

Energy & Materials Transition
Princetonlaan 6
3584 CB Utrecht
+31 88 866 42 56

www.tno.nl

5.1.2.e

Datum
07 maart 2025
Onze referentie
AGE 25-10.017

Postbus 80015, 3508 TA Utrecht

Ministerie van Klimaat en Groene Groei
Directie Transitie Diepe Ondergrond
T.a.v. 5.1.2.e
Postbus 20401
2500 EK DEN HAAG

Onderwerp Aanvullend advies Zuidwending

Geachte 5.1.2.e

Op 25 november 2024 heeft TNO-AGE advies¹ uitgebracht over het geactualiseerde winningsplan² Zuidwending, ingediend door Nobian Salt B.V. (hierna: Nobian). Op 11 februari jl. heeft u per e-mail aan TNO-AGE gevraagd te reflecteren op aanvullende informatie^{3,4,5} die Nobian op uw verzoek heeft aangeleverd.

De aanvullende informatie van Nobian heeft betrekking op de mogelijke risico's voorafgaand aan en na het afsluiten van de cavernes en betreft met name de resultaten van modelstudies. Gegeven de complexiteit van de studies en het tijdspad voor deze reactie, heeft TNO-AGE zich beperkt tot een kwalitatieve analyse. De beoordeling hiervan door TNO-AGE kan als volgt samengevat worden: de door Nobian aangeleverde aanvullende rapportages zijn voor TNO-AGE geen aanleiding het advies van 25 november 2024 te herzien. Voortzetting van de winning cf. het geactualiseerde winningsplan heeft geen invloed op in hoeverre de cavernes op termijn veilig door 'hard shut-in' kunnen worden ingesloten. Ook leidt voortzetting van de winning niet tot een significante risicotoename.

In het onderstaande advies wordt dit nader toegelicht. Allereerst wordt de actualisatie van het winningsplan op hoofdlijnen beschreven. Daarna zal worden ingegaan op de mogelijke risico's voorafgaand en na het permanent afsluiten van de cavernes, waaronder hydraulische scheurvorming. Vervolgens zal worden ingegaan op de impact van het voortzetten van de winning tot 2035. Dit advies wordt afgesloten met conclusies en aanbevelingen.

¹ AGE 24-10.134 Adviesverzoek Gewijzigd Winningsplan Zuidwending

² Winningsplan Zuidwending 2025-2035 voor Winningsvergunning Uitbreiding Adolf van Nassau I-II, v.2 (kenmerk: ND-20240619)
Publicatiedatum: 19 juni 2024.

³ Cavern Closure Consortium, Abandonment of solution mining cavern field Zuidwending, The Netherlands. Statement on Hydraulic Fracturing Risk, an integrated, multiscale investigation. 18 February 2025.

⁴ RoyalHaskoningDHV Nederland B.V. - Water & Maritime, Impact doordringen pekels Zuidwending, 10 februari 2025. Kenmerk 123-RHD-XX-XX-ME-X-0003.

⁵ Vreugdenhil Milieuexpert, Verlenging Winningsveld Zuidwending, Hydraulic Fracturing v1.1 & v1.1A, 10 februari 2025.

Actualisatie winningsplan Zuidwending

Nobian vraagt in de actualisatie instemming met continuering van de zoutwinning uit de Zuidwending cavernes tot en met 2035. Dit stelt Nobian in staat in de toekomst efficiënt nieuwe (opslag)cavernes te ontwikkelen en tegelijkertijd de pekelaanvoer voort te zetten naar de zoutproductiefaciliteit. De ontwikkeling van nieuwe cavernes maakt geen onderdeel uit van deze actualisatie.

In het advies van 25 november 2024 heeft TNO-AGE de onderstaande beoordelingen gegeven.

Met betrekking tot beëindiging van de winning en het op termijn verlaten van de cavernes:

- TNO-AGE beoordeelt het CCC-onderzoek als kwalitatief goed, en benadrukt het belang van het voortzetten hiervan. Om de onzekerheden rond het hard insluiten van cavernes te verkleinen en op termijn tot een concreet en passend sluitingsplan te komen, is TNO-AGE van mening dat het CCC-werk enerzijds conform de eigen aanbevelingen dient te worden voortgezet, en anderzijds (onafhankelijk) te worden geverifieerd/gevalideerd.

Met betrekking tot het voortzetten van winning tot en met 2035:

- Gegeven huidige inzichten en kennis zal voortzetting van de winning cf. het geactualiseerde winningsplan geen invloed hebben op in hoeverre de cavernes op termijn veilig door 'hard shut-in' kunnen worden ingesloten. Ook leidt voortzetting van de winning niet tot een significante risicotoename.

Risico's voorafgaand en na het permanent afsluiten van de cavernes

De aanvullende informatie van Nobian heeft betrekking op een aantal verschillende effecten en risico's die hierna puntsgewijs behandeld worden.

Caverne instabiliteit

In het aanvullende rapport³ evalueert het CCC de kans op het ontstaan van zinkgaten boven de Zuidwending cavernes. Uit de praktijkvoorbeelden in de literatuur blijkt dat zinkgaten alleen ontstaan in situaties waarbij cavernes geen of een zeer dun (slechts enkele meters dik) zoutdak hebben, of die heel dichtbij (enkele meters) de rand van de zoutstructuur zijn aangelegd. In dergelijke situaties kan een caverne (gedeeltelijk) instorten, met mogelijk een zinkgat aan het maaiveld tot gevolg. In Zuidwending is dit niet het geval. De cavernes van Nobian en EnergyStock zijn op zodanig grote diepte en afstand van de flank van de zoutkoepel (en van elkaar) aangelegd, dat er geen denkbaar scenario bestaat waarin er een zinkgat zou kunnen ontstaan – volgens CCC is de kans daarop praktisch nul. Aanvullend heeft het CCC middels berekeningen laten zien, dat dilatatie (het ontstaan van kleine scheurtjes dat kan leiden tot een afname van de sterkte van het zout) beperkt blijft tot enkele meters rondom de cavernes. Caverne instabiliteit als gevolg van dilatatie is daarmee praktisch uitgesloten.

Beoordeling TNO-AGE

TNO-AGE sluit zich aan bij deze conclusies van het CCC. Voor zover TNO-AGE bekend zijn er geen nieuwe wetenschappelijke inzichten die leiden tot een reële zorg met betrekking tot het mogelijk optreden van zinkgaten boven de Zuidwending cavernes. Het CCC toont dit nogmaals overtuigend aan door een analyse van praktijkvoorbeelden.

Hydraulische scheurvorming

Hydraulische scheurvorming is een mechanisme waarbij scheuren in de cavernewand kunnen ontstaan als de druk in de caverne zodanig toeneemt dat de minimale spanning in de cavernewand plus de reksterkte van het zoutgesteente wordt overschreden. In het geval de scheuren dusdanig groot zijn dat deze tot buiten het omliggende zoutpakket reiken, kan het pekellekkage naar de boven/naastliggende formaties ontstaan.

In het geactualiseerde winningsplan² werd door Nobian al naar de resultaten van het CCC-onderzoek naar scheurvorming gerefereerd. In de aanvullende CCC-rapportage worden deze modelresultaten nader geïllustreerd en toegelicht. Het CCC maakt gebruik van geavanceerde computersimulaties om de druk in de cavernes en de complexe interactie tussen de spanningstoestand rondom de cavernes en in de gehele zoutkoepel, de temperatuur, het deformatiegedrag door zoutkruip en permeatie van pekels uit de cavernes, te modelleren over de periode vanaf start winning tot 2250, ver na het definitief afsluiten van de cavernes. De uitkomsten laten zien dat over die gehele periode, maar met name aan het einde van de winningsfase en ook vlak voor definitieve harde insluiting, lokaal scheurvorming kan optreden. Dit blijft echter beperkt tot een zone van minder dan 15 meter rondom de cavernes. Het CCC-model geeft aan, dat de spanningsopbouw rond de cavernes in de zoutkoepel zodanig is, dat het ontstaan van langere scheuren zeer onwaarschijnlijk is. In het doorgerekende abandonneringscenario neemt de kans op scheurvorming na definitieve insluiting ('hard shut-in') verder af met de tijd. De uitkomsten van de CCC-modelering wijzen er op dat na harde insluiting permeatie het meest waarschijnlijke mechanisme van pekelsontsnapping uit de cavernes is.

Beoordeling TNO-AGE

De vraag die voorligt is hoe realistisch de uitkomst van de uitgevoerde simulaties is. De hoge mate van complexiteit van de thermo-mechanische numerieke modellen, die door het CCC zijn ontwikkeld, maakt het voor TNO-AGE nu niet mogelijk de resultaten te verifiëren. Het modelinstrumentarium om een onafhankelijke validatie uit te voeren ontbreekt hiervoor. De beoordeling moet daarom nu beperkt blijven tot een kritische beschouwing van de belangrijkste modelaannames, in dit geval het gebruikte zoutdeformatiemodel en de daaruit resulterende spanningstoestand binnen de zoutkoepel en nabij de cavernes. Daarnaast zijn er verschillende onafhankelijke reviews^{6,7,8} uitgevoerd op het oorspronkelijke CCC-rapport voor Zuidwending en de recente aanvulling, die de kwaliteit en robuustheid van de geïntegreerde aanpak van microschaal tot zoutkoepel-schaal onderstrepen.

TNO-AGE sluit niet uit dat de spanningstoestand van de zoutkoepel beïnvloed wordt door een op theoretische gronden verwachte drempelwaarde op de lineaire kruip⁹. Deze drempelwaarde is in de simulaties van de aanvullende CCC-rapportage niet meegenomen (dit is wel beperkt meegenomen in de lange termijn bodemdalingsprognoses van het oorspronkelijke CCC-rapport^{10,11}). De mogelijke impact daarvan op de resultaten met betrekking tot scheurvorming kan nu niet door TNO-AGE worden beoordeeld. TNO modellering^{11,12} van een op zichzelf staande caveerne, gebaseerd op de situatie in Heiligerlee, illustreert de impact van het al dan niet begrenzen van de (lineaire) kruip op de spanningstoestand nabij de cavernes en de gevolgen daarvan voor bodemdaling en mogelijke uplift na een 'hard shut-in'. Echter, het effect daarvan op de kans op mogelijke scheurvorming en het drukniveau waarbij scheurvorming kan optreden is in deze studies niet aan bod gekomen.

TNO-AGE beveelt daarom aan om het CCC een aanvullende gevoeligheidsanalyse naar de impact van een drempel op lineaire kruip te laten uitvoeren, en deze ter evaluatie voor te leggen. TNO-AGE benadrukt wel dat deze analyse een noodzakelijke verfijning van de resultaten uit het aanvullende CCC-rapport³ betreft, en heeft niet de verwachting dat de impact van een drempel op lineaire kruip dusdanig

⁶ C.J.Spiers review of CCC report 'Abandonment of solution mining cavern field Zuidwending, the Netherlands', 11 April 2024.

⁷ W. van der Zee review of CCC report 'Abandonment of solution mining cavern field Zuidwending, the Netherlands'.

⁸ C.J.Spiers review of CCC report 'Abandonment of solution mining cavern field Zuidwending, the Netherlands – Statement on Hydraulic Fracturing Risk', 12 February 2025.

⁹ Van Oosterhout et al. (2022) A threshold stress for pressure solution creep in rock salt: Model predictions vs. observations. The Mechanical Behavior of Salt X, 2022.

¹⁰ Cavern Closure Consortium, Abandonment of solution mining cavern field Zuidwending, The Netherlands. An integrated, multiscale investigation. 11 April 2024.

¹¹ Hunfeld et al. (2022) The influence of a threshold stress for pressure solution creep on cavern convergence and subsidence behavior – An FEM study. The Mechanical Behavior of Salt X, 2022.

¹² TNO (2021) Cavern convergence and subsidence: assessment of the Heiligerlee cavern field. Kenmerk: TNO 2021 R11382, <https://www.nlog.nl/media/3261>.

groot is dat de uitkomsten wat betreft kans op scheurvorming tot aan de rand van de zoutkoepel significant anders uitpakken. Mocht deze gevoeligheidsanalyse aanleiding geven om het kruipmodel aan te passen, dan ligt een actualisatie van de CCC-resultaten met betrekking tot scheurvorming gedurende de operationele fasen voor de hand.

Ten slotte merkt TNO-AGE op dat de gepresenteerde resultaten aanleiding geven voor het nader optimaliseren van de wijze van insluiting, ongeacht of wordt overgegaan tot voortzetting van de winning. Dit volgt uit het resultaat dat met name de periodes van drukverlaging (na beëindiging van winning en vlak voor de definitieve 'hard shut-in') de meest kritische momenten zijn waarop beperkt scheurvorming zou kunnen optreden. Als drukopbouw in de caveerne tijdens de post-productie fase ('soft shut-in') en na definitieve ('hard') shut-in juist tot meer stabiele spanningscondities in het omliggende zout leidt, dan is het mogelijk wenselijk om eerder over te gaan tot een definitieve 'hard shut-in'. Dit zal naar verwachting ook leiden tot minder bodemdaling dan volgens de in het winningsplan beschreven abandonneringsstrategie. TNO-AGE beveelt in dit licht aan om het CCC een analyse te laten uitvoeren naar het nader optimaliseren van de wijze van insluiting, waarin ook de eerder genoemde resultaten van de aanvullende gevoeligheidsanalyse worden meegenomen.

Gevolgen van pekel ontsnapping

Ondanks dat grootschalige scheurvorming tot aan de top van de zoutkoepel zeer onwaarschijnlijk wordt geacht, zijn de potentiële effecten van een dergelijke scheur door het CCC onderzocht. Schattingen op basis van de resultaten van een veldtest in Etzel, toegepast op de ZWD-5 caveerne, wijzen op een hoeveelheid pekel, die zou kunnen ontsnappen voordat de scheur wordt dichtgedrukt, variërend van 540 tot 8600 m³. Vervolgens is op basis van een zeer sterk versimpeld model geschat hoe snel pekel uit een caveerne kan ontsnappen door een scheur van 1 cm². Om het gevolg van lekkage te bepalen heeft RHDHV⁴ het effect van een totale pekелuitstroom van 3300 m³ en 8600 m³ in een periode van 4 dagen op verschillende niveaus in het bovenliggende gesteente geanalyseerd tot een diepte van 130m onder maaiveld. Op basis van eenvoudige grondwatermodellering wordt de conclusie getrokken dat, zelfs met een combinatie van conservatieve aannames, de effecten van een eventuele pekелinstroom verwaarloosbaar klein zijn. Dit geldt zowel voor de drukverplaatsing als de verspreiding van pekel vanaf het instroompunt.

Beoordeling TNO-AGE

In de rapportage van het CCC worden geen mechanismen of uitzonderlijke (lokale) spanningscondities beschreven, die kunnen leiden tot een scheur door het zoutlichaam die pekellekkage naar het bovenliggende gesteente kan faciliteren. In aanvulling op de beoordeling met betrekking tot 'hydraulische scheurvorming' acht TNO-AGE pekellekkage buiten het zoutlichaam als gevolg van scheurvorming van enkele honderden meters zeer onwaarschijnlijk. Dit maakt het inschatten van de mogelijke effecten van scheurvorming een hypothetische exercitie waarin nogal wat aannames gemaakt moeten worden. TNO-AGE is van mening dat de inschatting van een (initiële) leksnelheid, en daarmee ook de tijdsduur van de pekellekkage van weinig waarde is. Deze inschatting is gebaseerd op een zeer sterk versimpeld model, waar met name de onderbouwing over de dimensie van de scheur mist. Omdat de dimensies van de scheur, de leksnelheid, en de gemaakte modelleringskeuzes sterk bepalend zijn voor de drukverandering in het grondwater, zijn ook deze resultaten van weinig waarde.

Voor de lange termijn milieueffecten op het grondwater is naast de dimensies en oriëntatie van de lekkage het instromende pekелvolume van belang. RHDHV gaat uit van een zeer beperkte natuurlijke grondwaterstroming (0,15m/km) in de watervoerende laag tussen 60 en 70m onder het maaiveld. TNO-AGE acht een grondwater achtergrondstromingsgradient¹³ van 4 m/km meer realistisch. Op basis hiervan is het aannemelijk dat in een periode van 200 jaar, voor dit specifiek doorgerekende lekkage

¹³ Geologische Dienst Nederland, Grondwaterstanden in Beeld – Isohypsenkaart. <https://www.grondwatertools.nl/gwsinbeeld/>

scenario (worst-case: 8600 m³), het zout zich in hogere concentraties over ca 3 km richting het noordoosten verplaatst, in tegenstelling tot de 0,5 km die door RHDHV wordt gerapporteerd.

Impact van het voortzetten van winning t/m 2035

Om het effect van voortzetting van de winning te bepalen, heeft CCC de reeds gerapporteerde¹⁰ gevoeligheidsanalyse voor caverne ZDW-3 aangevuld³ met een extra scenario. In plaats van de winning t/m 2035 voort te zetten, wordt de productie in 2025 gestaakt. De resultaten van dit scenario laten weinig verschil zien met betrekking tot drukverloop aan de bovenkant van de caverne, permeatie en potentiële instabiliteit. Hieruit wordt geconcludeerd dat het voortzetten van winning geen significante verandering van de kans op scheurvorming en daarmee pekellekkage oplevert, zowel op korte termijn (tijdens voortgezette winning) als na insluiting. In het (zeer onwaarschijnlijke) geval er wel een scheur ontstaat, waaruit pekellekken kan lekken, is het potentiële uitstroom volume ca 25% minder in het geval de winning al in 2025 wordt gestaakt. Dit betreft in dat geval een reductie in de orde van 140-2200 m³ pekellekken.

Beoordeling TNO-AGE

In de risicoanalyse wordt risico gekwantificeerd door de kans op het optreden van een ongewenste gebeurtenis te vermenigvuldigen met het effect van deze ongewenste gebeurtenis. De CCC-rapportage toont aan dat de kans op scheurvorming zeer klein is, en niet significant anders is indien de productie tot en met 2035 wordt voortgezet. In de situatie waar de kans op scheurvorming zeer klein is, leidt een toename van het mogelijke effect door productie tot en met 2035 niet tot een significante risicotename. TNO-AGE merkt op dat de mogelijke gereduceerde pekellekstroom van ca 140-2200 m³ bij staken van de productie in 2025 binnen de spreiding en onzekerheid valt van de totale uitstroomvolumes (540-8600 m³) die door het CCC zijn ingeschat.

Deze nadere kwantificering bevestigt de in het advies van 25 november 2024 uitgesproken verwachting van TNO-AGE, dat voortzetting van de winning niet leidt tot een significante risicotename, zolang de cavernes binnen de in het winningsplan beschreven maximale afmetingen blijven. Ook heeft voortzetting van de winning geen significante invloed op in hoeverre de caverne op termijn veilig door 'hard shut-in' kan worden ingesloten.

Conclusies en aanbevelingen

De door Nobian aangeleverde aanvullende rapportages zijn voor TNO-AGE geen aanleiding de beoordeling van 25 november 2024 te herzien:

- Voortzetting van de winning cf. het geactualiseerde winningsplan heeft geen invloed op in hoeverre de cavernes op termijn veilig door 'hard shut-in' kunnen worden ingesloten en leidt niet tot een significante risicotename.
- TNO-AGE beoordeelt het CCC-onderzoek als kwalitatief goed, en benadrukt het belang van het voortzetten hiervan. Om de onzekerheden te verkleinen en op termijn tot een concreet en passend sluitingsplan te komen, is TNO-AGE van mening dat het CCC-werk enerzijds conform de eigen aanbevelingen dient te worden voortgezet, en anderzijds onafhankelijk moet worden geverifieerd/gevalideerd.

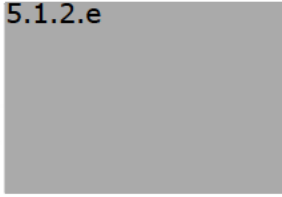
De aanbevelingen naar aanleiding van de aanvullende rapportages zijn:

- TNO-AGE benadrukt de noodzaak om een aanvullende gevoeligheidsanalyse naar de impact van een drempel op lineaire kruip te laten uitvoeren, en deze ter evaluatie voor te leggen;
- TNO-AGE beveelt aan om het CCC een analyse te laten uitvoeren naar een nadere optimalisatie van de wijze van insluiting, waaronder de duur van de 'soft shut-in', waarin ook de resultaten van de hierboven genoemde aanvullende gevoeligheidsanalyse worden meegenomen.

TNO-AGE merkt afsluitend op dat als er nu wordt besloten om de winning te beëindigen, er weinig tot geen ruimte zal zijn om het aanbevolen vervolgonderzoek uit te voeren. Hierdoor kunnen inzichten uit dat onderzoek niet worden meegenomen om de effecten en risico's rondom het afsluiten van de cavernes te minimaliseren.

Met vriendelijke groet,

5.1.2.e



5.1.2.e

