbeteren. Hoeveel debiet (m^3 water per dag) kan worden geïnjecteerd hangt sterk af van de doorlaatbaarheid van het gesteente, direct rond de injectieputten. Dit kan worden verbeterd door het bevorderen van de permeabiliteit van het reservoirgesteente in de directe omgeving van de waterinjectieput.

De NAM beschrijft de mogelijkheid putstimulatie met zuur om de doorlaatbaarheid te verbeteren. Ook benoemt de NAM dat de waterinjectie mogelijk onder '*fracturing condities*' kan plaatsvinden. Dit is beschrijving van hydraulische stimulatie ook wel 'fracking' genoemd. Daar is met de voorliggende aanvraag en met de nadere toelichting geen sprake van.

De NAM zegt in het Waterinjectie Management Plan toe dat bij aanvang van de waterinjectie via 'fall-off' metingen zal worden bepaald of de injectie onder *'fracturing condities'* plaatsvindt. SodM vindt het van belang op de omstandigheden van de waterinjectie te begrijpen en deze test kan daarbij helpen. De NAM blijft ook in geval van injectie onder *'fracturing condities'* binnen de bovengenoemde 250 bar THP. En ook SodM heeft in bovenstaande beoordeling van deze injectiedruk rekening gehouden met injectie onder '*fracturing condities*'.

SodM adviseert met oog op de beheersing van de integriteit van het reservoir en afsluitende laag om twee voorschriften op te nemen waarin de gemiddelde reservoirdruk en de FTHP als limieten worden vastgelegd:

- De gemiddelde reservoirdruk in het Schoonebeek gasveld, en in de individuele compartimenten, zal de hydrostatische druk van 318 bar op referentiediepte van 3000 m (TVDSS) niet overstijgen.
- De injectiedruk gemeten aan het maaiveld (de Flowing Tubing Head Pressure, FTHP) bedraagt maximaal 250 bar, mits de afsluitende laag rond de injectieputten een minimum horizontale gesteentespanning ondersteunt die overeenkomt met een gradiënt van minimaal 0,21 bar/m.

SodM adviseert om een voorschrift op te nemen voor een onderbouwing van de sterkte van de aangetroffen afsluitende gesteentelagen op basis van de resultaten in het eindrapport van de boringen van de injectieputten:

- De NAM dient binnen 6 weken na het eindrapport van de boringen van injectieputten bij de Inspecteur-generaal der mijnen een onderbouwing in die laat zien dat de in de aanvraag toegezegde integriteit en sterkte van de afsluitende gesteentelagen aanwezig is.

SodM adviseert om voorschriften op te nemen over het monitoren en rapporteren van beide drukken conform de methodiek en rapportagefrequenties zoals beschreven in het Waterinjectie Managementplan.

- Injectie vindt alleen plaats conform een goedgekeurd waterinjectie management plan.
- Voor wijziging van het Waterinjectie Management Plan is goedkeuring vereist van de Inspecteur Generaal der mijnen.

[28] *marge van 60 bar, ook in het scenario dat koud injectiewater de afsluitende laag afkoelt.*

[29] *NAM rapport EP202303201029, april 2023, Uitwerking Waterinjectie Protocol - Injectie van het Schoonebeek oliewater in het Schoonebeek gasveld, ingediend als bijlage M7 bij de WABO-aanvraag wijziging inrichting Schoonebeek-447.*

Bijlage O.6 Beoordeling van de integriteit van de injectieputten

6.1 Inleiding

De NAM heeft een risicoanalyse uitgevoerd op de integriteit van injectieputten.

Voor deze beoordeling van de integriteit van injectieputten heeft SodM de volgende documenten gebruikt:

- *Uitwerking Waterinjectie Protocol Injectie van het Schoonebeek oliewater in het Schoonebeek gasveld, Bijlage M7 bij de WABO aanvraag voor wijziging SCH447.*
- *Rapport "Overkoepelende Analyse Ondergrondse Risico's waterinjectie Schoonebeek Zechstein" als onderdeel van bijlagenpakket milieu SCH447, appendix F bij bijlage M7.*
- *het Waterinjectie Management Plan 2023 Waterinjectie Schoonebeek-Zechstein, EP202303201027, Bijlage M8 bij de WABO aanvraag voor wijziging SCH447.*

De basis van de risicoanalyse bestaat uit een bow-tie analyse die begint met een identificatie van de mogelijke ongewenste gebeurtenissen (putlekkage) en de identificatie van aanleidingen voor lekkage (de dreigingen). In het geval van putintegriteit zijn de vastgestelde ongewenste gebeurtenissen een putlekkage en zoutoplossing. De beoordeling van het risico van zoutoplossing geeft SodM in bijlage O.4. In deze bijlage O.6 geeft SodM beoordeling van het risico van putlekkage vanuit de put in verband met de waterinjectie.

De NAM geeft in de *Overkoepelende Analyse* een beschrijving van de *dreigingen* die de integriteit van injectieputten kunnen aantasten waardoor put lekkage kan ontstaan, en de mogelijke *effecten* van een dergelijke lekkage. De NAM heeft vervolgens *barrières* geïdentificeerd die aantasting van de integriteit voorkomen, en *mitigerende maatregelen* die de *effecten* van uitstroom buiten de afsluiting van putten (en reservoir) mitigeren.

6.2 Identificatie van mogelijke aanleidingen voor aantasting putintegriteit

De NAM heeft de belangrijkste aanleidingen voor aantasting van putintegriteit (dreigingen) geïdentificeerd en beschreven in de '*Bow-tie voor putlekkage tijdens waterinjectie*'.[30] De barrières die NAM toepast zijn fysieke barrières in de vorm van putonderdelen, putverbuizing en cement, en operationele en organisatorische maatregelen zoals procedures voor monitoring en onderhoud, en opleiding en training van personeel. De NAM heeft de aantasting van de fysieke barrières van putonderdelen zoals de afsluiters, en van verbuizingen zoals injectiebuis en casing als dreigingen geïdentificeerd. Er zijn een aantal mechanismen die zulke aantasting kunnen veroorzaken zoals corrosie door blootstelling aan het injectiewater en scheuren van verbuizing onder druk en beweging van omliggende gesteentes.

De geïdentificeerde aanleidingen voor aantasting putintegriteit zijn:

- corrosie van de verbuizingen door intrede van zuurstof
- corrosie van de verbuizingen door aanwezigheid van H_2S
- corrosie van de verbuizingen door zout injectiewater
- mobiele zoutvloei en het indrukken van buitenbuis
- gesteentebeweging langs breukvlakken
- zoutoplossing van de afsluitende laag

SodM is van mening dat deze aanleidingen voor aantasting putintegriteit reëel zijn én van toepassing zijn voor waterinjectie in Schoonebeek. SodM kan zich daarmee vinden in de door de NAM geïdentificeerde dreiging als basis voor de risicoinschatting en risicobeheersing.

6.3 Voorgestelde wijze van risicobeheersing

Met behulp van een aantal technische en operationele beheersmaatregelen zoals putontwerp, monitoring en onderhoud beschrijft de NAM hoe deze aantasting wordt voorkomen en in het

[30] Appendix 3 in rapport *Overkoepelende Analyse Ondergrondse Risico's Waterinjectie Schoonebeek Zechstein*, EP202303201028

slechtste geval, vroegtijdig wordt gesignaleerd als het toch plaatsvindt. De waterinjectieputten krijgen dubbele verbuizing vanaf het oppervlak tot onderaan de afsluitende laag. Deze dubbele verbuizing bestaat uit een binnen- en buitenbuis (de fysieke barrières) met daartussen een ruimte (de annulus) die continu gemonitord wordt op signalen van een beginnend lekpad. In het slechtste geval betekent vroegtijdige signalering dat één van de twee fysieke barrières faalt maar dat de tweede barrière verhindert dat injectiewater kan wegstromen naar buiten de put en naar ondiepere gesteentelagen.

In de door de NAM voorgestelde technische en operationele risicobeheersing tegen de geïdentificeerde dreigingen zijn ook de laatste inzichten meegenomen die een rol speelden bij eerdere waterinjectie elders. In de regio Schoonebeek speelden bij de put SCH-447 dat de putverbuizing niet voldoende bestand was tegen zoutvloei en daardoor werd ingedrukt. Bij waterinjectieput ROW-2 in de regio Twente speelde een gescheurde buitenverbuizing als gevolg van gesteentebeweging. In beide gevallen was er geen sprake van lekkage van injectiewater uit de put omdat de putintegriteit geborgd werd door de aanwezigheid van meerdere barrières. De NAM heeft hieruit wel lessen geleerd en verwerkt in de technische en operationele beheersmaatregelen die hieronder genoemd worden. Dit betreft onder andere de verbeterde annulusmonitoring, de aandacht voor het puttraject van nieuwe putten die breuken in gesteentelagen vermijden, en het gebruik van extra dikke verbuizing in zoutlagen.

Op basis van deze geïdentificeerde dreigingen en vereiste barrières heeft de NAM een nieuw putontwerp uitgewerkt. Tijdens het gebruik van de putten wordt de putintegriteit geborgd door operationele beheersmaatregelen. Naast een gedegen inrichting van de injectieputten vormen monitoring voor signalering en corrigerende maatregelen beheersmaatregelen om de integriteit van de injectieputten te borgen. Monitoring van de vloeistof (druk en niveau) in de annulaire ruimtes tussen de binnen- en buitenbuis laat zien dat barrières adequaat functioneren en om afwijkingen te kunnen signaleren. Dit betreft vroegtijdige signalering nog voordat zich een continu lekpad kan hebben gevormd, zodanig dat er dus nog geen sprake is van uitstroom van stoffen naar buiten de afsluiting van putten en afsluitende laag van het reservoir.

SodM geeft hieronder toelichting op de beoordeling van de voorgestelde beheersmaatregelen:

- de implementatie van voorgestelde putontwerp;
- de beheersing van de integriteit in de operationele fase met behulp van het *Well (put) Integriteits Management Systeem (WIMS)* en het *Waterinjectie Management Plan* (WMP).

6.4 Implementatie in putontwerp

Een put bestaat volgens de mijnbouw wet- en regelgeving uit een boorgat, de inrichting en afwerking daarvan, en de beveiligingen.

De NAM stelt qua putontwerp de volgende beheersmaatregelen voor:

- Gebruik van MUST casing (een extra-dikke buitenbuiswand) als barrière tegen beschadiging van verbuizing onder druk en beweging van omliggende gesteentes. De MUST casing wordt door de NAM voorgesteld als implementatie voor de buitenste verbuizing, voor intervallen waar de verbuizing zoutlagen doorkruist die kunnen bewegen. Dit is een gangbare praktijk voor putten die na 1995 zijn aangelegd;
- Het gebruik van L80 koolstofstaal in de buitenbuis dat bestand is tegen corrosie door H_2S;
- Het gebruik van hoogwaardige corrosie-resistente legeringen in de binnen- en buitenbuis waar deze direct zijn blootgesteld aan de injectievloeistoffen, dat wil zeggen onder de packer voor de binnen- en buitenbuis, en boven de terugslagklep voor de binnenbuis;
- Het gebruik van glasvezel epoxy (GRE) bekleding aan de binnenkant van de koolstofstalen binnenbuis om corrosie van de binnenbuis door het daarin getransporteerde injectiewater te voorkomen;
- Een put traject (het neerwaartse pad van de put door de gesteentelagen) heeft een J-vorm dat de toegang voor meetgereedschappen mogelijk maakt en het risico van beschadiging van de opvoerserie reduceert;
- Een put traject dat breuken vermijdt, waardoor het risico op beschadiging van de verbuizing door eventuele gesteentebeweging tijdens de levensduur van de put gereduceerd wordt;

- Cementatie van de buitenbuis in het ZeZ2 anhydriet om een goede afsluiting te verkrijgen van de zoutlagen boven het injectie reservoir, om gedurende de levensduur van de put zoutoplossing te helpen voorkomen;
- De plaatsing van een gecementeerde liner onderin de buitenbuis, om een goede afsluiting van het injectiereservoir te verkrijgen, om gedurende de levensduur van de put zoutoplossing te helpen voorkomen;
- Het gebruik van een terugslagklep (MCX valve) in de binnenbuis om zuurstof-intreding in de binnenbuis en corrosie te voorkomen, wanneer gestopt wordt met injecteren;
- Het gebruik van annulusvloeistof met een pH van 10 of hoger om het staal van de binnen- en buitenbuis te beschermen en corrosie te voorkomen.

SodM concludeert dat het voorgestelde putontwerp voldoet aan a) de vereiste technische beheersmaatregelen zoals door de risico evaluatie zijn vastgesteld, en b) de mijnbouw wet- en regelgeving.

6.5 Implementatie van de operationele fase in WIMS en WMP

De NAM implementeert de voorgestelde beheersmaatregelen in het reguliere *Well (put) Integriteits Management Systeem (WIMS)* waar SodM toezicht op houdt. Een aantal van deze beheersmaatregelen licht de NAM nader toe in het *Waterinjectie Management Plan* (WMP) waarin de NAM een integrale beschrijving geeft van de monitoring en beheersmaatregelen zowel voor de put- als reservoirintegriteit. De WIMS vormt dus de gehele implementatie van de wijze waarop de NAM de putintegriteit in hun interne bedrijfszorgsysteem inregelt. Het WMP is een document waarin een aantal specifieke maatregelen nader zijn toegelicht, inclusief toezeggingen die zijn gedaan over het ontwerp en de beheersmaatregelen.

In Hfst. 3 van het WMP gaat de NAM in op een aantal belangrijke put-gerelateerde aandachtspunten in het ontwerp, monitoring en corrigerende maatregelen. De NAM beschrijft in het WIMS en WMP voor de operationele fase de wijze van putmonitoring via continue monitoring van de A-annulus[31] druk en door periodieke vloeistofmetingen in de A-annulus. Met deze monitoring wordt de integriteit van de binnenbuis en buitenbuis gemonitord, en kunnen problemen vroegtijdig worden opgemerkt, nog voordat er lekkage van injectiewater kan optreden. Dit zijn belangrijke lessen die getrokken zijn naar aanleiding de gescheurde buitenverbuizing in de waterinjectieput ROW-2 in de regio Twente.

Naast deze continue drukmonitoring van de A-annulus beschrijft de NAM in het WMP aanvullende metingen in de injectieputten in de vorm van '*logging*' met behulp van meetinstrumenten die in de putten worden neergelaten en opgehaald. Het betreft metingen die alleen uitgevoerd worden indien dat strikt noodzakelijk is.

Als reden voor de beperkte toepassing van '*logging*' in het WMP geeft de NAM aan dat de kans op het beschadigen van de epoxy-beschermlaag (GRE) van de binnenbuis toeneemt als er vaker zou worden gemeten. Beschadiging van de beschermlaag zou dan kunnen optreden wanneer meetinstrumenten in de putten worden neergelaten en opgehaald. Als die epoxy-beschermlaag beschadig raakt zou het risico op mogelijke corrosie juist kunnen worden verhoogd. Van belang is daarom dat de combinatie van verschillende soorten monitoring voldoende is om afwijkingen op tijd te signaleren. De NAM geeft aan dat de mogelijkheid om met monitoring eventuele aantasting van putintegriteit vroegtijdig te kunnen signaleren niet wijzigt.

SodM heeft het WMP beoordeeld. SodM constateert dat de NAM meerdere beheersmaatregelen treft in het putontwerp om aantasting van de put te helpen voorkomen, zoals de bovengenoemde hoogwaardige staal en epoxie-beschermlaag. De NAM kan deze beheersmaatregelen via putontwerp doen doordat wordt gekozen voor nieuwe, speciaal voor de waterinjectie ontworpen putten. SodM kan zich vinden in de conclusie van de NAM dat de kans op aantasting van putverbuizing door waterinjectie hierdoor sterk wordt verminderd. SodM oordeelt dat de voorgestelde frequentie putmonitoring in de vorm van '*logging*' voldoende is om nadelige veranderingen in de verbuizingen te signaleren en dat de voorgestelde frequentie geen significante toename van risico door beschadiging geeft.

[31] De annulaire ruimte tussen de buiten- en de (eerste) binnenbuis. Deze ruimte scheidt ook de eerste en tweede barrière, en is gevuld met annulusvloeistof.

SodM concludeert dat met de door de NAM voorgesteld beheersmaatregelen in de operationele fase, zoals uitgewerkt in het WIMS en in het WMP, de integriteit van de injectieputten voldoende kunnen worden beheerst.

6.6 Conclusies beoordeling integriteit bij de inrichting en gebruik van waterinjectieputten

SodM kan zich vinden in de conclusie van de NAM dat de kans op en de mate van aantasting van putverbuizing door waterinjectie door voorgestelde ontwerp van de injectieputten sterk wordt verminderd. SodM constateert dat de NAM meerdere beheersmaatregelen treft in het putontwerp om aantasting van de integriteit te helpen voorkomen, zoals het gebruik van hoogwaardig staal en de epoxy-beschermlaag. De NAM kan deze beheersmaatregelen via het putontwerp doen doordat wordt gekozen voor nieuwe, speciaal voor de waterinjectie ontworpen putten.

SodM concludeert dat het voorgestelde putontwerp voldoet aan de vereiste technische beheersmaatregelen en aan de mijnbouw wet- en regelgeving. SodM concludeert verder dat de inzichten die zijn opgedaan uit de onderzoeken bij Twente voldoende zijn meegenomen in de voorgestelde inrichting van de nieuwe waterinjectieputten in het Schoonebeek-gasveld en in de wijze van monitoring en corrigerende maatregelen.

SodM kan zich ook vinden in de door de NAM voorgestelde beheersmaatregelen in de operationele fase zoals uitgewerkt in de WIMS en in het WMP. SodM oordeelt dat de voorgestelde frequentie putmonitoring in de vorm van *'logging'* voldoende is om nadelige veranderingen in de verbuizingen te signaleren en dat de voorgestelde frequentie geen significante toename van risico door beschadiging geeft. SodM kan zich vinden in deze onderbouwing van NAM in het WMP.

SodM merkt op dat hoewel de lessen die getrokken zijn uit waterinjectieput ROW-02 hetzelfde zijn voor waterinjectie in Twente en Drenthe, de implementatie van deze lessen verschillen. SodM vindt dit te rechtvaardigen omdat er in Twente sprake was van injectie in reeds bestaande gasputten die omgebouwd waren tot injectieputten. In Drenthe begint de NAM met putten die specifiek ontworpen zijn voor de injectie van water uit het Schoonebeek olieveld, gebruikmakend van alle operationele en wetenschappelijke inzichten, de geleerde lessen uit ROW-02, SCH-447, en de huidige stand van de techniek. En daarom zijn de in aanvraag beschreven beheersmaatregelen voor de waterinjectie in het Schoonebeek-gasveld anders dan de aangepaste beheersing voor de waterinjectie in Twente.

SodM concludeert dat met de voorgestelde beheersmaatregelen in de ontwerp- en operationele fase de kans van lekkage van injectiewater vanuit de put verwaarloosbaar is. Daarbij is het wel van belang dat de WIMS en de in het WMP voorgestelde beheersing adequaat wordt uitgevoerd.

SodM adviseert met oog op de beheersing van de integriteit van de injectieputten om twee voorschriften op te nemen:

- Injectie vindt alleen plaats via speciaal voor deze waterstroom ingerichte putten, conform de in de aanvraag toegezegde put-specificaties.
- Injectie vindt alleen plaats conform een goedgekeurd waterinjectie management plan.
- Voor wijziging van het Waterinjectie Management Plan is goedkeuring vereist van de Inspecteur Generaal der mijnen.

O.7 Voorschriften voor beheersing van de ondergrondse risico's van de waterinjectie

De conclusie is dat de door SodM beoordeelde risico's van de door de NAM aangevraagde waterinjectie in Schoonebeek voor de veiligheid van mens en het milieu beperkt kunnen zijn, mits nadere maatregelen worden getroffen. SodM adviseert om in de daarvoor bestemde instemmingsbesluit en vergunning voorschriften op te nemen.

a) De NAM zal binnen zes maanden na instemming met het voorliggende winningsplan een geactualiseerd en geïntegreerd Seismisch Risicobeheersplan indienen, met daarin een locatie-specifieke escalatiestructuur voor de seismische risicobeheersing in het Schoonebeek-gasveld en voor de waterinjectie.
b) Waterinjectie vindt alleen plaats met een door de Inspecteur Generaal der mijnen goedgekeurd Seismisch Risicobeheersplan waarin de locatie-specifieke escalatiestructuur is beschreven voor de seismische risicobeheersing in het Schoonebeek-gasveld en voor de waterinjectie.
c) Waterinjectie vindt alleen plaats in de aanwezigheid van een seismisch meetnetwerk die in de omgeving van het Schoonebeek gasveld bevingen vanaf een magnitude van 0,5 kan meten en lokaliseren (MoC).
d) De gemiddelde reservoirdruk in het Schoonebeek gasveld, en in de individuele compartimenten, zal de hydrostatische druk van 318 bar op referentiediepte van 3000 m (TVDSS) niet overstijgen.
e) De injectiedruk gemeten aan het maaiveld (de Flowing Tubing Head Pressure, FTHP) bedraagt maximaal 250 bar, mits de afsluitende laag rond de injectieputten een minimum horizontale gesteentespanning ondersteunt die overeenkomt met een gradiënt van minimaal 0,21 bar/m.

- *In het instemmingsbesluit/vergunning(en) voor waterinjectie van de aangevraagde waterstroom dient onderscheid te komen twee waterstromen die beide in het gasveld Schoonebeek, op de injectielocatie SCH-447 geïnjecteerd worden. Namelijk:*
  - de vergunde waterstroom-1: water dat meekomt bij de gaswinning uit dit Schoonebeek gasveld water, samen met water van andere nabijgelegen vergelijkbare gasvelden.
  - de nieuw te vergunnen waterstroom, hier aangeduid als waterstroom-2.

f) Injectie van waterstroom-2 vindt alleen plaats conform een goedgekeurd waterinjectie management plan (WMP).
g) Voor wijziging van het Waterinjectie Management Plan (WMP) is goedkeuring vereist van de Inspecteur Generaal der mijnen.
h) Uiterlijk 12 weken voor aanvang van aanleg van de injectieputten dient de Nederlandse Aardolie Maatschappij B.V. bij de Inspecteur-generaal der mijnen een plan in waarin het putontwerp en de ondergrondse trajecten van de putten in relatie tot gesteentelagen en (breuk)strukturen zijn beschreven en waaruit blijkt hoe de voorgestelde risicobeheersmaatregelen in het putontwerp zijn geïmplementeerd.
i) De NAM dient binnen 6 weken na het eindrapport van de boringen van injectieputten bij de Inspecteur-generaal der mijnen een onderbouwing in die laat zien dat de in de aanvraag toegezegde integriteit en sterkte van de afsluitende gesteentelagen aanwezig is.
j) Injectie vindt alleen plaats via speciaal voor waterstroom-2 ingerichte putten, conform de in de aanvraag toegezegde put-specificaties.