



> Retouradres Postbus 24037 2490 AA Den Haag

De Minister van Klimaat en Groene Groei  
Ministerie van Klimaat en Groene Groei  
Directie Transitie Diepe Ondergrond

5.1.2.e

per e-mail: mijnbouwvergunningen@minezk.nl; 5.1.2.e  
5.1.2.e

**Staatstoezicht op de Mijnen**

**Bezoekadres**

Henri Faasdreef 312  
2492 JP Den Haag

**Postadres**

Postbus 24037  
2490 AA Den Haag

T 070 379 8400 (algemeen)  
F 070 379 8455 (algemeen)

info@sodm.nl  
www.sodm.nl

**Behandeld door**

5.1.2.e

Datum 10-12-2024

Betreft Advies SodM actualisatie winningsplan Nobian Zuidwending

Geachte 5.1.2.e

Op 20 juni 2024 ontving Staatstoezicht op de Mijnen (SodM) van u het verzoek om advies te geven op de actualisatie van het winningsplan Zuidwending 2025 - 2035 (winningsvergunning Uitbreiding Adolf van Nassau III), van de onderneming Nobian Salt B.V. (vergunninghouder en uitvoerder, Nobian).

Deze actualisatie beschrijft een volledige herziening van het winningsplan inclusief een verlenging van de bestaande zoutwinning in het caverneveld na 2025 en een beschrijving waarop de cavernes na beëindiging van de winning buiten gebruik worden gesteld. Het vigerende winningsplan is geldig tot 19 november 2025.

In dit advies leest u een samenvatting van het advies, het adviesverzoek aan SodM, een toelichting op het advies, de conclusie en aanbevelingen.

Op 27 november 2024 ontving SodM het advies van TNO-AGE op dit winningsplan (kenmerk AGE 24-10.134). Een aantal hoofdpunten daarvan zullen in dit advies herhaald worden.

## Samenvatting Advies

Om zout te mogen winnen moet een onderneming een goedgekeurd winningsplan hebben. Om goed geïnformeerd te kunnen instemmen met een winningsplan vraagt de minister advies aan een aantal adviseurs, waaronder SodM. Het huidige winningsplan van Nobian voor Zuidwending loopt tot november 2025 en Nobian wil dit plan graag verlengen tot en met december 2035. SodM heeft het winningsplan van Nobian en de onderliggende stukken beoordeeld.

### Zorgen over afsluiten van cavernes Zuidwending

Sinds 2016 staat Nobian onder verscherpt toezicht van SodM, onder meer vanwege zorgen van SodM over het veilig en duurzaam afsluiten van de zeer grote en hoge zoutcavernes in Zuidwending.

Volgend op een onderzoek binnen het Kennisprogramma Effecten Mijnbouw (het KEM-17 onderzoek) heeft Nobian zelf onderzoek laten uitvoeren door het zogenaamde *Cavern Closure Consortium* (CCC) naar het veilig en duurzaam afsluiten van de zoutcavernes. Nobian gebruikt de resultaten van dit onderzoek ter onderbouwing van het afsluitplan op hoofdlijnen in het winningsplan.

**Ons kenmerk**

ADV-8632/86808852

**Uw kenmerk**

V-65184

**Bijlage(n)**

SodM is van oordeel dat de vraag of de Zuidwending cavernes veilig af te sluiten zijn, nog niet is beantwoord. Na het afsluiten van een caveerne is het zeer aannemelijk dat de druk in de caveerne zal blijven toenemen. Het winningsplan, en het onderliggende onderzoek, geeft geen uitsluitsel of er door deze druktoename ook scheurvorming kan optreden. Het permeatieproces, wat naast scheurvorming ook een natuurlijk lekmechanisme is dat de druk in de caveerne laat dalen, is wel uitvoerig behandeld. De effecten van permeatie van pekkel naar de ondiepe ondergrond zijn echter onvoldoende besproken. In enkele modellen bereikt de pekkel de onderkant van de watervoerende en -remmende lagen boven het zout. Om welke volumes dit gaat, en welke effecten dit heeft, is niet beschreven in de aanvraag.

Nobian heeft ook nog niet aangetoond dat (deels) vullen van de cavernes een haalbare, en veilige maatregel is om ongecontroleerde lekkage (mogelijk via scheurvorming) te beperken of voorkomen. Verder onderzoek en veldtesten kunnen helpen de openstaande vragen te beantwoorden, maar dat duurt naar verwachting nog jaren. Verder is er geen garantie dat extra onderzoek de gewenste antwoorden oplevert. Ook is het onduidelijk wat de gevolgen zijn van de verschillende afsluitmethodes op de bodemdalingsprognoses, en of Nobian beschikt over effectieve en tijdig-inzetbare beheersmaatregelen.

SodM concludeert dat de risico's en mogelijke beheersmaatregelen na het afsluiten van een caveerne onvoldoende zijn onderzocht, en daarmee de veiligheid voor mens en milieu op de lange termijn niet voldoende is gegarandeerd. Daarom vindt SodM het onverantwoord om door te gaan met actieve winning uit deze cavernes. Ook actieve winning door naverzadiging van pekkel uit toekomstige cavernes, vindt SodM op basis van de aangeleverde stukken, onverantwoord.

Zolang de cavernes nog niet afgesloten zijn, dient de druk beheerst te worden. Om de druk te beheersen blijft het nodig om kleine hoeveelheden pekkel in de cavernes regelmatig af te laten (passieve winning). Ook zal Nobian onverminderd door moeten blijven gaan met onderzoek naar het duurzaam en veilig afsluiten van de cavernes in Zuidwending. Veldtesten kunnen hier een onderdeel van zijn als ze veilig kunnen worden uitgevoerd.

### **Advies SodM**

De adviezen die SodM geeft bevinden zich aan het einde van dit document. Samengevat adviseert SodM de volgende vier hoofdpunten:

1. Ik adviseer de minister om niet in te stemmen met het doorgaan van actieve winning (inclusief winning door naverzadiging) uit de 8 bestaande grote en hoge cavernes in Zuidwending.
2. Ik adviseer om in te stemmen met beperkte, passieve winning door het aflaten van pekkel uit cavernes waaruit geen actieve winning meer plaatsvindt. Dit aflaten van pekkel is een maatregel om een veilig drukniveau in de cavernes aan te houden. Dit geldt voor in ieder geval de periode van het winningsplan en voor alle cavernes die tijdelijk of

permanent buiten werking zijn. Ook moet een eventueel instemmingsbesluit verder (veld)onderzoek naar het veilig afsluiten van de cavernes niet in de weg zitten.

3. Ik adviseer om Nobian een nieuwe bodemdalingsprognose te laten opstellen, zodra meer bekend is over het moment en de exacte wijze van afsluiten, maar uiterlijk 31 december 2027. Deze prognose dient minimaal vijf-jaarlijks te worden geëvalueerd.
4. Ik adviseer om een voorwaarde op te nemen dat Nobian voldoende geld reserveert om mogelijke schade te dekken, en voor de kosten die nodig zijn om cavernes veilig af te sluiten en voor het verwijderen van de mijnbouwwerken.

In dit document licht ik mijn advies verder toe.

## Adviesvraag

### Uw adviesvragen

U heeft de onderstaande adviesvragen gesteld over Nobians aanvraag tot instemming met de actualisatie van het winningsplan Zuidwending. U verzoekt ons om in te gaan op:

1. Veiligheid van omwonenden, schade aan gebouwen of infrastructurele werken als gevolg van bodembeweging:
  - a. Bodemtrilling: de analyse van de risicobeoordeling seismiteit en de monitoringsverplichting en maatregelen;
  - b. Bodemdaling: prognoses en onzekerheden en de verhouding ten opzichte van de huidige bodemdalingsprognoses, verificatie met gemeten bodemdaling;
2. Planmatig gebruik en beheer van de ondergrond:
  - a. Toetsing doelmatige en efficiënte winning met betrekking tot huidige kennis en technieken.
3. Nadelige gevolgen voor natuur en milieu als gevolg van bodembeweging (beperkt tot die onderdelen die niet in andere vergunningen zijn meegenomen)

### Belangrijke aandachtspunten

In dit advies neem ik ook de belangrijke, eerdergenoemde, aandachtspunten uit adviezen ADV-8079 en ADV-8056 (Actualisaties van respectievelijk winningsplannen Zuidwending en Heiligerlee n.a.v. afwijkende bodemdaling) mee. In deze eerdere adviezen hebben wij aangegeven dat SodM onderstaande punten van belang vindt bij een eventuele toekomstige verlenging van het winningsplan:

- A. Afsluitplannen en cavernemanagement
- B. Bodemtrilling en cavernestabiliteit

- C. Interactie tussen verschillende ondergrondse activiteiten
- D. Maatvoering van de cavernes

Verder zullen ook de volgende aandachtspunten behandeld worden in dit advies:

- E. Passieve winning
- F. Omgevingsmanagement
- G. Financiële zekerheid

Het afsluitplan (aandachtspunt A) is belangrijk voor alle beoordelingsaspecten en zal ik behandelen in een apart hoofdstuk *voorafgaand* aan uw adviesvragen. De aandachtspunten B en C zullen worden besproken in *samenhang* met uw adviesvragen en de overige aandachtspunten (D-G) zullen worden besproken *nadat* ik uw adviesvragen heb behandeld.

Enkele belangrijke uitgangspunten voor dit advies zijn te vinden in Bijlage 1.

## Achtergrond

### Zoutwinning in Zuidwending

In de provincie Groningen, tussen Veendam en Nieuwe Pekela, bevindt zich in de ondergrond de zoutkoepel "Zuidwending". Deze koepel bestaat uit zout uit de Zechstein Formatie (laat Perm). Tussen Veendam en Nieuwe Pekela bevindt zich het vergunningsgebied Uitbreiding Adolf van Nassau. Sinds 1967 wordt hier door middel van oplossingsmijnbouw zout gewonnen door vergunninghouder Nobian en haar voorgangers (Nouryon, Akzo-Nobel en anderen).

Voor de zoutwinning in Zuidwending zijn sinds 1967 negen hoge cavernes ontwikkeld (ZWD-KNZ-01 tot en met ZWD-KNZ-09, of kortweg ZWD-01 t/m ZWD-09). Een caveerne is een ondergrondse holruimte waaruit zout wordt gewonnen in de vorm van pekel. Uit caveerne ZWD-01 wordt niet meer actief zout gewonnen, uit de overige acht cavernes momenteel nog wel.

Het huidige, geldige winningsplan is uit 2003<sup>1</sup>. Hiermee is door het Ministerie van Economische Zaken (EZ) in 2004 ingestemd<sup>2</sup>. In 2008<sup>3</sup> is een actualisatie van het winningsplan ingediend. Hier is in 2009<sup>4</sup> mee ingestemd. Deze actualisatie had betrekking op de vergroting van de productiecapaciteit van de zoutwinning. In 2019<sup>5</sup> heeft er een ambtshalve wijziging van het instemmingsbesluit plaatsgevonden om de seismische monitoring te verbeteren. In 2023 is door Nobian een actualisatie van het winningsplan<sup>6</sup> ingediend vanwege geconstateerde verschillen tussen verwachte en vergunde bodemdaling. Daarmee is in datzelfde

---

<sup>1</sup> Akzo aanvraag (15 december 2003) Winningsplan voor de winningsvergunning Adolf van Nassau Uitbreiding (boorterrein Zuidwending).

<sup>2</sup> EZ besluit (18 juni 2004) Besluit winningsplan Adolf van Nassau Uitbreiding. Kenmerk ME/EP/UM/4024488.

<sup>3</sup> Akzo aanvraag (16 september 2008) Wijziging winningsplan Adolf van Nassau Uitbreiding.

<sup>4</sup> EZ besluit (19 november 2009) Wijziging winningsplan Adolf van Nassau Uitbreiding. Kenmerk ET-EM-9148635.

<sup>5</sup> EZK besluit (30 juli 2019) Ambtshalve wijziging instemmingsbesluit winningsplan Zuidwending. Kenmerk DGKE-WO/19187912.

<sup>6</sup> Nobian (11 april 2023) Actualisatie Zuidwending winningsplan Adolf van Nassau Uitbreiding.

jaar ingestemd door de staatssecretaris<sup>7</sup>. De instemming met het vigerende winningsplan loopt af op 19 november 2025.

Nobian verzoekt met deze aanvraag om instemming met een verlenging van het winningsplan Zuidwending voor acht van de negen cavernes. Voor de verlenging wordt geen toename in hoogte van de cavernes aangevraagd, en wordt de diameter van het nog uit te logen bovenste deel van de cavernes maximaal 110 m. Dit is een beperking ten opzichte van het vigerende winningsplan waar de maximale diameter nog 125 m is. Nobian heeft in dit winningsplan geen plannen om nieuwe cavernes te ontwikkelen. Aan het einde van het huidige winningsplan wordt verwacht dat het totale (openstaande) volume van de cavernes ongeveer 39,5 miljoen m<sup>3</sup> bedraagt. Door de beoogde extra winning zal het volume van de cavernes toenemen. Nobian verwacht tot 2035 de cavernes verder uit te kunnen logen tot een geproduceerd volume van ongeveer 50,7 miljoen m<sup>3</sup>, met een theoretisch maximum van ongeveer 54,5 miljoen m<sup>3</sup>.

### Duurzaam afsluiten

Nobian zal na de fase van actieve winning de cavernes uit productie halen. Daarna volgt er een fase van temperatuurvereffening tussen de pekels in de caverne, en het zout rond de caverne. Deze fase zal naar verwachting meerdere decennia duren. Tijdens deze fase zal er pekels uit de caverne afgelaten worden om de drukopbouw te beheersen. Deze pekels wordt zogenaamd 'passief gewonnen', dus zonder de injectie van zoet water en verdere logging. Zodra afsluiten veilig en verantwoord kan, zullen de uitgeproduceerde cavernes door Nobian permanent afgesloten worden.

Ten tijde van de instemming van het winningsplan van Zuidwending in 2004, was er consensus in de zoutmijnbouw dat de cavernes veilig onder hoge druk af te sluiten zijn. Sinds 2018 zijn er door SodM vraagtekens gezet bij deze aanname voor diepe en hoge cavernes door incidenten bij andere zoutoperators<sup>8,9</sup>, en de conclusies van het KEM-17 onderzoek<sup>10</sup>. Het veilig en duurzaam afsluiten van hoge cavernes is sinds 2018 onderdeel van het verscherpt toezicht van SodM op Nobian<sup>11</sup>. In Bijlage 2 staat een uitgebreider overzicht van het verscherpte toezicht op het afsluiten van cavernes in Zuidwending en Heiligerlee.

Het afsluiten van een hoge caverne (zoals in Zuidwending), komt neer op het volgende:

---

<sup>7</sup> Besluit EZK (6 september 2023) Instemmingsbesluit actualisatie winningsplan Adolf van Nassau Uitbreiding – Zuidwending. Kenmerk PDGGO-DTDO/V-43174.

<sup>8</sup> SodM brief (2 april 2019) Lekkage 20 april 2018 – Oordeel overkoepelend rapport. Kenmerk 19053988, [Link](#).

<sup>9</sup> SodM brief (18 juli 2019) Integriteitsproblemen BAS-30 – Buiten gebruik stellen en risicoanalyse. Kenmerk 19243712, [Link](#).

<sup>10</sup> SodM memo (11 februari 2020) KEM-17 Wetenschappelijk onderzoek: De risico's van cavernes op hoge druk afsluiten - Nederlandse samenvatting. [Link](#).

<sup>11</sup> SodM brief (2 februari 2021) Verscherpt toezicht toegespitst op twee dossiers. Kenmerk 20307046, [Link](#).

- Bij het 'hard' afsluiten van een caverne wordt de put op hoge (pekel) druk afgesloten. Hierdoor wordt de met pekkel gevulde holruimte geïsoleerd van de bovengrond.
- Door het opwarmen en uitzetten van de koudere pekkel in de caverne, in combinatie met kruip van het zout, loopt de pekeldruk in de caverne na abandonnering op.
- Er zijn waarnemingen dat als de pekeldruk oploopt tot ongeveer, of net onder de minimale waarde van gesteentespanning, er een proces optreedt waardoor er pekkel uit de caverne ontsnapt (lekt).

Deze lekkage kan plaatsvinden via de volgende lekmechanismes:

- *Permeatie*: De aanname is dat bij pekeldrukken in de buurt van de minimale gesteentespanning zoutkristallen uit elkaar worden getrokken waardoor er ruimte ontstaat. Daardoor verspreidt pekkel zich uit de caverne en in de zoutmassa over een breed homogeen front. Dit proces heet 'permeatie' en is in laboratoria en beperkte veldtesten aangetoond. Vóór 2018 was de aanname in de zoutindustrie dat het proces van permeatie in alle cavernes ervoor zorgt dat de pekeldruk niet verder oploopt dan een zogenaamde "evenwichtsdruk". Op deze evenwichtsdruk wordt evenveel druk afgelaten door permeatie als de druk oploopt door zoutkruip en opwarming van pekkel. Voor ondiepe en relatief kleine, diepe, cavernes is het aannemelijk gemaakt dat deze evenwichtsdruk bereikt kan worden, en dat deze lager is dan de minimale gesteentespanning. Voor hogere en diepere cavernes, zoals in Zuidwending, is dit niet direct aannemelijk.
- *Hydraulische scheurvorming*: Vóór 2018 was het ook de aanname dat door het vloeigedrag van zout, het zout niet kan scheuren onder hoge pekeldruk. Het proces van (hydraulische) scheurvorming als gevolg van een hoge pekeldruk is voor te stellen als het te hoog laten oplopen van de druk in een drukvat: als de druk in het vat te hoog wordt ten opzichte van de sterkte van het materiaal, dan zal het vat scheuren.
- *Preferentieel lekpad*: Een derde lekmechanisme is lekkage langs een heterogeniteit in het zout. Een ondergrondse zoutberg als bij Zuidwending bestaat niet uit homogeen zout. Andere gesteentes of raakvlakken daarmee kunnen een zwakke schakel vormen en daarmee een potentieel lekpad.
- *Dilatatie*: Ook bij hoge schuifspanningen in relatie tot de omgevingsdruk kunnen kleine breukjes ontstaan in het zout waardoor pekkel kan lekken. Dit brosse vervormingsgedrag treedt vooral op in relatief kouder zout, waar de kruipsnelheid laag is.

## Juridisch kader

### Winningsplan algemeen

De Mijnbouwwet (Mbw) en de daarop gebaseerde regelgeving vormen de basis van de beoordeling van elk winningsplan. Om te mogen winnen is, op grond van de Mbw, artikel 34 (lid 1 en 3), instemming vereist van de minister met een winningsplan. In artikel 36 (lid 1) van de Mbw staat dat die instemming slechts geheel of gedeeltelijk kan worden geweigerd in het belang van de veiligheid of het

voorkomen van schade, het planmatig gebruik of beheer, het milieu en/of de natuur. In het Mijnbouwbesluit (Mbb) artikelen 24 en 25 staat welke elementen een winningsplan voor zoutwinning minimaal dient te bevatten.

### Afsluiten en nazorg

Het is de zorgplicht van iedere houder van een winningsplan om alle maatregelen te nemen om de veiligheid van mens en milieu te waarborgen (Mbw, artikel 33, lid 1). De cavernestabiliteit tijdens en na de winning (Mbb, artikel 25, lid 1, sub d) en het veilig afsluiten van cavernes (Mbb, artikel 25, lid 1, sub f) zijn daarom ook onderdeel van elk winningsplan van zout.

### Beschrijving buiten gebruik stellen

Het Mijnbouwbesluit (artikel 25, lid 1, sub f) vraagt voor een winningsplan voor zoutwinning: *“een beschrijving van de wijze waarop de holruimte na beëindiging van de winning buiten gebruik wordt gesteld.”* “Buiten gebruik stellen” gaat om het permanent afsluiten van een boorgat (Mbw, artikel 1, sub ak). In geval van zoutwinning wordt hiermee automatisch ook de caverne permanent afgesloten.

De vorm van deze *“beschrijving”* is niet gespecificeerd in de Mijnbouwwet. SodM kijkt hiernaar in de geest van de weigeringsgronden voor het gehele winningsplan (Mbw, artikel 36). De *“beschrijving”* moet minimaal compleet genoeg zijn om aannemelijk te maken dat de abandonnering en nazorg veilig zijn voor omwonenden, schade aan infrastructuur voorkomen wordt en er geen nadelige gevolgen ontstaan voor milieu en natuur, nu en in de toekomst. De uiteindelijke specifieke manier van abandonnering en nazorg per caverne moet worden beschreven in het verwijderingsplan (Mbw, artikel 44a; Mbb, artikel 40c).

## Afsluitplannen en cavernemanagement (aandachtspunt A)

In dit eerste technische onderdeel beoordeelt SodM met name de volgende aspecten:

- Afsluitplan: *“Bevat het voorliggende winningsplan een veilig, concreet en goed onderbouwd plan voor abandonnering en nazorg?”*
- Cavernemanagement: *“Is het cavernemanagement op een dusdanige wijze ingericht dat deze cavernes nu en in de toekomst veilig en duurzaam geopereerd en afgesloten kunnen worden?”*

### Het afsluitplan

Een belangrijk onderdeel van een winningsplan voor zout is een beschrijving van hoe de cavernes permanent en veilig kunnen worden afgesloten na productie. Om duidelijkheid te krijgen of en hoe de grote en hoge cavernes in Zuidwending af te sluiten zijn, heeft Nobian de afgelopen jaren een internationaal consortium van experts een set aan onderzoeken laten uitvoeren. Dit is het zogenaamde *Cavern Closure Consortium* of kortgezegd CCC. Het resultaat van dit onderzoek<sup>20</sup> is door Nobian als bijlage toegevoegd in de aanvraag, en zal als het “CCC-onderzoek” verder worden aangeduid. Het CCC-onderzoek zelf zal worden beoordeeld via (het verscherpt) toezicht van SodM.

Een belangrijk aspect van dit advies is of Nobian de onderzoeksresultaten van het CCC-onderzoek (in de vorm zoals het bij deze aanvraag is ingediend) op een correcte manier duidt. Nobian is verantwoordelijk voor het opstellen van de aanvraag actualisatie winningsplan en de veiligheid van de mijnbouwactiviteiten.

In deze sectie over het afsluitplan wordt eerst het CCC-onderzoek geïntroduceerd, dan het opvullen van de cavernes als mogelijk onderdeel van het afsluiten, en tenslotte de beoordeling van SodM.

#### Het CCC-onderzoek

Het CCC-onderzoek bevat geen eigen onderzoeksvraag, maar wordt als continuering en locatie-specifieke uitwerking van het KEM-17 onderzoek voor Zuidwending gepresenteerd. Nobian probeert met het CCC-onderzoek invulling te geven aan de overkoepelende conclusies en aanbevelingen van het eerder uitgevoerde KEM-17 onderzoek. Een van de conclusies van het KEM-17 onderzoek is: *"Met de huidige kennis is het niet mogelijk om te zeggen of een diepe caveerne gaat lekken via zeer langzame permeatie, een gelokaliseerd lekpad of een scheur."*

In het CCC-onderzoek wordt aangetoond dat wanneer een caveerne afgesloten wordt, de druk in de cavernes snel zal oplopen, tot ver boven de minimale gesteentespanning en de reksterkte van het gesteente, ondanks dat er druk op een natuurlijke wijze afgelaten wordt door permeatie van pekkel uit de caveerne en in de omringende zoutmassa. Een aantal modellen laten zien dat hierdoor pekkel vanuit de caveerne binnen enkele jaren in contact kan komen met de onderkant van de watervoerende en -remmende lagen boven het zout.

Permeatie als lekmechanisme bij oplopende druk is in het CCC-onderzoek in detail bestudeerd. Het CCC-onderzoek gaat echter zeer beperkt in op andere, mogelijke lekmechanismen: een lokaal lekpad langs een heterogeniteit of (hydraulische) scheurvorming, zoals het KEM-17 stelt. Het CCC-onderzoek raadt aan verder onderzoek hiernaar te doen. Ook het winningsplan zelf verwijst niet of nauwelijks naar deze mogelijke lekmechanismen. Het CCC-onderzoek geeft ook een aantal opties om de oplopende druk in een caveerne na afsluiten te beheersen. Een van de opties, het gedeeltelijk vullen van de cavernes als beheersmaatregel, wordt ook benoemd en beschreven in het winningsplan.

#### Opvullen cavernes

Nobian schrijft in het winningsplan voor het eerst concreet dat op hoge druk afsluiten van de cavernes mogelijk niet zonder beheersmaatregelen kan en geeft in sectie 4.5 van het winningsplan aan dat *"er mitigerende maatregelen mogelijk zijn om de opbouw van cavernedruk vooraf naar een bepaalde evenwichtswaarde te sturen, of om de drukopbouw door bijvoorbeeld thermische effecten te dempen."*

In sectie 6.2.3 van het winningsplan wordt kort beschreven dat de cavernes mogelijk deels met boorgruis, inert gas of zandig materiaal gevuld dienen te worden. Hierbij worden geen benodigde injectievolumes en resulterende productievolumes gegeven. Nobian heeft zelf vragen geïdentificeerd die nog

uitgewerkt dienen te worden in het geval de cavernes (deels) gevuld moeten worden, waaronder de vraag of voldoende vulmateriaal beschikbaar is en hoe het gesteente en het materiaal thermisch en mechanisch reageert in de diepe ondergrond.

Volgens het CCC-onderzoek moet het vullen van cavernes in zeer grote hoeveelheden plaatsvinden (ordegrootte meerdere miljoenen m<sup>3</sup> per caveerne) om zoutkruip rond de caveerne te reduceren en daardoor de drukopbouw door kruip omlaag te brengen. Omdat het om een relatief koud vulmateriaal gaat, zal de caveerne wederom decennia nodig hebben voordat deze weer in de buurt van thermisch evenwicht is en kan worden afgesloten. Nobian verwijst in sectie 6.5.1 van het winningsplan naar een duur van 24 à 30 jaar voor het opwarmen van pekels in wat ze noemen de 'post-mining fase'.

Het CCC-onderzoek geeft in sectie 6.8 aan dat de eerste 2D modellen aantonen dat het (deels) vullen van de cavernes mogelijk geen effectieve beheersmaatregel voor drukopbouw is. Zowel het winningsplan (sectie 6.2.3 en 6.5) als het CCC-onderzoek (sectie 7.3.2) geven aan dat er nog veel onderzoek nodig is over het (deels) vullen van hoge cavernes. Nobian geeft aan dat er een intern projectplan voor het vullen van cavernes is<sup>12</sup>. Dit projectplan is geen onderdeel van de huidige aanvraag tot verlenging van het winningsplan.

#### Oordeel SodM

SodM heeft vanwege de complexe materie, en de centrale rol die het CCC-onderzoek speelt in zowel het advies op deze aanvraag, als in het verscherpte toezicht, dit onderzoek ook onafhankelijk laten reviewen door Dr. W. van der Zee (Bijlage 3). Naar deze review zal gerefereerd worden als "de SodM-review(er)".

Het CCC-onderzoek is van hoge kwaliteit, en is zeker een grote stap in ons begrip van het afsluiten van cavernes. Er zijn echter een aantal aannames, simplificaties, (verschillen tussen) modeluitkomsten en model- en materiaaleigenschapkeuzes die onvoldoende uitgelegd of verklaard zijn. De SodM-reviewer geeft hiervan een aantal voorbeelden. Hierdoor laat een deel van de resultaten effecten zien die niet uitgelegd zijn. Daarmee is het onduidelijk in hoeverre de uitkomsten verklaarbaar zijn en te gebruiken zijn voor besluitvorming.

Voor de beoordeling van de aanvraag vindt SodM het belangrijk hoe Nobian de resultaten van het CCC-onderzoek duidt, en of deze resultaten leiden tot een afsluitplan dat veilig (voor mens en milieu) bevonden kan worden. Het valt op dat Nobian in delen van het winningsplan positiever is en minder onzekerheden lijkt te zien in het CCC-onderzoek dan het CCC-onderzoek zelf. Nobian schrijft bijvoorbeeld in het winningsplan:

- Sectie 4.5: *"Het CCC-onderzoek heeft laten zien dat het permanent afsluiten van de cavernes mogelijk is."*

---

<sup>12</sup> Nobian (10 april 2024) Projectplan caveerne vullen Noord Nederland ZW & HL. Kenmerk NA20240410PP.

- Sectie 6.2.2: *"Het CCC-rapport laat via modellering zien dat hard-afsluiten haalbaar is."*

Op andere plekken in het winningsplan is de duiding van het onderzoek veel minder zeker:

- Sectie 6.5: *"Het CCC-resultaat geeft aan dat er bewijs uit het veld nodig is om hun bevindingen uit de computersimulaties te verifiëren. Daarnaast is het mogelijk dat er mitigerende maatregelen nodig zijn om de drukopbouw na hard afsluiten te vertragen, en mogelijk ook te verlagen."*

Het is mogelijk dat Nobian met deze opmerkingen, over de mogelijkheid tot afsluiten, verwijst naar de resultaten van het CCC-onderzoek waarin wordt aangetoond dat de dilatatie van het zout geen veiligheidsgrens overschrijdt. De zogenaamde *factor of safety* (FOS) voor dilatatie wordt niet overschreden in de modelresultaten. Hier wordt verder niet op ingegaan in het winningsplan.

Dilatatie is volgens SodM belangrijk om rekening mee te houden, maar het is een heel ander geomechanisch faalmechanisme dan (hydraulische) scheurvorming door hoge druk. Dilatatie ontstaat wanneer de spanningsverschillen in verschillende richtingen relatief hoog zijn vergeleken bij de spanningen die het gesteente bij elkaar drukken. Daardoor ontstaan microscopisch kleine ruimtes tussen de zoutkorrels (microscopische "schade") en neemt het volume van het zout toe.

Hydraulische scheurvorming treedt net als permeatie op als de druk in de caverne groter is dan de kleinste, totale gesteentespanning in de caverne plus de reksterkte van het gesteente. De krachten die het gesteente uit elkaar willen duwen (door de druk van de pekel) zijn dan groter dan de krachten die het gesteente bij elkaar houden (gesteentespanning en reksterkte zout). In onder andere het CCC-onderzoek wordt een drukgradiënt van 0,21 bar/m als een veilige, conservatieve waarde aangehouden. Tegelijkertijd wordt er in het CCC-onderzoek (bijv. figuur 166) gesuggereerd dat de druk in de cavernes hier overheen gaat. Hydraulische scheurvorming is daarom niet uitgesloten.

Terwijl het CCC-onderzoek wel ingaat op permeatie en het dilatatieproces, wordt het risico van scheurvorming in zowel het CCC-onderzoek als in het winningsplan niet of maar zeer beperkt behandeld. Het is daarom op dit moment, op basis van de aanvraag, aannemelijk dat scheurvorming kan optreden. Wat de gevolgen hiervan kunnen zijn en of deze eventuele gevolgen beheersbaar zijn, wordt niet uitgewerkt.

*Ik vind het een tekortkoming dat de lek-mechanismes niet verder zijn onderzocht en de mogelijke beheersmaatregelen niet verder zijn uitgewerkt.*

Op basis van de aanvraag, inclusief de onderbouwing van het CCC-onderzoek, vindt SodM het nog niet voldoende aangetoond dat de cavernes veilig af te sluiten en achter te laten zijn. Ook TNO-AGE en de reviewer wijzen hierop. SodM vindt de risico's van het afsluiten van deze cavernes significant. Vooral vanwege de diepte en hoogte van de cavernes, de mogelijke impact op de stabiliteit van de ondergrond en de potentiële, onomkeerbare gevolgen voor omwonenden, natuur

en milieu. Het is daarom essentieel om volledig en gedetailleerd de risicoanalyses uit te voeren. Zowel het CCC-onderzoek en Nobian wijzen dan ook op het belang van verder onderzoek en veldtesten.

Het (deels) vullen van de Zuidwending cavernes is misschien een mitigatie om de druk in de cavernes te controleren en veilig afsluiten mogelijk te maken. Het traject van het vullen van de cavernes als onderdeel van het afsluiten staat echter nog in de kinderschoenen.

Als deels vullen van cavernes een serieuze, mogelijk noodzakelijke optie is om de cavernes veilig te abandonneren dient dit in een volledige en gedetailleerde risicoanalyse te worden uitgewerkt. Belangrijke onderdelen van deze uitwerking zijn:

1. Het inbrengen van stoffen moet adequaat en tijdig bijdragen aan de stabiliteit en integriteit van de cavernes.
2. Nieuwe risico's en gevolgen die boven- en ondergronds worden verwacht bij aanvoer en inbrengen van stoffen moeten gedetailleerd beschreven worden.

Verder zal de in te brengen stof moeten voldoen aan de eisen die gelden vanuit de Omgevingswet en de Wet milieubeheer.

*Ik oordeel dat het deels vullen van cavernes misschien een noodzakelijke maatregel kan zijn om de cavernes af te sluiten. Nobian heeft echter niet voldoende uitgewerkt en onderbouwd dat deels vullen een daadwerkelijk haalbare en veilige optie is. Er is onvoldoende informatie over de specifieke randvoorwaarden en omstandigheden waaronder dit proces veilig kan worden uitgevoerd. De risico's zijn onvoldoende in kaart gebracht. Dit maakt dat het onduidelijk is of het deels vullen van de grote en hoge cavernes voldoende stabiliteit en integriteit biedt voor de lange termijn. Hiermee zijn de eerder genoemde risico's van ongecontroleerde ondergrondse lekkage onvoldoende ondervangen.*

### **Cavernemanagement: het CSIMS**

Het is belangrijk dat het cavernemanagement zo is ingericht dat de cavernes nu én in de toekomst veilig en duurzaam geopereerd en afgesloten kunnen worden. Als onderdeel hiervan heeft Nobian een voorzet gegeven tot het doen van veldtesten in caverne ZW-1 en heeft Nobian het "Caverne Stability and Integrity Management System" (CSIMS)<sup>13</sup> bijgevoegd aan het winningsplan.

Het CSIMS geeft een handelingsperspectief van hoe Nobian zou kunnen komen tot een veilige manier van cavernes opereren gedurende de hele levenscyclus. Het CSIMS wordt waar nodig aangepast naar de meest recente inzichten. SodM vindt het positief om net als bij pijpleidingen (PIMS) en putten (WIMS) de

---

<sup>13</sup> Nobian (28 maart 2024) CSIMS – Nobian's Cavern Stability and Integrity Management System. Bijlage 9 bij de huidige aanvraag.

uitgangspunten en grenswaarden voor stabiliteit en integriteit van cavernes in één overzichtelijk document uit te werken (CSIMS).

In het CSIMS ontbreekt echter een concreet, afgerond risicobeheersplan voor de cavernes in Zuidwending. In de versie meegeleverd met het winningsplan (van 28 maart 2024) ontbreken nog essentiële stukken en wordt verwezen naar lopende en toekomstige onderzoeksresultaten. De gedeelde versie van het CSIMS lijkt nog niet de resultaten van het definitieve CCC-onderzoek verwerkt te hebben, zoals de aanvraag tot actualisatie winningsplan het wel heeft.

Verder zijn voor een aantal productie- en operationele principes aangegeven dat ze belangrijk zijn, maar zijn deze niet uitgewerkt. Zoals blijkt uit het voorgaande is een van de uitkomsten van het CCC-onderzoek dat de druk in afgesloten cavernes oploopt. Er wordt echter nergens een maximale druk (gradiënt) gegeven voor de maximale toegestane caveerne druk na afsluiten. Nobian geeft aan dat hier nog verder onderzoek noodzakelijk is, en geeft niet aan wat op dit moment het beste begrip is van deze druk. Het argument dat deze uitgangspunten en grenswaarden nog verder onderzocht moet worden, acht SodM onvoldoende. Dit is van belang, omdat er ook in de CSIMS staat dat een caveerne niet afgesloten zal worden als dit niet veilig kan. Deze beslissing kan niet worden genomen als niet gedefinieerd is wat veilige grenzen en randvoorwaarden zijn.

*Ik concludeer dat het cavernemanagement op dit moment niet zo is ingericht dat deze cavernes nu en in de toekomst veilig en duurzaam geopereerd en afgesloten kunnen worden.*

### **Samenvatting en advies op de afsluitplannen en het cavernemanagement**

Het is duidelijk dat er nog veel onzekerheden zijn ten aanzien van het veilig afsluiten van deze cavernes. Om tot een acceptabel veiligheidsniveau te komen, zijn mogelijk nog vele jaren theoretisch en toegepast onderzoek nodig, voornamelijk op de grotere (caverne-)schaal. Ik concludeer dat hiermee de "beschrijving van de wijze waarop de holruimte na einde winning buiten gebruik" (Mbb, artikel 25, lid 1, sub f) onvoldoende uitwerking en onderbouwing bevat, en de stabiliteit van de caveerne na winning (Mbb, artikel 25, lid 1, sub d) niet gegarandeerd is. Hierdoor is ook de veiligheid voor omwonenden, natuur en milieu niet gewaarborgd (Mbw, artikel 36, lid 1).

SodM wil onderstrepen dat het zo goed mogelijk opruimen van restanten van mijnbouw een essentieel onderdeel is van een mijnbouwactiviteit. Als niet aangetoond kan worden dat grote, hoge cavernes op een goede manier af te sluiten zijn, dan is het ook niet wenselijk dat deze cavernes een groter volume krijgen of dat er vergelijkbare cavernes bijkomen. Verdere actieve winning waarbij het cavernevolumen groter wordt, vergroot de mogelijke effecten van een ongewenste gebeurtenis, en daarmee het risico. In de sectie "Planmatig gebruik en beheer van de ondergrond" wordt hier verder op ingegaan.

Op basis van de ingediende afsluitplannen adviseer ik u dan ook het volgende:

*Ik adviseer u om niet in te stemmen met verdere actieve winning omdat onvoldoende is aangetoond dat de cavernes veilig afgesloten en achtergelaten kunnen worden.*

*Ik adviseer u niet in te stemmen met het (deels) vullen van de cavernes als onderdeel van de abandonnering van de cavernes.*

SodM wil wel benadrukken dat de huidige cavernes op dit moment niet onveilig zijn. De onzekerheid op de (langdurige) veiligheid wordt pas een onderwerp als de cavernes afgesloten worden.

## **1. Veiligheid als gevolg van bodembeweging**

U verzoekt SodM om het winningsplan te beoordelen op: "*veiligheid van omwonenden, schade aan gebouwen of infrastructurele werken als gevolg van bodembeweging*". Hierbij wordt er gekeken naar de kansen op, en de eventuele gevolgen van bodemtrilling en bodemdaling/bodemstijging op mens en natuur.

In het winningsplan moet de vergunninghouder een prognose presenteren van de bodembeweging die het gevolg is van de zoutwinning en het (lang termijn-)effect van die potentiële bodembeweging. Ook het effect van de afsluitplannen en cavernemanagement op bodembeweging dient hierin mee te worden genomen. Bodembeweging omvat zowel bodemtrillingen (seismiciteit) als bodemdaling (of -stijging). Hieronder gaan we eerst in op bodemtrilling als gevolg van zoutwinning, en vervolgens op bodemdaling.

### **Bodemtrilling en cavernestabiliteit (aandachtspunt B)**

SodM kijkt op verschillende manieren naar bodemtrillingen. Enerzijds kunnen er (bestaande) breuken in de ondergrond gereactiveerd worden wat voor lichte trillingen (seismiciteit) zorgt, die geen direct effect hebben op de stabiliteit van de caveerne. Anderzijds kunnen lichte bodemtrillingen die in of rondom een caveerne plaatsvinden duiden op verminderde cavernestabiliteit. De mogelijke oorzaken voor bodemtrillingen zijn divers, zoals het vereffenen van spanningsverschillen als gevolg van winning, of het afbreken van delen/wanden/daken van een caveerne.

#### Winningsplan Nobian

Nobian geeft aan dat sinds de start van de winning in 1967 geen seismiciteit heeft plaatsgevonden van een niveau dat er schade is ontstaan. Nobian geeft ook aan dat breuken in de relatief ondiepe ondergrond, zoals het geval is bij Zuidwending, slechts beperkt gespannen kunnen worden. Daardoor is vereffening van deze spanning geleidelijk en continu, waardoor de verwachting is dat de intensiteit van de trillingen beperkt zal zijn. Ook "opslingering" van trillingen door de ondergrond wordt niet verwacht. Beide factoren zorgen ervoor dat bodemtrillingen met een magnitude waarbij schade kan worden veroorzaakt, volgens Nobian onwaarschijnlijk zijn.

Om de stabiliteit van de cavernes te monitoren, heeft Nobian in 2019 een microseismisch netwerk aangelegd. Het netwerk meet bodemtrillingen met een magnitude vanaf -0,7.

Nobian acht de kans op schade als gevolg van (micro-)seismiciteit zeer klein. Wanneer er schade wordt vastgesteld, dan kan er door omwonenden contact opgenomen worden met de commissie Mijnbouwschade.

*Bodemtrilling tijdens de productie- en post-leachingfase<sup>14</sup>*: Nobian geeft aan dat bodemtrillingen tijdens deze fases zullen worden geregistreerd door het micro-seismisch meetnetwerk en gerapporteerd in de kwartaalrapportages.

*Bodemtrilling tijdens de post-miningfase<sup>14</sup>*: Bodemtrillingen tijdens deze fase, naast de eerdergenoemde oorzaken, kunnen veroorzaakt worden doordat overdruk in de cavernes zorgt voor de vorming van scheurtjes waardoor vloeistoffen die zich in de caveerne bevinden een pad kunnen vormen in het bovenliggende gesteente. Ook kunnen bodemtrillingen in deze fase een teken zijn van een verminderde caveerne-integriteit of stabiliteit.

In het CSIMS wordt aangegeven dat het monitoren van seismische activiteit doorgaat in de post-miningfase, en dat er acties ondernomen kunnen worden als uit monitoring blijkt dat de veiligheid van de cavernes niet meer zeker is.

#### Oordeel SodM

SodM ziet, net als Nobian, het monitoren op bodemtrillingen vooral als graadmeter van cavernestabiliteit. Het monitoren van de seismiciteit en de cavernestabiliteit loopt op dit moment goed. SodM en Nobian hebben regelmatig contact over opgetreden trillingen en de situatie is op dit moment onder controle.

Over de periode na het afsluiten van de cavernes is veel minder bekend. SodM vindt het tot dusver nog onvoldoende onderzochte effect van verhoogde druk na afsluiten een gemis. Deze verhoging kan theoretisch leiden tot meer en andere seismiciteit. Juist door deze onzekerheid blijkt doorgaande monitoring, en het juist acteren op eventuele signalen na afsluiten, essentieel.

Hoe de cavernestabiliteit zich zal ontwikkelen na afsluiten van de caveerne, is op dit moment niet bekend. Er wordt geen antwoord gegeven op de vraag wat er met de hoge cavernedruk na afsluiten gebeurt. Het is niet uitgesloten dat hierbij scheuren in het zout ontstaan die een effect hebben op de cavernestabiliteit. Ook is niet duidelijk of de aangegeven mogelijke mitigaties leiden tot verbeteringen of aanvullende risico's.

Wat de mogelijke acties (in de periode na afsluiten) zijn, wanneer er (een verandering van) seismiciteit wordt waargenomen, wordt niet behandeld in de aanvraag. Omdat de cavernes in de laatste fase afgesloten zijn, zullen deze acties beperkt zijn.

---

<sup>14</sup> Zie bijlage 1 voor de definities van deze fases.

In de sectie over bodemdaling geeft Nobian aan dat zij zich committeert aan het doen van bodemdalingsmetingen in een meetplan voor een periode van ongeveer 60 jaar na einde van de actieve productie. Dit is inclusief passieve winning (om de druk af te laten) die zal plaatsvinden binnen de eerste ongeveer 30 jaar van deze periode.

*Ik vind dat de termijn van 60 jaar (na actieve winning) ook moet gelden voor het micro-seismisch monitoringsnetwerk en het seismisch risicobeheerssysteem. Daarnaast moet deze termijn verlengd kunnen worden in geval er micro-seismiciteit is die op tekenen van instabiliteit van de caverne kunnen duiden. Micro-seismische monitoring is een van de weinige technieken waarmee we indirect kunnen zien wat er op diepte in de caverne plaatsvindt.*

### **Bodemdaling**

Zout heeft als eigenschap dat het zich enigszins 'vloeibaar' gedraagt wanneer het wordt belast op hoge druk en temperatuur (beide nemen toe met de diepte). Door het oplossen van zout, zoals gedaan wordt in Zuidwending, en relatief lage cavernedruk veranderen de spanningen rond de ontstane caverne. Daardoor gaat het zout bewegen (kruipen) in de richting van de caverne. De wanden van de caverne bewegen naar binnen, en ook het zout in de nabije omgeving van de caverne beweegt zich in de richting van de caverne. Dit zorgt ervoor dat het cavernevolume met de tijd steeds kleiner wordt.

Tegelijkertijd, wanneer het zout de caverne in kruipt, leidt dat aan het aardoppervlak tot bodemdaling. Bodemdaling is daarmee een bekend en verwacht verschijnsel bij zoutwinning. Waar bodemdaling zal optreden is behoorlijk goed te modelleren, aangezien de maximale bodemdaling recht boven de caverne(s) plaatsvindt. Bij de ontwikkeling van meerdere cavernes (een caverneveld) vormt de bodemdaling aan het maaiveld, afhankelijk van de grootte van het caverneveld, een platte schotel met een doorsnede tot enkele kilometers. Er kan wel een forse onzekerheid zijn over de mate van kruip bij bepaalde ondergrondse omstandigheden, zeker na afsluiten van de cavernes, en daarmee de mate van bodemdaling die te verwachten is als gevolg van de voorgenomen zoutwinning.

### Winningsplan Nobian

In het winningsplan Zuidwending wordt door Nobian de mate van verwachte bodemdaling als gevolg van de voorgenomen zoutwinning (het effect), en de te verwachten gevolgen daarvan op de directe omgeving (het gevolg) beschreven. Hierin zijn naast bodemdaling door zoutwinning, ook bodemdaling door gasopslag en gaswinning meegenomen.

Nobian beschrijft twee manieren om de bodemdaling te voorspellen:

1. Een empirische methode, die zich baseert op de bodemdaling uit het verleden, maar niet zo goed is in het voorspellen van bodemdaling tijdens de post-mining fase. Deze methode wordt al jaren gebruikt om bodemdaling te voorspellen. Het empirische model is aangepast om de verschillen in kruipsnelheden en drukopbouw in de (afgesloten) caverne te implementeren die uit het CCC-onderzoek volgen.

2. Een methode gebaseerd op het geomechanische model van het CCC-onderzoek. Dit model is in theorie fysisch beter onderbouwd, maar Nobian heeft ervoor gekozen het empirische model te gebruiken, omdat het geomechanische model onvoldoende gekalibreerd is. Dit geomechanisch model bevat naast bodemdaling ook een component van uplift (bodempstijging).

Ondanks dat Nobian uitgaat van de empirische methode, geeft zij wel de resultaten van geomechanische methode als vergelijk. Deze waarden zijn over het algemeen lager dan die van empirische methode. Dit is een indicatie van de onzekerheid die hoort bij bodemdalingsprognoses, maar ook een goed argument om de empirische methode te gebruiken, omdat deze methode conservatiever is voor de bodemdalingsprognose. Met conservatiever wordt hier bedoeld dat de empirische methode meer bodemdaling geeft dan de geomechanische methode.

*Bodemdaling tijdens productie:* Nobian geeft voor twee verschillende scenario's de geschatte bodemdaling aan het einde van de winning (2035) plus 5 jaar uitloop. De twee scenario's verschillen in de aangenomen kruipsnelheden voor en na afsluiten, die volgen uit de onzekerheid in de (effectieve) correlgrootte in de zoutkoepel. De kruipsnelheden komen voort uit het CCC-onderzoek. Alle opmerkingen over aannames, randvoorwaardes en onzekerheden in de bepaling van deze kruipsnelheden gelden hier ook.

Volgens de verwachting van Nobian bevindt de caverne zich na actieve productie tien tot vijftien jaar (afhankelijk van de noodzaak tot opvullen van de caverne) in de thermische evenwichtsfase (de post-leaching-fase). Nobian verwacht vijftien jaar na het einde van de winning (dus in 2050) een bodemdaling van 16,5 cm, sinds start van de mijnbouw, door zoutwinning alleen. In het conservatieve (maximale bodemdalings)scenario is dit 31,2 cm.

*Bodemdaling tijdens post-leaching en post-mining:* Nobian geeft voor de periode na het einde van de winning een zestal prognoses, voor de jaren 2075, 2100, 2125, 2150, 2200 en 2250. De verwachte bodemdaling als gevolg van zoutwinning alleen sinds het start van de winning wordt voor 2250 geprognostiseerd op 41,1 cm, en voor het maximale scenario is dit 107,1 cm.

Nobian verbindt zich in het winningsplan aan het doen van bodemdalingsmetingen voor een periode van ongeveer 60 jaar, omdat zij van plan is metingen uit te voeren tot 30 jaar na het einde van de post-leaching fase, waarin thermisch evenwicht bereikt moet worden en (waarschijnlijk deels) nog passief gewonnen gaat worden.

*Gevolgen:* De gevolgen voor natuur en milieu, inclusief de gevolgen voor infrastructuur en waterhuishouding, zullen besproken en beoordeeld worden in de sectie "nadelige gevolgen voor natuur en milieu".

### Oordeel SodM

SodM heeft in het Advies actualisatie winningsplan Zuidwending<sup>15</sup> n.a.v. afwijkende bodemdaling aandacht gevraagd voor de verwachte bodemdaling op de lange termijn. Hoewel het Mijnbouwbesluit vraagt om "een kaart met daarop de contouren van de verwachte *uiteindelijke* mate van bodemdaling" (Mbb, artikel 24, lid 1, sub d), is in winningsplannen uit het verleden vaak uitgegaan van maximaal 50 jaar na einde winning. Nobian heeft een bodemdalingsprognose tot het jaar 2250 geven, waardoor de decentrale overheden een beter zicht hebben op de toekomst. De bodemdalingssnelheden laten zien dat er ook na 2250 verdere bodemdaling te verwachten is.

TNO-AGE ging in haar advies met kenmerk AGE 23-10.058 in 2023 in op de toepasselijkheid van de empirische methode voor bodemdalingsvoorspelling op de lange termijn (in de post-mining fase). Hier concludeert TNO dat "*deze aanpak, inclusief de aangegeven onzekerheidsbandbreedte, zoals beschreven in het winningsplan [...] voor [de] korte termijn acceptabel*" is. Dit gaat dus om de periode waarin nog actief gewonnen wordt. Echter, "*voor lange-termijn prognoses waarbij insluiting van het caverneveld wordt meegenomen (en dus de spanningen in het zoutlichaam sterk kunnen veranderen) acht TNO-AGE deze modellen niet geschikt.*" Welke effecten dit heeft op de kwaliteit en grootte van de voorspelling in het voorliggende winningsplan kan SodM niet beoordelen. SodM verwijst hiervoor naar het advies van TNO-AGE (kenmerk AGE 24-10.134) op het voorliggende winningsplan.

Er is ook een mogelijk verschil tussen het CCC-onderzoek en de gegeven empirische bodemdalingsprognose na afsluiten. Het CCC-onderzoek lijkt aan te tonen dat (zonder effectieve, en op dit moment nog onbekende acties) de druk(gradient) in een afgesloten caveerne veel hoger kan worden. In de empirische bodemdalingsberekening<sup>16</sup> lijkt uitgegaan te worden van een drukgradient aan het dak van de caveerne van 0,21 bar/m, na afsluiten van de cavernes (de post-mining fase). Het is ook mogelijk dat er voor de bodemdalingsberekening uitgegaan is dat een effectieve mitigatie voor het oplopen van de druk gevonden gaat worden.

Wat het effect van een eventuele hogere druk in de caveerne is op de bodemdaling is niet meegenomen. Eventuele effecten van mogelijke maatregelen (zoals het gewicht van opvulmateriaal) zijn niet beschreven in de prognose. Hiermee heeft Nobian slechts één mogelijk bodemdalingsscenario na afsluiten gegeven en wordt niet voldaan aan het Mbb (artikel 24, lid 1, sub m-o). SodM kan op basis van de beschikbare gegevens niet inschatten wat de eventuele gevolgen voor de bodemdaling en de veiligheid voor natuur en milieu zijn.

Nobian benoemt in de bodemdalingsprognoses gegeven in het CCC-onderzoek de mogelijkheid van bodemstijging. Dit gebeurt mogelijk door de hoge druk in de cavernes (na afsluiten) wat het cavernedak omhoog kan duwen. Bodemstijging bij (afgesloten) zoutcavernes is in het veld, zover bekend bij SodM, nog nooit

---

<sup>15</sup> SodM advies (9 juni 2023) Advies actualisatie winningsplan Zuidwending (Nobian) – Prioriteit. Kenmerk ADV-8079 – 27095605.

<sup>16</sup> MEMO: DEEP.KBB Subsidence Model Project No.: 5238-881971, Date: 11.04.2024

vastgesteld. In het recente verleden heeft de suggestie van de mogelijkheid van bodemstijging boven een caveerne tot verwarring geleid in een gebied in het noorden van het land. Het is daarom belangrijk om hierbij de grootst mogelijke voorzichtigheid te betrachten.

Nobian geeft ook aan dat er veel onzekerheden zijn in de voorspelling van bodemdaling na het afsluiten. Dit komt niet alleen door de inherente onzekerheden in prognoses, maar ook omdat er nog onduidelijkheid is over het exact te volgen afsluitproces. Vragen die openstaan:

1. Hoe lang duren de vervolgonderzoeken en eventuele veldtesten? Zijn er resultaten beschikbaar voordat er dat er cavernes daadwerkelijk afgesloten gaan worden?
2. Als de cavernes deels gevuld dienen te worden, moeten de cavernes dan voor lange periode drukloos staan?
3. Wat is de impact van de periode van opwarming (jaren tot decennia) op de bodemdaling?
4. Wat zijn de effecten van eventuele mitigerende maatregelen (zoals het gedeeltelijk vullen, of het hebben van een hogere caveerne druk dan de gebruikte 0,21 bar/m)?

Het is de verwachting dat er de komende jaren tot decennia meer (gedetailleerde) gegevens verzameld zullen worden over het productie- en afsluitscenario, het gedrag van zout in het algemeen, en deze concessie in het bijzonder. Nobian committeert zich daaraan in dit winningsplan, en in het CSIMS. Hierdoor is het van belang dat de onderneming regelmatig controleert of de daadwerkelijke bodemdaling overeenstemt met de prognose.

In het besluit op dit winningsplan zal er meer duidelijkheid zijn over de toekomstige winning, abandonnering en nazorg. Omdat hiermee een deel van de onzekerheden zijn opgevangen, zal op basis van dit scenario een nieuwe bodemdalingsprognose uitgewerkt dienen te worden. In deze prognose moet niet alleen de laatste bodemdalingsmeting te zijn opgenomen, maar ook eventuele nieuwe kennis met betrekking tot het gedrag van zout voor en na afsluiten van de cavernes, het actuele productieprofiel, de actuele afsluitplannen etc.

### **Samenvatting en advies bodembeweging**

Uw eerste adviesvraag gaat over "*veiligheid van omwonenden, schade aan gebouwen of infrastructurele werken als gevolg van bodembeweging*".

*Bodemtrilling:* Het monitoren van bodemtrillingen en cavernestabiliteit loopt op dit moment goed, en er zijn geen aanwijzingen dat er op dit moment gevaar dreigt voor mens en milieu. Het is echter nog niet duidelijk hoe de cavernestabiliteit zich ontwikkelt na afsluiten van de hoge cavernes. Om dit beter in beeld te krijgen, is er verder onderzoek nodig.

*Bodemdaling:* De bodemdalingsprognose is uitgevoerd tot het jaar 2250. SodM merkt op dat door onzekerheden in de empirische methode, maar ook de onzekerheden in de toekomstige afsluitscenario's en de mogelijke drukopbouw,

vooral voor de bodemdaling in de post-mining fase, de uiteindelijke bodemdaling significant anders kan uitpakken dan besproken in het winningsplan.

De mate van bodemdaling is sterk afhankelijk van de manier van afsluiten van cavernes. SodM wijst erop dat op basis van de ingediende stukken, de bodemdalingsprognose na afsluiten slechts één prognose van een aantal mogelijke scenario's lijkt te zijn. SodM kan op basis van de ingediende stukken niet bepalen of de "uiteindelijke" bodemdaling (in het jaar 2250) ook de verwachte bodemdaling is, zoals bedoeld in het Mbb (artikel 24, lid 1, sub m-o), en wat de gevolgen zijn voor natuur en milieu.

Op basis van mijn beoordeling op het risico van bodembeweging geef ik u de onderstaande adviezen:

*Ik adviseer om Nobian een nieuwe bodemdalingsprognose te laten opstellen, zodra meer bekend is over het moment en de exacte wijze van afsluiten, maar uiterlijk 31 december 2027. In deze prognose dient ook de cumulatie van effecten door overige mijnbouwactiviteiten te worden meegenomen, inclusief de effecten door de gaswinningen van het Groningerveld. De prognose dient minimaal vijfjaarlijks te worden geëvalueerd. Deze bodemdalingsprognose dient voorgelegd te worden aan de inspecteur-generaal der mijnen en op een publieke plek beschikbaar zijn.*

*Ik adviseer u een verplichting op te nemen tot het monitoren van alle bodembewegingen tot einde passieve winning (post-leaching) en de daaropvolgende 30 jaar.*

*Ik adviseer u om in een eventueel instemmingsbesluit vast te leggen dat Nobian een meetplan heeft dat op het bovenstaande termijn aansluit. Deze termijn kan verlengd worden in het geval de monitoring daar aanleiding toe geeft. Dit meetplan strekt zich tot het meten van bodembeweging. De uitvoerder actualiseert jaarlijks het meetplan gedurende de winningsperiode, inclusief de periode van passieve winning, en de daaropvolgende vijf jaren, en verstrekt daarvan voor 1 november een afschrift aan de minister en SodM. SodM kan namens de minister een aanwijzing geven aan de uitvoerder omtrent de tijdstippen waarop en de plaatsen waar gemeten wordt.*

## **2. Planmatig gebruik en beheer van de ondergrond**

Uw tweede adviesvraag gaat over planmatig gebruik en beheer van de ondergrond. Daarbij vraagt u om een "toetsing doelmatige en efficiënte winning met betrekking tot huidige kennis en technieken."

In dit advies wordt naar de nauwe en brede interpretatie van planmatig gebruik en beheer van de ondergrond gekeken. In de nauwe interpretatie wordt er alleen gekeken naar de primair voorgenomen activiteit zoutwinning en wordt deze beoordeeld. Voor de brede interpretatie van planmatig gebruik en beheer van de ondergrond wordt er vanuit het perspectief van het landelijk gebruik van de ondergrond naar de voorgenomen activiteit gekeken. Daarin speelt de

mogelijkheid voor gebruik van zoutcavernes voor gasopslag een centrale rol. Rekening houdend met de Nederlandse ambities op het gebied van de energietransitie, acht SodM het daarom van belang om ook de brede interpretatie te beoordelen. Bij planmatig gebruik van de ondergrond hoort dan ook nadrukkelijk een afweging in de context van de regionale situatie. Voor de beoordeling van planmatig gebruik en beheer van de ondergrond, kijkt SodM daarom naar drie aspecten: de doelmatigheid en efficiëntie van zoutwinning (primaire activiteit), secundair gebruik van de caverne, en interferentie met ander dan het huidige gebruik van de ondergrond.

### **Doelmatige en efficiënte winning met betrekking tot huidige kennis**

De afgelopen jaren is de kennis van het gedrag van zout significant toegenomen (zie bijvoorbeeld KEM-17<sup>10</sup>, KEM-28<sup>17</sup> en het CCC-onderzoek<sup>20</sup> horend bij deze actualisatie). Een belangrijke vraag in deze actualisatie is of deze kennis veranderingen heeft gebracht in wat in het verleden als doelmatige en efficiënte winning gezien werd.

Nobian geeft aan dat de maximale hoogte en diameter van de cavernes worden beperkt t.o.v. het winningsplan van 2003 en 2008. Nobian zegt daarmee concreet de hoogte niet meer te laten toenemen. Daarnaast wordt de maximale geplande diameter beperkt van 125 m naar 110 m op de dieptes waar dit nog niet bereikt is. Voor de meeste cavernes betekent het alsnog dat het cavernevolumen 20% tot 40% groter worden, een significante toename. ZW-08 wordt nog ruim drie keer zo groot, omdat deze momenteel nog relatief klein is.

De door Nobian opgegeven redenen voor aanpassen van de maximale dimensies zijn de nieuwe inzichten verkregen in het KEM-17 onderzoek. Nobian geeft aan dat de volledige hoogte of een diameter van 125 m niet wenselijk is, maar acht de hoogtes van de huidige cavernes en een diameter van 110 m wel veilig. Nobian schrijft in sectie 4.1 van het winningsplan dat hiermee “[...] *het risicoprofiel van de cavernes voor de nazorgfase niet groter wordt bij verdere winning uit de cavernes.*” Daarnaast geeft Nobian aan dat “[...] *de verdere winning niet leidt tot substantieel andere risico’s*”.

### Oordeel SodM

Het huidige formaat van de Zuidwending cavernes is het resultaat van ontwerpkeuzes uit het verleden, in het belang van efficiënte en doelmatige winning. Hoewel er geen aanwijzingen zijn dat deze cavernes op dit moment onveilig zijn, geeft Nobian aan dat zij cavernes van dit formaat niet meer zal aanleggen. Ook legt Nobian niet uit dat er een duidelijke veiligheidsgrens van de diameter van een caverne is, of waar die grens ligt (bijv. ergens tussen 125 en 110 m breedte). Caverneontwerpen in Zuiderveen zijn bijvoorbeeld veel kleiner en minder hoog, en het KEM-17 en CCC-onderzoek geven aan dat cavernes van het formaat zoals in Zuidwending moeilijk duurzaam af te sluiten zijn. Er is in elk geval verder onderzoek nodig om dit mogelijk te kunnen maken, hoewel er ook

---

<sup>17</sup> Bérest et al. (april 2024) KEM-28 Risk assessment for Underground Hydrogen Storage (UHS) in Salt Caverns and Interaction with other Underground Storage Locations. [Link](#).

scenario's denkbaar zijn dat ingrijpende maatregelen nodig zullen zijn om dit te bereiken.

Op basis hiervan kan SodM de uitspraak dat het risico(profiel) niet verandert, niet volledig staven. De risicocategorie kan gelijk blijven, maar dat betekent niet dat de huidige cavernegroottes, en de bijbehorende huidige risicocategorie wenselijk zijn. Als onderdeel van het (verscherpt) toezicht<sup>18</sup> heeft SodM eerder zorgen geuit over het feit dat Nobian meer zout wil winnen uit de cavernes terwijl ze mogelijk al in een hoge risicocategorie zitten. Dit risico zit mogelijk niet in de productiefase, maar bij de periode na productie. SodM heeft toen al benadrukt dat een procentuele verandering in risico nog niks zegt over hoe groot het absolute risico al is.

Met de uitspraak "*substantieel andere risico's*" wordt waarschijnlijk bedoeld "*substantieel andere ongewenste gebeurtenissen*". Het klopt dat er mogelijk geen hele andere, ongewenste gebeurtenissen zullen optreden, maar mogelijk worden de effecten en daarmee het absolute risico wel groter. Risico is immers kans maal effect. Voor een aantal ongewenste gebeurtenissen worden met het vergroten van het cavernevolume de mogelijke effecten en daarmee het risico vergroot, zoals: potentiële uitstroomvolume van een lekkage, potentiële maximale bodemdaling, potentieel effect op de caverne stabiliteit.

SodM ziet dit als een significante wijziging van het risico. Deze wijziging van de risico's is het gevolg van veranderingen van de huidige kennis van het gedrag van zout, voortschrijdend inzicht van caverneontwerp en het afsluiten van cavernes. De huidige cavernedimensies, die het gevolg zijn van inschattingen van doelmatige en efficiënte winning uit het verleden (op basis de toenmalige kennis en technieken), vindt SodM niet langer verantwoord. SodM vindt het dan ook onverantwoord de cavernes verder door te laten groeien, en een eventueel risico (in voornamelijk de post-mining fase) nog groter te laten worden.

### **Secundair gebruik van de cavernes – naverzadigen pekels**

In het voorliggende winningsplan wordt aangegeven dat het gebruik van deze cavernes als opslagcaverne niet voorzien is. Dit is het gevolg van de ongeschiktheid van het ontwerp van zowel de cavernes en de putten. Op dit punt is advies van SodM dus niet nodig.

Er wordt in het winningsplan wel gesproken over een indirect gebruik van deze cavernes voor beoogde waterstofopslag in het gebied Zuidwending. Nobian geeft aan bij de aanleg van opslagcavernes elders in het gebied, de bestaande cavernes (behalve ZW-1) te willen gebruiken voor naverzadiging van onverzadigde pekels uit deze nieuw aan te leggen opslagcavernes. Dit is strikt genomen geen secundair gebruik, maar een alternatieve winningsstrategie die zal leiden tot het effectiever opereren van *alle* operaties in dit gebied. Vanwege het effect van naverzadiging op de Zuidwending cavernes, zal SodM het gebruik van deze cavernes voor naverzadiging toch hier behandelen.

---

<sup>18</sup> Nobian-SodM Vergaderverslag (10 maart 2021) Transitieplan Noord-Nederland – Plan 2.0. Kenmerk 21070471.

Bij het uitloggen van nieuwe (opslag)cavernes komt initieel onverzadigde pekkel vrij. Als de keuze gemaakt wordt om deze (opslag)cavernes vervolgens relatief snel aan te leggen, zal de pekkel onverzadigd blijven. Nobian geeft in het winningsplan aan dat cavernes ZW-02 t/m -09 kunnen worden gebruikt voor het naverzadigen van onverzadigde pekkel. Nobian geeft als reden dat het indampen van verzadigde pekkel veel efficiënter is en eventuele toekomstige opslagcavernes sneller worden aangelegd. Volgens Nobian *"is het essentieel dat onverzadigde pekkel wordt naverzadigd in bestaande cavernes"*.

#### Oordeel SodM

SodM begrijpt, gegeven de ambities van Nederland voor de energietransitie, dat naverzadiging een middel is om waterstofopslagcavernes versneld te logen. Of het versneld logen wenselijk is, en geen verdere risico's meebrengt, is een discussie die plaats moeten vinden in de beoordeling van het winningsplan van de opslagcaverne.

Wat relevant is voor de beoordeling van dit winningsplan is wat er gebeurt met de onverzadigde pekkel uit de Zuidwending opslagcavernes. Nobian geeft niet aan hoeveel onverzadigde pekkel dient te worden naverzadigd of hoeveel zout daarmee wordt opgelost in ZW-02 t/m -09. Het wordt verder uit het winningsplan niet duidelijk hoeveel de bestaande cavernes zullen groeien als gevolg van enkel naverzadiging, behalve dat het altijd minder zal zijn dan de winning door enkel actieve winning, of dat er bijvoorbeeld onderscheid wordt gemaakt tussen naverzadiging in de grote cavernes (ZW-02 t/m -07) en de kleinere cavernes (ZW-08 en -09).

Vanwege de significante wijzigingen in het risico is eerder aangegeven dat SodM het doorproduceren uit de cavernes via actieve winning onverantwoord vindt. Hierbij maakt Nobian geen onderscheid tussen directe actieve winning of winning via naverzadiging. Duidelijk is in elk geval dat SodM zonder samenhang en verdere uitwerking van de (volumes, concentraties, snelheden en de risico's van) naverzadiging in de Zuidwending cavernes niet kan beoordelen. Daarom vindt SodM ook het vergroten van het volume van deze cavernes via naverzadiging ook onverantwoord.

#### **Interactie tussen verschillende ondergrondse activiteiten (aandachtspunt C)**

In het gebied van de zoutwinning vindt er op dit moment geen andere winning plaats en zijn er geen voornemens om bijvoorbeeld aardwarmte of gas te gaan winnen. Gaswinning in de nabijheid van het gebied is grotendeels gestopt, en aardwarmte is hoogstwaarschijnlijk niet rendabel. Vanuit het huidige gebruik van de ondergrond zijn er dus geen belemmeringen voor de voorgenomen zoutwinning.

De onderneming dient wel rekening te blijven houden met (eventueel anders dan voorzien-verlopende) na-ijlende bodemdaling als gevolg van gaswinning. Het gebied Zuidwending ligt binnen de bodemdalingskom van het voormalige Groningen-gasveld. Het niet correct rekening houden met de daling veroorzaakt

door dit veld heeft recentelijk geleid tot een aanpassing van het winningsplan Zuidwending (ADV-8079).

In de directe nabijheid van de zoutwinningscavernes die behandeld worden in dit winningsplan, bevindt zich ook de aardgasopslag Energiebuffer Zuidwending (EnergyStock B.V.). Deze opslag vindt plaats in zoutcavernes die significant kleiner zijn dan die van Nobian, maar wel in hetzelfde zoutpakket. Er bestaat samenwerking tussen Energystock en Nobian, bijvoorbeeld op het gebied van het meten en voorspellen van bodembewegingen en Energystock is ook onderdeel van het CCC-onderzoek voor Zuidwending.

*Interactie tijdens productie en post-leaching:* In het CSIMS (figuur 21) beschrijft de onderneming welke beheersmaatregelen bestaan als er tijdens de productie of post-leaching fases een hydraulische connectie optreedt tussen cavernes van verschillende operators. Deze mitigaties hangen in grote mate af van het kunnen waarnemen van de drukverandering in de caveerne, en daarvoor moet de put open zijn. Ook de directe mitigaties zijn in grote mate afhankelijk van toegankelijke putten.

*Interactie tijdens post-mining:* Het grote verschil tussen de post-mining fase en eerdere fases is dat de putten dan permanent afgesloten zijn, en dat monitoring van de cavernes indirect is, zoals (micro)seismische monitoring of misschien (niet genoemd in de aanvraag) monitoring van de bodemdaling. In het CSIMS geeft Nobian in het geval van een hydraulische connectie tussen twee afgesloten cavernes, het opnieuw aanboren van een van de beide cavernes als mitigerende maatregel.

#### Oordeel SodM

SodM heeft in het verleden aangegeven (onder andere in de aanpassing van het winningsplan Zuidwending, ADV-8079) begrip van de interactie tussen verschillende cavernes en cavernesystemen als essentieel te zien.

De enige directe observatie van interactie (zoals een hydraulische connectie) tussen twee cavernes zijn observaties van drukontwikkelingen van ten minste een, maar het liefst beide cavernes, en zelfs dan zijn waarschijnlijk meerdere verklaringen mogelijk. Deze observaties zijn niet mogelijk bij afgesloten cavernes. Andere monitoringsmogelijkheden zijn indirect. Deze indirecte monitoringsmogelijkheden geven signalen waar meerdere verklaringen voor kunnen zijn, dus is er in eerste instantie onzekerheid over de adequate mitigatie. SodM vraagt zich af of de tijd die nodig is voor het voorbereiden en uitvoeren van een observatieboring past bij de onzekerheden, het tijdsverloop en risico's van een hydraulische verbinding tussen twee (afgesloten) cavernes.

Een meer fundamentele vraag is: wat *zijn* de risico's van interactie tussen twee afgesloten cavernes? Nobian geeft in het CSIMS aan geen cavernes af te sluiten als dit niet veilig kan, en verwijst naar het CCC-onderzoek hiervoor. Het CCC-onderzoek bevat geen resultaten waar de gasopslag- en winningscavernes samen gemodelleerd worden. Het is dus niet mogelijk de eventuele risico's van dit scenario te vergelijken met interactie tussen twee afgesloten winnings- of

opslagcavernes, die wel gemodelleerd worden. Ook de SodM-reviewer maakt dit punt.

### **Interactie met toekomstige activiteiten**

In de zoutkoepel Zuidwending zijn ook toekomstige ondergrondse activiteiten gepland of voorzien. SodM is bekend met mogelijke waterstof- en persluchttopslagactiviteiten, maar andere activiteiten zijn niet uitgesloten. Of en hoe deze toekomstige activiteiten interfereren met het voorliggende winningsplan is geen onderdeel van dit advies, maar hoort thuis in de procedure van de toekomstige activiteiten.

Duidelijk is dat toekomstige operaties rekening zullen moeten houden met de huidige activiteiten en dus in zekere mate afhankelijk zijn van Nobian voor informatievoorziening over haar activiteiten en de status van haar cavernes.

### **Samenvatting en advies planmatig gebruik en beheer van de ondergrond**

Uw adviesvraag gaat over de *"toetsing doelmatige en efficiënte winning met betrekking tot huidige kennis en technieken"*.

In tegenstelling tot wat Nobian aangeeft, ziet SodM wel een wijziging van het risico(profiel) bij het verder uitloggen van de al grote en hoge cavernes. Deze wijziging van de risico's is het gevolg van veranderingen van de huidige kennis van het gedrag van zout, voortschrijdend inzicht van caverneontwerp en het afsluiten van cavernes. De huidige cavernedimensies zijn volgens SodM dan ook niet meer verantwoord, en vindt SodM het ook niet verantwoord om verder uit te loggen en het risico verder te vergroten.

Deze verdere vergroting vindt ook plaats wanneer naverzadiging van onverzadigde pekel plaats vindt wat komt uit nieuw aan te leggen opslagcavernes. Omdat er geen onderscheid gemaakt wordt tussen directe actieve winning of winning via naverzadiging, en er geen verdere uitwerking is van de volumes, concentraties, snelheden en risico's door naverzadiging (alleen), kan SodM dit onderscheid ook niet maken. SodM vindt daarom ook het vergroten van het volume van deze cavernes via naverzadiging, zonder verdere uitwerking, onverantwoord.

Toekomstige operaties, waaronder waterstofopslagactiviteiten, horen thuis in de beoordeling van toekomstige procedures. Het is wel van belang dat deze procedures continu in samenhang worden gezien.

Op basis van mijn beoordeling op het planmatig gebruik en beheer van de ondergrond geef ik u de onderstaande adviezen:

*Ik adviseer u op basis van de toetsing van (de veranderende inzichten op) doelmatige en efficiënte winning niet in te stemmen met verdere actieve winning uit cavernes ZW-02 t/m 09.*

*Ik adviseer u ook niet in te stemmen met verdere winning via naverzadiging uit cavernes ZW-02 t/m 09.*

Mocht u ondanks de eerder beschreven zorgen van SodM, toch willen instemmen met naverzadiging, geeft SodM u het volgende advies:

*Om een weloverwogen keuze te kunnen maken over naverzadiging in de cavernes adviseer ik u Nobian de voor- en nadelen en de technische details van naverzadigen voorafgaand aan uw instemming, voldoende onderbouwd te laten uitwerken.*

Ik vind het belangrijk een eventuele afweging voor naverzadiging te maken in de context van het winningsplan voor de waterstofcavernes. Daarom adviseer ik ook het volgende:

*Ik adviseer u de bovengenoemde uitwerking in samenhang te beoordelen met een eventueel winningsplan voor de waterstofcavernes. Uiteraard sta ik tot uw beschikking u hierbij verder te adviseren.*

### **3. Nadelige gevolgen voor natuur en milieu**

In uw derde adviesvraag verzoekt u ons het winningsplan te beoordelen op: "nadelige gevolgen voor natuur en milieu als gevolg van bodembeweging". Bij de beoordeling wordt gekeken naar de directe effecten veroorzaakt door bodembeweging, permeatie en mogelijk scheurvorming. Beoordeling over andere nadelige gevolgen voor het milieu vindt plaats in andere (adviezen op) vergunningen dan dit winningsplan, zoals de omgevingsvergunning.

#### **Inschatting van effecten door bodemdaling en permeatie op de natuur en het grondwater**

*Bodemdaling:* Volgens het winningsplan liggen de cavernes niet in beschermde natuurgebieden (Natura2000 of Natuurnetwerk Nederland). Tevens bevinden er zich geen waterwingebieden, grondwaterbeschermingszones of strategische voorraden/reserves in het winningsgebied. De gevolgen voor de natuur zijn in het winningsplan summier beschreven, maar Nobian verwacht dat deze minimaal zullen zijn. Wel heeft Nobian gecontroleerd of gewijzigde grondwaterniveaus tot in Natura 2000 gebieden doorwerken. Dat lijkt niet direct het geval. SodM onderschrijft deze verwachting, maar verwijst hierbij ook naar de adviezen van de decentrale overheden.

*Permeatie:* Er zullen ook processen plaatsvinden in de ondergrond die niet direct zichtbaar of meetbaar zijn aan het oppervlak, waaronder permeatie en mogelijk (hydraulische) scheurvorming. Nobian en het CCC-onderzoek geven aan dat permeatie alleen na afsluiten en met name bovenin de caveerne plaats zal vinden. Dit zou een natuurlijk aflatmechanisme voor de druk kunnen zijn, waardoor de caveerne mogelijk tot een evenwichtsdruk zou komen.

Nobian geeft niet aan wat de eventuele gevolgen van de pekeltroom zijn op de gesteentelagen waardoor de pekeltroom permeëert, na afsluiten van de cavernes. Figuur 102 van het CCC-onderzoek laat zien dat de permeabiliteit boven het

cavernedak dusdanig toeneemt door permeatie dat binnen afzienbare tijd na het afsluiten een hydraulische verbinding ontstaat tussen de caverne en de bodem van de watervoerende en -remmende lagen boven het zout. Hierin zijn heterogeniteiten in het zout nog niet meegenomen, waardoor de pekelseelstroom gelokaliseerd kan worden. De hoeveelheid pekelseel dat mogelijk deze gesteentelagen bereikt door permeatie, wat de mogelijke gevolgen hiervan zijn op de watervoerende lagen, en de eventuele mitigaties, wordt niet uitgewerkt in het winningsplan.

Ook wordt er niet of beperkt ingegaan op (de effecten van) het ontstaan van mogelijke scheuren als gevolg van een hoge druk na afsluiten. In essentie zijn deze effecten vergelijkbaar met de effecten van (gelokaliseerde) permeatie, hoewel het mogelijk is dat deze scheuren eventueel waterremmende lagen boven het zout doorbreken.

Voor de bescherming van de watervoerende lagen is het van belang te begrijpen welk effect deze influx van pekelseel kan hebben op de watervoerende lagen, en of er eventuele mitigerende maatregelen mogelijk zijn. Omdat deze ontbreken, kan SodM de impact van de permeatie en (mogelijke) scheurvorming op de watervoerende lagen niet beoordelen. Hierdoor blijven onzekerheden over het risiconiveau bestaan.

### **Inschatting van mogelijke schade door bodemdaling**

Nobian geeft aan dat de verwachte bodemdaling zich zal manifesteren als een platte schotel met een doorsnede van meerdere kilometers. Daardoor is de daling aan het maaiveld niet zichtbaar. Nobian heeft beoordeeld dat deze bodemdalingsschade in 2250 een scheefstand en rek oplevert bij bebouwing die ruim onder de waarden zit die worden gezien als mogelijk schadeveroorzakend. Nobian verwacht daarom geen directe schade aan gebouwen of infrastructuur.

De effecten op de geohydrologie zijn bepaald voor de jaren 2050 en 2125, omdat er voor de latere jaren geen verwachtingen voor de waterstanden beschikbaar zijn. Uit de analyse concludeert Nobian dat het in het verwachte bodemdalingsscenario waarschijnlijk mogelijk is om de drooglegging en afwatering vergelijkbaar met nu te houden, maar dat hier wel aanpassingen aan bestaande stuwen, nieuwe peilgebieden en nieuwe kunstwerken voor nodig zijn. Voor het conservatieve bodemdalingsscenario stelt Nobian dat het nog steeds technisch mogelijk is de waterstanden te beheersen, maar dat hierdoor een zeer versnipperd en complex systeem nodig zal zijn.

Nobian geeft aan van plan te zijn in gesprek te gaan met het waterschap, en een contract af te sluiten voor de financiële afwikkeling van technische ingrepen die nodig blijken te zijn.

SodM verwijst naar het advies van het waterschap op dit punt. SodM vindt het een tekortkoming dat de gesprekken en eventuele afspraken met het waterschap niet op voorhand gedaan en gemaakt zijn. Ook wijst SodM in deze context op het belang van het controleren van de daadwerkelijke bodemdaling tegen de prognose, en het belang van het meenemen van gestapelde mijnbouw.

SodM onderschrijft de verwachting dat bodemdaling geen directe schade aan gebouwen veroorzaakt. De bodemdaling kan wel invloed hebben op het zelf-afwaterend vermogen van de riolering. Nobian heeft voor de gemeenten Veendam en Pekela, voor de jaren 2075 en 2250, en voor beide bodemdalingsscenario's onderzocht hoeveel impact dat heeft op de bestaande riolering. Nobian komt tot de conclusie dat bij een reële levensduur van 80 jaar (waarna de riolering vervangen, en opnieuw gelegd wordt) de effecten verwaarloosbaar zijn.

SodM verwijst naar de adviezen van de beide gemeenten op dit punt. Als de gemeenten en het waterschap aangeven in staat te zijn om adequate maatregelen te nemen om negatieve effecten van de bodemdaling te beheersen, acht SodM de verwachting van Nobian met betrekking tot directe en indirecte schade reëel. Het is aan de gemeenten en het waterschap om in hun advies inzake dit winningsplan aan te geven of zij inderdaad in staat zijn dergelijke maatregelen te nemen.

#### **Samenvatting en advies nadelige gevolgen voor natuur en milieu**

Uw adviesvraag gaat over de *"nadelige gevolgen voor natuur en milieu als gevolg van bodembeweging"*.

De bodemdaling veroorzaakt door zoutwinning heeft naar verwachting van SodM geen directe schade aan gebouwen tot gevolg. Nobian geeft ook aan dat de effecten op het zelf-afwaterend vermogen van bestaande riolering verwaarloosbaar is. De cavernes liggen niet in of nabij beschermde natuurgebieden belangrijke grondwaterbeschermingsgebieden, waardoor de gevolgen van bodemdaling niet door lijken te werken op deze gebieden.

SodM verwijst naar de adviezen van het waterschap en de betreffende gemeenten wat betreft de effecten op de geohydrologie en de riolering. Het is aan de gemeenten en het waterschap om in hun advies inzake dit winningsplan aan te geven of zij inderdaad in staat zijn om maatregelen te nemen als gevolg van bodemdaling.

Onder het oppervlak kan permeatie van pekela uit de caverne volgens modellen in het CCC-onderzoek mogelijk wel de watervoerende lagen bereiken. Dit proces wordt verder niet uitgewerkt in het winningsplan. De onzekerheid op de mogelijke effecten van (gelokaliseerde) permeatie en scheurvorming op de watervoerende en -remmende lagen boven het zout draagt bij aan het advies niet in te stemmen met actieve winning en winning door naverzadiging.

Op basis van de bovenstaande beoordeling geef ik u het onderstaande advies:

*Mocht u instemmen met actief winnen, dan adviseer ik u die instemming pas te verlenen nadat er een getekende overeenkomst is tussen Nobian, het waterschap en de gemeenten met betrekking tot de financiële afwikkeling van eventuele schade en technische ingrepen.*

## Maatvoering van de cavernes (aandachtspunt D)

Mbw, artikel 34 (lid 1) en Mbb, artikel 25 (lid 1, sub c) schrijven voor dat winning dient plaats te vinden volgens het winningsplan, en dat het winningsplan een beschrijving moet bevatten van de vorm en ligging van de cavernes.

De afgelopen jaren heeft SodM vanuit haar rol als toezichthouder Nobian gewezen op het belang van deze artikelen, zeker als het gaat om de in de vigerende winningsplannen opgenomen normen aangaande cavernedimensies en pijlerdiktes. In ADV-8056 heeft SodM aangegeven dat ze verwacht dat in een toekomstig winningsplan dit correct zal zijn weergegeven.

In de huidige aanvraag wordt in sectie 4.1 het verwachte volume aan het eind van het vigerende winningsplan, en het verwachte volume aan het einde van de winning gegeven. De ligging en de maximale diameter aan de hand van de maximale contour van de laatste sonar meting wordt gegeven in hoofdstuk 5.4 en bijlage 12 van het winningsplan. Deze kaart geeft de situatie weer van 27 maart 2024.

SodM stelt vast dat de maximale caveer diameters in deze bijlage 12 van het winningsplan in overeenstemming zijn met de bekende situatie. Hiermee is de daadwerkelijke ondergrondse situatie weer in overeenstemming met het winningsplan. SodM wijst erop dat eventuele overschrijdingen van de maximaal vergunde contour, of van de diameters die in de huidige situatie al groter zijn, tijdens de winningsfase niet toegestaan zijn.

## Advies op wel toegestane activiteiten

### Passieve winning (aandachtspunt E)

Stilstaande cavernes die door opwarming van pekels en zoutkruip op druk komen (zoals nu al het geval voor caveer ZW-1) zullen regelmatig afgelaten moeten worden om de opbouwende druk te beheersen. Om deze druk te beheersen, dient het periodiek aflaten (oftewel passieve winning) van cavernes vergund te worden, ook als er niet wordt ingestemd met de actieve winning. De volumes van aflaten zijn relatief klein, en de invloed op de bodemdaling beperkt, maar de invloed op de drukbeheersing groot. Anders dan bij actieve winningen en naverzadiging wordt er bij passieve winning geen zoet water, of onverzadigde pekels stroom in de caveer ingebracht. Hierdoor vindt er geen loging plaats, en wordt het caveervolume niet groter.

### Monitoring

Ook zal de normale monitoring van het caveerveld (zoals micro-seismisch monitoring, druk monitoring, bodemdaling en sonarvolume metingen) door moeten gaan, en ook onderhoud van cavernes, putten en pijpleidingen blijft belangrijk. Tijdens deze periode, die mogelijk enkele decennia zal duren, zal er een ervaren operator beschikbaar moeten zijn die verantwoordelijkheid neemt voor de ontstane situatie. Het volledig weigeren van de voorliggende actualisatie of het intrekken van de vigerende instemming draagt niet bij aan het op termijn duurzaam afsluiten van deze cavernes.

### Onderzoek

SodM staat positief tegenover aanvullend onderzoek en pilotstudies (zoals de door Nobian genoemde veldtesten in caveerne ZW-1) die door Nobian uitgevoerd zal moeten worden voordat deze cavernes veilig afgesloten kunnen worden.

Nobian en het CCC-onderzoek geven aan dat veldtesten nodig zijn om de modellen te verfijnen. Nobian is van plan om een veldtest bij caveerne ZW-1 uit te voeren om de effecten van vullen op veldschaal te bestuderen. Als doel van de veldtest wordt gegeven:

- Validatie van numerieke modelresultaten met veldmetingen; en
- Het effect van drukopbouw door deels opvullen van cavernes.

SodM ziet de toegevoegde waarde van veldtesten als deze veilig kunnen worden uitgevoerd. Zoutwinning op schaal van een caveerneveld heeft geologische heterogeniteit en onzekerheid die moeilijk te vatten is op microschaal en in een model. Een veldtest op caveerne-schaal is een mijnbouwactiviteit die risico's kan bevatten. Nobian zal een uitgebreid testplan en risico-inventarisatie moeten uitwerken. Het is waarschijnlijk dat extra onderzoek nodig is voordat een plan voor een veldtest op caveerne-schaal concreet kan worden uitgewerkt.

*Ik adviseer u in te stemmen met passieve winning door het periodiek aflatens van uit productie zijnde cavernes. Verder moet de onderneming in staat gesteld worden onderhoud en monitoring uit te voeren, en moeten er verder onderzoeken en testen gedaan worden, zolang dit veilig kan. Dit is naar mijn oordeel nodig om de huidige situatie te beheersen, het veilig en duurzaam afsluiten van deze hoge cavernes te kunnen onderzoeken en het afsluiten in de toekomst uit te kunnen voeren.*

## **Omgevingsmanagement (aandachtspunt F)**

Er gebeurt in Zuidwending veel in de diepe ondergrond. Er wordt zout gewonnen, aardgas opgeslagen, en straks mogelijk ook waterstof- en persluchttopslag. Bij deze (toekomstige) activiteiten is het belangrijk om goed naar omwonenden te luisteren, en zorgen of andere signalen in kaart te brengen. Het is verwarrend voor burgers als zij niet in samenhang over alle (voorgenomen) plannen en procedures worden geïnformeerd, zeker wanneer er meerdere partijen betrokken zijn.

Uit gesprekken met de omgeving weet SodM dat omwonenden zich zorgen maken over bodemdaling en schadeafhandeling. Een aantal bewoners is bang dat mijnbouwondernemingen tijdens de winningsaanvraag goed in contact staan met de omgeving, maar na het verkrijgen van een vergunning niet meer bereikbaar zijn voor de beantwoording van vragen.

Nobian geeft aan dat in het belang van de omgeving, de beoordeling van eventuele schade door zoutwinning gedaan kan worden bij één onafhankelijk loket. Hoe Nobian de zorgen probeert weg te nemen bij de omgeving vóórdat er mogelijk schade is, wordt niet benoemd in het winningsplan. Dit vraagt om een aanpak waarbij de omgeving vanaf het begin wordt meegenomen en goed wordt geïnformeerd.

SodM onderschrijft het belang van duidelijkheid voor bewoners over eventuele schadebeoordeling en -afhandeling. Omdat het gebied Zuidwending binnen het effectgebied bewijzvermoeden mijnbouwschade ligt (dat wil zeggen, binnen 6 km van de rand van het Groningenveld), kunnen omwonenden naast de commissie Mijnbouwschade ook contact opnemen met het Instituut Mijnbouwschade Groningen (IMG).

SodM is zich bewust dat dit advies mogelijk niet op een positieve wijze bijdraagt aan de zorgen van de omgeving. De indruk kan ontstaan dat huidige situatie nu al onveilig is. Dat is niet het geval, hoewel onverwachte voorvallen nooit helemaal te voorspellen of voorkomen zijn, en effecten als bodemdaling permanent en meetbaar zijn. De huidige ondergrondse situatie is in de huidige winningsfase beheersbaar omdat de druk in de cavernes gecontroleerd wordt. SodM probeert in dit advies invulling te geven aan haar taak om ook de *toekomstige* situatie, specifiek na afsluiten, veilig te laten zijn. Op basis van het voorliggende stukken is dat niet eenvoudig aan te tonen. SodM heeft als doel om met dit advies de "onbekende situatie" van permanent afgesloten cavernes beter te begrijpen voordat hier keuzes over gemaakt worden, en ook de eventuele effecten in de toekomst nu al te sturen. SodM is beschikbaar om haar advies eventueel, op uw verzoek, in de omgeving toe te lichten.

*Ik verzoek u te bevorderen dat de mijnbouwonderneming duidelijke uitleg geeft aan de omgeving over de plannen, behoeften uit de omgeving inventariseert, daar rekening mee houdt en communiceert over de wijze waarop zij dat doet, en ook tijdens de looptijd van het winningsplan goed contact onderhoudt met de omgeving.*

*Ik adviseer u in het besluit duidelijkheid te bieden aan de omgeving wanneer en bij welk loket eventuele schade door bodembeweging onderzocht en vergoed kan worden.*

## **Financiële zekerheid (aandachtspunt G)**

SodM heeft geconstateerd dat schade, als gevolg van zoutwinning door Nobian en de plannen om de cavernes af te sluiten, niet uitgesloten kan worden. Daarnaast merkt SodM op dat Nobian in Zuidwending te maken heeft met een erfenis van mogelijk nog moeilijk af te sluiten hoge cavernes.

Verder constateert SodM dat er de afgelopen jaren verschillende significante vennootrechtelijke wijzigingen hebben plaatsgevonden bij Nobian. Al deze observaties en ontwikkelingen hebben SodM ertoe aangezet u te adviseren bij een instemmingsbesluit een aanvullende voorwaarde over een financiële zekerheidsstelling op te nemen dan wel daartoe een separaat besluit te nemen.

Deze financiële zekerheidsstelling is tweeledig. Het eerste deel van de zekerheidsstelling is gericht op een dekking van de aansprakelijkheid voor de schade die naar redelijke inschatting ontstaat door beweging van de aardbodem als gevolg van de voorgenomen zoutwinning, zoals gesteld in de Mbw, artikel 46.

Het tweede deel is gericht op een financiële zekerheid aan de Staat der Nederlanden op te stellen voor het verwijderen van een mijnbouwwerk, zoals gesteld in de Mbw, artikel 47. Dit met het doel te borgen dat de Staat der Nederlanden en daarmee de maatschappij niet de kosten van de ontmanteling van de hier voorgenomen mijnbouwwerken zal moeten dragen.

Als het noodzakelijk blijkt dat de cavernes in Zuidwending alleen af te sluiten zijn door ze (deels) te vullen, kunnen de kosten zeer hoog oplopen. Ook beheer zoals aflaten van cavernes, onderhoud aan putten en pijpleidingen en monitoring kan lange tijd noodzakelijk zijn. Ik adviseer u om Nobian de kosten hiervan uit te laten werken, om te kunnen bepalen wat een realistische en adequate financiële zekerheidsstelling is. Ik stel mij beschikbaar om u te adviseren bij de beoordeling hiervan.

*Ik adviseer u om een voorwaarde op te nemen of een separaat besluit te nemen waarin wordt vastgelegd dat Nobian voldoende financiële zekerheid stelt ter dekking van de aansprakelijkheid voor de schade die ontstaat als gevolg van de voorgenomen zoutwinning en voor de kosten voor het veilig afsluiten van de cavernes en het verwijderen van de voorgenomen mijnbouwwerken.*

## Conclusies en aanbevelingen

Op basis van de beoordeling van het winningsplan en de onderliggende stukken adviseer ik u het volgende:

- 1. Ik adviseer u om niet in te stemmen met verdere actieve winning uit cavernes ZW-02 t/m ZW-09, inclusief winning via naverzadiging, omdat:*
  - Onvoldoende is aangetoond dat de cavernes veilig afgesloten en achtergelaten kunnen worden;*
  - Verdere volumetoename niet verantwoord is, zolang niet is aangetoond dat dit geen risicotoename tot gevolg heeft;*
  - Onvoldoende is aangetoond dat (gelokaliseerde) permeatie en mogelijk scheurvorming geen negatief effect hebben op de watervoerende en -remmende lagen boven het zout.*
- 2. Ik adviseer u om niet in te stemmen met het (deels) vullen van de cavernes als onderdeel van de abandonnering van de cavernes omdat dit onvoldoende is uitgewerkt en de effectiviteit niet is aangetoond. Ook zijn mogelijke additionele risico's niet beschreven.*
- 3. Ik adviseer u om wel in te stemmen met passieve winning door het periodiek aflaten van uit productie zijnde cavernes. Dit is naar mijn oordeel noodzakelijk om de huidige situatie te beheersen. Ook moet onderhoud en verder onderzoek mogelijk blijven.*
- 4. Mocht u, in afwijking van mijn advies, toch instemmen met actieve winning door naverzadiging, dan adviseer ik u om Nobian de voor- en nadelen van naverzadigen voorafgaand aan uw instemming voldoende onderbouwd te laten uitwerken. SodM vindt het belangrijk een eventuele afweging voor naverzadiging*

*te maken in samenhang met het winningsplan voor de waterstofcavernes. Deze hangen immers onlosmakelijk met elkaar samen. Uiteraard sta ik tot uw beschikking u hierbij verder te adviseren.*

Met betrekking tot bodembeweging, adviseer ik u het volgende:

- 5. Ik adviseer u om Nobian een nieuwe bodemdalingsprognose te laten opstellen, zodra meer bekend is over het moment en de exacte wijze van afsluiten, maar uiterlijk 31 december 2027. In deze prognose dient ook de cumulatie van effecten door overige mijnbouwactiviteiten te worden meegenomen, inclusief de effecten door de gaswinningen van het Groningerveld. De prognose dient minimaal vijf-jaarlijks te worden geëvalueerd. Deze bodemdalingsprognose dient voorgelegd te worden aan de inspecteur-generaal der mijnen en op een publieke plek beschikbaar zijn.*
- 6. Ik adviseer u om Nobian een verplichting op te leggen tot het monitoren van alle bodembewegingen tot einde passieve winning (post-leaching) en de daaropvolgende 30 jaar.*
- 7. Ik adviseer u om vast te leggen dat Nobian een meetplan heeft dat op het bovenstaande termijn aansluit. Deze termijn kan verlengd worden in het geval de monitoring daar aanleiding toe geeft. Dit meetplan strekt zich tot het meten van bodembeweging. De uitvoerder actualiseert jaarlijks het meetplan gedurende de winningsperiode, inclusief de periode van passieve winning, en de daaropvolgende vijf jaren, en verstrekt daarvan voor 1 november een afschrift aan de minister en SodM. SodM kan namens de minister een aanwijzing geven aan de uitvoerder omtrent de tijdstippen waarop en de plaatsen waar gemeten wordt.*
- 8. Ik adviseer u om duidelijkheid te bieden aan de omgeving wanneer en bij welk loket eventuele schade door bodembeweging onderzocht en vergoed kan worden.*

Met betrekking tot de financiële zekerheid, adviseer ik u het volgende:


- 9. Mocht u, in afwijking van mijn advies, toch instemmen met actief winnen, dan adviseer ik u om die instemming pas te verlenen nadat er een getekende overeenkomst is tussen Nobian, het waterschap en de gemeenten met betrekking tot de financiële afwikkeling van eventuele schade en technische ingrepen.*
- 10. Ik adviseer u om vast te leggen dat Nobian voldoende financiële zekerheid stelt ter dekking van de aansprakelijkheid voor de schade die ontstaat als gevolg van de zoutwinning en voor de kosten voor het veilig afsluiten van de cavernes en het verwijderen van de mijnbouwwerken.*

Ik hoop u hiermee voldoende geïnformeerd te hebben.

Met vriendelijke groet,

De Inspecteur-generaal der mijnen,  
Namens deze,

5.1.2.e



## Bijlage 1: Uitgangspunten advies

In deze bijlage staat uitgewerkt hoe SodM kijkt naar de risicobeoordeling van het winningsplan. Dit helpt beter te begrijpen hoe we de huidige adviesvraag zien en hoe het past in het maatschappelijk belang van veilige mijnbouw.

### Volledige levenscyclus

Een winningsplan gaat niet alleen over de fase van actieve winning, maar over de hele levenscyclus van een cavernecollier. SodM onderschrijft daarbij het belang onderscheid te maken tussen de productie-, de post-leaching-, de abandonerings- en de nazorg- (of: post-mining-) fases. Zie voor definities figuur 1 van het CSIMS<sup>19</sup> bij dit winningsplan. Al deze fases hebben hun eigen activiteiten, risico's, monitoringsmethodes en aandachtspunten qua toezicht. In dit advies noemen wij zoveel mogelijk de relevante fases.

### Risicobeoordeling

SodM gebruikt de definitie *risico = kans x effect*. SodM kijkt bij het beoordelen van risico's naar *kansen* dat ongewenste gebeurtenissen optreden en naar de *effecten* die worden veroorzaakt. Een operator kan preventieve en repressieve *maatregelen* nemen om zowel de kansen als de effecten, en daarmee het risico, te reduceren.

### "Punt op de horizon"

SodM beoordeelt de aanvraag tot actualisatie op basis van de stukken die door Nobian bij de aanvraag zijn ingediend. Voor SodM is het belangrijk om na een technische beoordeling overtuigd te zijn dat veilige abandonnering en nazorg in de toekomst mogelijk is. Nobian dient daarom als competente operator te laten zien dat dit een punt op de horizon is dat daadwerkelijk bereikt kan worden en dat niet blijft doorschuiven naar een paar jaar in de toekomst. Het verscherpt toezicht op abandonneren en nazorg van de grote en hoge cavernes is ingesteld, omdat dit punt op de horizon niet dichterbij kwam.

### Inspannings- vs. resultaatverplichting

De vele onderliggende studies bij het winningsplan laten veel interessant, wetenschappelijk en locatie-specifiek werk zien.

- Nobian schrijft: "*Het Cavern Closure Consortium<sup>20</sup> (CCC) bestaat uit de meest vooraanstaande experts op het gebied van oplosmijnbouw en gesteentemechanica en deze maken gebruik van de meest geavanceerde modellen.*"
- Het CCC-onderzoek schrijft: "*As far as we know, this is the first time such a thorough abandonment study has been conducted for a single site.*"

---

<sup>19</sup> Nobian (28 maart 2024) CSIMS – Nobian's Cavern Stability and Integrity Management System. Bijlage 9 bij de huidige aanvraag.

<sup>20</sup> Cavern Closure Consortium (CCC) (11 april 2024) Abandonment of solution mining cavern field Zuidwending, The Netherlands– an integrated, multiscale investigation – Version: 240411. Bijlage 1 bij de huidige aanvraag.

- Samenvatting review Prof. Em. Dr. Chris Spiers<sup>21</sup>: *"The Zuidwending cavern abandonment study, by the Cavern Closure Consortium, represents the most comprehensive and physically realistic investigation of cavern behaviour, on operational and abandonment time scales, that this reviewer has encountered."*

SodM heeft waardering voor hoe Nobian de afgelopen jaren onderzoek op verschillende schalen heeft laten uitvoeren en proberen te integreren.

Goed gedegen onderzoek is echter wat anders dan het *beantwoorden* van de onderliggende onderzoeksvraag (zie vraag *"Zijn de cavernes veilig af te sluiten en achter te laten?"* in het advies), het verkrijgen van gewenste resultaten of wegnemen van alle onzekerheden. Voorkomen dient te worden dat steeds verder onderzoek nodig blijft, omdat eerder onderzoek de vraag niet beantwoordt. Dit bedoelt SodM met het wel of niet kunnen bereiken van een "punt op de horizon". De kwaliteit en het succes van het uitvoeren van het onderzoek van het CCC-onderzoek staat los van hoe veilig het is om het cavernevolumen te vergroten en af te sluiten. Voor instemming met het winningsplan is er geen inspanningsverplichting, maar een resultaatverplichting: veiligheid gedurende de hele levenscyclus van de cavernes.

### **Sluiting los van verdere winning**

Voor de cavernes in Zuidwending is het niet de vraag *of* ze afgesloten dienen te worden. Dit moet gebeuren ongeacht of de actieve winning wel of niet doorgaat. Er zal minimaal instemming met een beperkt winningsplan moeten komen dat er op toe ziet dat de cavernes komende jaren veilig kunnen worden beheerst en afgelaten (passieve winning).

---

<sup>21</sup> Prof. Em. Dr. C.J. Spiers (11 april 2024) A brief review of the report on "Abandonment of solution mining cavern field Zuidwending, the Netherlands" – by the Cavern Closure Consortium (CCC).

## Bijlage 2: Verscherpt toezicht abandonneren en nazorg

Het verscherpt toezicht ziet sinds 2018<sup>22</sup> op het veilig kunnen abandonneren van de cavernes in Heiligerlee en Zuidwending. Destijds werd het abandonneringsproces sterk vertraagd door technische problemen en het zoeken van een goede oplossing daarvoor. In de tussentijd zijn er veel onderzoeken uitgezet en uitgevoerd onder begeleiding van Nobian. In februari 2024 zijn nog resultaten van het CCC-onderzoek gepresenteerd aan inspecteurs op het kantoor in Amersfoort. Bij dit winningsplan zit een omvangrijk rapport van de onderzoeken als bijlage.

### Verscherpt toezicht

Onderstaande zinsneden zijn afkomstig aan uit brieven aan Nobian en EZK. Ze gaan over het gebrek aan een veilige, concrete, goed onderbouwde manier van afsluiten van de grote en hoge cavernes in Zuidwending en Heiligerlee.

1. Brief SodM (2018): Uitbreiding verscherpt toezicht:
  - a. *"Een groeiende bron van zorgen bij SodM is het gebrek aan abandonneringsbeleid bij AkzoNobel."*
  - b. *"Ik wil benadrukken dat het zo goed mogelijk opruimen van de restanten van mijnbouw een essentieel onderdeel is van een mijnbouwactiviteit."*
2. Brief SodM (2019)<sup>23</sup>: HL-N uit nabijgelegen winningsplan Heiligerlee:
  - a. *"Akzo Nobel heeft op grond van de gewijzigde omstandigheden en inzichten nog geen goede methode om de cavernes uiteindelijk veilig, zonder schade te veroorzaken, te verlaten."*
  - b. *"Ik adviseer u [...] uw instemming met het vigerende winningsplan aan te passen. Het doel van de aanpassing is de aanleg van de nieuwe caveerne HL-N op te schorten."*
3. Brief SodM (2021)<sup>24</sup>: Toegespitst verscherpt toezicht:
  - a. *"Dit verscherpt toezicht zal zich specifiek richten op de problemen van de grote cavernes in Heiligerlee en Zuidwending, alsmede [...]."*
4. Brief SodM (2022)<sup>25</sup>: Technische evaluatie en financiële middelen:
  - a. *"Tegelijkertijd constateer ik dat het risicomanagement inzake het veilig abandonneren van cavernesystemen, en de planning van de abandonnering en nazorg van cavernes nog niet op orde zijn."*
  - b. *"Nobian heeft nog niet geborgd dat zijn installaties veilig en verantwoord achtergelaten zullen worden. Tevens is nog niet*

---

<sup>22</sup> Brief SodM (16 april 2018) Verscherpt toezicht blijft van kracht. Kenmerk 18038777. Link: <https://www.sodm.nl/documenten/brieven/2018/04/brief-aan-akzonobel-over-verscherpt-toezicht/brief-aan-akzonobel-over-verscherpt-toezicht>

<sup>23</sup> SodM Brief (19 februari 2019) Advies wijziging winningsplan Heiligerlee HL-N. Kenmerk 19039675.

<sup>24</sup> SodM Brief (3 februari 2021) Evaluatie verscherpt toezicht 2020-2021 . Kenmerk 20307046.

<sup>25</sup> SodM Brief (27 januari 2022) Evaluatie verscherpt toezicht 2021-2022. Kenmerk 21308191.

*aannemelijk gemaakt dat daartoe afdoende financiële middelen beschikbaar zijn”.*

5. Brief SodM (2023)<sup>26</sup> Evaluatie verscherpt toezicht:
  - a. *“SodM continueert het verscherpt toezicht. Het verscherpt toezicht ziet mede toe op de grote cavernes in Heiligerlee en Zuidwending.”*

---

<sup>26</sup> SodM Brief (24 mei 2023) Evaluatie verscherpt toezicht 2022-2023. Kenmerk 26612078.

**Staatstoezicht op de Mijnen**

**Ons kenmerk**

ADV-8632/86808852

## **Bijlage 3: SodM Review van het CCC-onderzoek Zuidwending**

## **Review**


### **Abandonment of solution mining cavern field Zuidwending, The Netherlands**

**– an integrated, multiscale investigation –**

**Version: 240411 by Cavern Closure Consortium**

door

5.1.2.e



## Samenvatting

Het beoordeelde rapport is een verslag van het onderzoek naar de systemen en gevolgen van het afsluiten van de cavernes in Zuidwending. Dit onderzoek is een locatiespecifiek vervolgonderzoek, waarin de aanbevelingen van het KEM-17<sup>1</sup> worden geïmplementeerd. Het uitgevoerde onderzoek beslaat meerdere ordegroottes van microschaal in laboratoria tot in situ tests op caverneschaal, en analyses en simulaties die de hele zoutkoepel bevatten.

Het onderzoek is een grote verbetering ten opzichte van voorgaande locatiespecifieke onderzoeken die gedaan zijn. De integraties van de verschillende schalen is over het algemeen goed gelukt. Er zijn meerdere scenario's uitgewerkt met verschillende technieken en modellen.

Het micro-structurele werk en rheologie bepaling is uitgebreid, goed en navolgbaar beschreven. De onderliggende technologie van de gebruikte numerieke modellen zijn helaas maar beperkt beschreven. De uitkomsten zijn redelijk tot goed beschreven. Uit het rapport is niet op te maken of de verschillende uitkomsten in de numerieke modellen komen door verschillende ingevoerde parameters, of door de verschillen in numerieke codes. Een goede discussie hierover ontbreekt in het rapport.

Alle modellen voorspellen een hoge cavernedruk die boven de gesteentespanning is bij het dak van de caveerne. Het gevolg van die hoge druk is verschillend in de gepresenteerde modellen; bij sommige modellen permeeert de brijn naar de rand van de zoutstructuur, bij andere blijft het meer beperkt tot in de buurt van de caveerne.

Het onderzoek geeft echter maar zeer beperkt antwoord op de vraag welk lekmechanisme er te verwachten is bij afsluiting van de cavernes in de Zuidwending zoutstructuur (bijvoorbeeld zeer langzame permeatie, een gelokaliseerd lekpad of een scheur). Hiermee is een belangrijke vraag over de gevolgen van het afsluiten van de cavernes niet goed beantwoord.

---

<sup>1</sup><https://www.sodm.nl/documenten/rapporten/2020/02/11/onderzoek-langetermijnrisicos-afsluiten-zoutcavernes>

## Introductie

Staatstoezicht op de Mijnen (SodM) heeft een rapport ontvangen wat is opgesteld door het Caverne Closure Consortium (CCC). SodM heeft gevraagd om een review van dit rapport op de correctheid van de gebruikte methodes, de onderzochte scenario's en de getrokken conclusies. De review is uitgevoerd op het document 1) CCC\_2024\_ZW5.1\_Final\_Report\_ver.240411.pdf en de bijbehorende 8 bijlages.

De onderzoekers geven aan dat het rapport de resultaten beschrijft van een locatiespecifiek vervolgonderzoek naar het afsluiten van de cavernes in de Zuidwending zoustructuur. In dit onderzoek zijn de aanbevelingen van het KEM-17 geïmplementeerd.

Hieronder wordt uitgewerkt wat de aanbevelingen waren van het KEM-17 onderzoek, wordt een gedetailleerdere technische review gegeven van het onderzoeksrapport, en worden de vragen die gesteld waren door SodM beantwoord.

## Wat waren de resultaten en aanbevelingen van KEM-17?

KEM-17 was een onderzoek uitgevoerd onder het Kennisprogramma Effecten Mijnbouw<sup>2</sup> naar de risico's van cavernes op hoge druk afsluiten. Dit onderzoek werd gedaan door dezelfde partijen als die nu het Cavern Closure Consortium vormen. Een Nederlandse samenvatting van de onderzoeksresultaten is geplaatst op de SodM website.<sup>3</sup>

In het KEM-17 rapport worden meerdere deelconclusies en aanbevelingen gedaan. De twee overkoepelende hoofdconclusies waren:

1. Met de huidige kennis is het niet mogelijk om te zeggen of een diepe caverne gaat lekken via zeer langzame permeatie, een gelocaliseerd lekpad of een scheur.
2. Kennis van de micro-, caverne- en zoutstructuurschaal wordt nog niet genoeg geïntegreerd, terwijl processen op alle drie de schalen belangrijke invloed kunnen hebben op het lekmechanisme van een caverne.

De twee hoofdaanbevelingen die werden gedaan in KEM-17 waren:

1. Integreer de kennis van de verschillende schalen.
2. Verbeter de kennis op gebieden met onzekerheid. Dit is vooral hoe het micro-schaal materiaalgedrag van zout is vertegenwoordigd in de modellen op schaal van de caverne en de hele zoutstructuur.

Naast de technische beoordeling van het uitgevoerde werk in het huidige rapport wordt er ook gekeken in hoeverre het uitgevoerde werk past bij de hoofdconclusies en aanbevelingen van het KEM-17 onderzoek.

---

<sup>2</sup> <https://kemprogramma.nl/>

<sup>3</sup> <https://www.sodm.nl/binaries/staatstoezicht-op-de-mijnen/documenten/rapporten/2020/02/11/onderzoek-langetermijnrisicos-afsluiten-zoutcavernes/De+risico%27s+van+cavernes+op+hoge+druk+afsluiten+samenvatting.pdf>

# Technische evaluatie van het uitgevoerde onderzoek

## Initiële situatie

Op micro-schaal is er gekeken naar de microstructuren van zoutkernen (de zogezegde Ist-zustand). De selectie van de kernen en monsters is goed beschreven. De microstructuren zijn uitvoerig geanalyseerd en goed gedocumenteerd. De interpretatie van de waargenomen structuren is goed navolgbaar en state-of-the-art met duidelijke referenties naar gepubliceerd wetenschappelijk werk.

De initiële spanningstoestand in de zoutstructuur is gemodelleerd met het numerieke model van Smart Tectonics (LaMEM). Voor het berekenen van deze initiële spanningstoestand is gebruik gemaakt van de input van de geologische structuur, de rheologie en gekalibreerd versus externe data zoals ThermoGIS en spanningsdata van de PSNS database. Een technische beoordeling wordt gegeven bij het bespreken van het model in Model Set-up LaMEM.

## Rheologie

Het onderzoek heeft veel aandacht besteed aan het goed bepalen van de rheologie van de zouten in de Zuidwending zoutstructuur. Daarbij zijn zowel deformatietesten gedaan, als gebruik gemaakt van andere methodes om de kruipeigenschappen te bepalen. Deze manier van samenvoegen van verschillende bronnen is een goede verbetering ten opzichte van voorgaande locatiespecifieke beschrijvingen van de zourheologie.

Er zijn twee soorten deformatie-experimenten gedaan.

- 1) Deformatie-experimenten in het laboratorium bij verschillende afnemende axiale belastingen (op 100°C (duur ~130 dagen per test)). Deze experimenten zijn duidelijk gedocumenteerd en beschreven en lijken van goede kwaliteit. De resultaten van deze experimenten zijn gebruikt om de mechanische eigenschappen van het zout te beschrijven, vooral voor het “dislocation creep” deel van de deformatie.
- 2) Daarnaast zijn er kruiptesten uitgevoerd bij hele lage deviatorische spanningen (0,6 MPa). Aangezien de temperatuur bij dit soort experimenten maar heel weinig mag variëren zijn deze onderzoeken uitgevoerd in een mijn bij 8°C en hele constante luchtvochtigheid. Dit soort experimenten worden weinig uitgevoerd. De waarde van dit soort experimenten is echter heel groot voor het bepalen van de kruipparameters bij lage spanningsverschillen. Kruipparameters bij lage spanningsverschillen zijn van groot belang bij afsluitingsstudies zoals die hier voorligt omdat ze de “pressure solution creep” deel van de deformatie beschrijven. Daarom is het goed dat deze experimenten zijn uitgevoerd en dat de resultaten zijn meegenomen in het bepalen van de kruipparameters.

Een onderdeel van de rheologiebepaling is het onderzoeken van de microstructuur van het zout na deformatie. Deze is uitvoerig, goed en navolgbaar beschreven. Het rapport geeft aan dat er een vermoeden is dat de uiteindelijke structuur beïnvloed is door de verschillende spanningstappen waaraan de monsters zijn blootgesteld. Hierdoor zijn eenduidige conclusies niet goed te trekken. Er wordt door de wetenschappers dan ook aanbevolen om bij een volgende

serie experimenten minder verschillende spanningstappen. Deze aanbeveling kan ik volledig onderschrijven.

Om het kruipgedrag bij lage spanningsverschillen verder te bepalen is er gekeken naar de vervorming van de laag boven de zoutstructuur. Het gebruikmaken van andere bronnen voor de rheologie bepaling is een goede verbetering ten opzichte van voorgaande onderzoeken. Uit het gepresenteerde werk is echter niet goed op te maken wat de onzekerheden zijn in deze methode omdat er bepaalde aannames worden gedaan die niet volledig met data onderbouwd zijn. Zo lijkt de methode uit te gaan van een vlakliggende structuur boven het zout, het is maar de vraag of dat een goed uitgangspunt is (is er geen “downbuilding” geweest?). Daarnaast wordt er een compactiecoëfficiënt van 30% gegeven zonder dat er een onderbouwing voor gegeven wordt, anders dan een verwijzing naar Heiligerlee. Maar het rapport waar naar gerefereerd wordt is niet meegeleverd, en daarom kan deze aanname ook niet getoetst en beoordeeld worden.

Het gereviewde rapport maakt gebruik van een probabilistische bepaling van de zoutkruipparameters op basis van de resultaten van de deformatie-experimenten, van de beperkingen bepaald aan de hand van de opheffing van het zout op geologische tijdschaal, gecombineerd met oudere deformatie-experimenten gedaan op Zuidwending zoutmonsters. Helaas mist een deel van de data op korrelgroottes voor de oudere experimenten, deze zijn daarom aangevuld met aannames gebaseerd op de nieuwe analyses. Het rapport geeft een duidelijke lijst met beperkingen en mogelijke bias. Omdat het kruipmodel gebruikt in de probabilistische aanpak geen rekening houdt met onzuiverheden in het zout, voorspelt het een schijnbare korrelgrootte (“apparent grain size”) die kan afwijken van ware gemeten korrelgrootte. Dit wordt duidelijk beschreven in het rapport.

Aangezien het zout ook uit mega-korrels bestaat die niet zijn getest in de laboratoria is er een correctie aangebracht aan de schijnbare korrelgroottes zodat de verschillende zout-eenheden verschillend kruipgedrag hebben. De correctie is op basis van analyses gedaan die voor Heiligerlee zijn uitgevoerd, waarbij wordt aangegeven dat soortgelijke analyses eigenlijk ook voor Zuidwending gedaan zouden moeten worden om tot meer locatie-specifieke resultaten te komen. Ik onderschrijf deze aanbeveling, omdat met de beschrijving die nu gegeven is, het niet mogelijk is om een oordeel te vellen over deze methode en of de correctie voor mega-korrels passend is.

De keuze om de verschillende kruipeigenschappen van de verschillende zouteenheden aan te passen aan de hand van de schijnbare korrelgrootte is een verdedigbare keuze, maar in de tekst wordt niet uitgelegd waarom er niet een andere correctie wordt toegepast (b.v. activatie energie,  $Q$ ). Dit is echter wel van belang omdat de korrelgrootte kubisch wordt meegenomen ( $D^3$ ) in de kruipvergelijkingen en andere factoren zoals  $A$  en  $Q$  lineair.

Later in het rapport wordt de rheologie van het zout afgeleid aan de hand van in-situ testen in een boorgat en caverne. Dit volgt een methode waardoor een gemiddelde waarde van het zout rond de caverne wordt bepaald (uitgaande van horizontale zoutlagen). Omdat de in-situ testen geen unieke uitkomst bieden zijn de resultaten van de probabilistische analyse gebruikt om tot een set parameters te komen. Het is onduidelijk of het mogelijk zou zijn geweest om de resultaten van de in-situ testen te gebruiken als input voor de probabilistische analyses. Als dat mogelijk zou zijn, dan zou daarmee een consistente set gecreëerd kunnen worden, terwijl het nu

lijkt of er twee verschillende sets van materiaaleigenschappen zijn afgeleid voor dezelfde formaties. Hoogstwaarschijnlijk is dit het gevolg van de verschillende tijdstippen waarop de analyses zijn gedaan door de verschillende onderzoeksgroepen (Smart Tectonics en Brouard Consulting), maar het zou goed zijn geweest om de keuze of de gevolgen hiervan beter te beschrijven.

Ondanks de hierboven beschreven beperkingen en verbetermogelijkheden zijn de gebruikte methodes een goede vooruitgang ten opzichte van voorgaande studies voor het bepalen van de kruipparameters. De door de wetenschappers zelf aangegeven aanbevelingen voor verbeteringen of toekomstig werk zijn zeker de moeite waard om op te volgen.

## **Permeatie**

Om een beter begrip te krijgen van de permeatie van de brijn door het zout heen, zijn er permeatie-experimenten uitgevoerd. De experimenten zijn goed gedocumenteerd en lijken goed uitgevoerd. Uit de experimenten wordt geconcludeerd dat de permeatie plaatsvindt langs micro-scheuren op de korrelgrenzen en langs de randen van de mega haliet korrels or anhydriet banden.

De resultaten van de experimenten zijn in lijn met KEM-17 dat permeatie niet noodzakelijkerwijs homogeen is. Helaas geven de experimenten niet genoeg informatie om deze om te zetten naar regels over permeatie die in de numerieke modellen kunnen worden gebruikt. Het vergaren van meer kennis wat precies de permeatie controleert is noodzakelijk in de toekomst om één van de belangrijke vragen over het afsluiten van de cavernes te beantwoorden, namelijk of een diepe caveerne gaat lekken via zeer langzame permeatie, een gelokaliseerd lekpad of een (macroscopische) scheur.

## **Cavernegebruik & afsluiten**

Het cavernegebruik en afsluiting is gemodelleerd met drie verschillende modellen in twee verschillende numerieke codes. Op caverneschaal is gebruik gemaakt van de numerieke code van Brouard consulting (LOCAS) en voor de grote zoutstructuur schaal is er gebruik gemaakt van LaMEM van Smart Tectonics.

Hoewel het rapport meldt dat de twee softwareprogramma's met elkaar zijn vergeleken, is er van deze vergelijking of benchmark geen documentatie. Helaas is uit het rapport geen goede vergelijking te maken omdat voor de verschillende modellen (2D cavernegebruik, 3D cavernegebruik en 3D zoutstructuurschaal) er drie verschillende materiaaleigenschappen zijn gebruikt. Aangezien de modellen deels voor verschillende doelen zijn gebruikt is het niet vreemd dat de antwoorden niet volledig overeenkomen, maar met de informatie die nu beschikbaar is, is het niet mogelijk om te beoordelen of verschillen veroorzaakt worden door de verschillen in modellen of door de verschillen in inputparameters. Ook een bespreking van de mogelijke verschillen ontbreekt.

Hieronder worden eerst de technische aspecten van de gebruikte modellen beschreven, en daarna gekeken naar de resultaten van deze modellen.

## Model Set-up

### *LaMEM*

De LaMEM code is helaas niet uitvoerig beschreven, en de gegeven referentie voor uitleg over de code is ook beperkt. De code is bij eerdere KEM-projecten gebruikt (KEM-17 & KEM-28). In die projecten zijn er geen zorgen geuit over deze code.

Het rapport geeft aan dat de cavernes zijn geïmplementeerd met een plug-in. Wat er precies bedoeld wordt met de plug-in is onduidelijk. Zo kan er niet worden opgemaakt of de cavernes er als expliciete holtes zijn opgenomen in het model, of dat er een andere oplossing voor gevonden is. De afbeeldingen in het rapport laten niet toe om dit te analyseren.

De buitenkant van het 3D model is niet ver buiten de zoutstructuur gelegd, vooral aan de noordkant ligt de rand van het model dicht bij de rand van het model. Aangezien de cavernes in dit deel van de zoutstructuur liggen is het de vraag waarom het model hier niet ruimer om het zout is gelegd. Met deze beperkte rand bestaat het gevaar dat de spanningen in de sedimenten rond de zoutstructuur, en daarmee ook de spanningen in het zout, beïnvloed worden door de randvoorwaarden. Hoogstwaarschijnlijk heeft dit geen effect op het modelleren van de permeatie, maar het was beter geweest als de cavernes meer in het midden van het model hadden gelegen. Er kan geen oordeel geveld worden over de elementgrootte die gebruikt is, omdat er geen enkel figuur in het rapport is opgenomen waarop deze aangegeven is.

De initiële temperatuurverdeling is gekalibreerd versus thermoGIS. Deze kalibratie ziet er betrouwbaar uit. De initiële spanningen buiten de zoutstructuur zijn afgeleid uit de PSNS database. Om overeenkomst in de spanningen te bereiken zijn de materiaaleigenschappen dichtheid en Poisson's ratio van de sedimenten zo aangepast dat er een overeenkomst is tussen de PSNS waardes en de resultaten uit het model. De Poisson's ratio aanpassen aan de gemeten minimum horizontale spanning is alleen mogelijk als ervan uitgegaan wordt dat de er geen tektonische spanning aanwezig is in de huidige sedimenten. Het is de vraag of dat hier het juiste uitgangspunt is. Dit heeft overigens alleen echt effect in de spanningsverdeling in de sedimenten, en aangezien dat niet het belangrijkste doel is van deze modellen, is dit geen onoverkomelijke keuze.

Omdat de LaMEM modellen vooral gebouwd worden voor de langere termijneffecten, is er voor gekozen om de drukfluctuaties tijdens de opslagfase niet te modelleren, maar te vervangen door een gemiddelde druk (equivalente drukken) die zijn gekalibreerd op de volume afname van de cavernes in het LOCAS model. Dit is op zich een redelijke keuze omdat dan de tijdsstappen minder klein hoeven te zijn wat tot snellere berekeningstijden leidt. Hierbij moet wel worden aangetekend dat het vergelijken van spanningen tijdens het cavernegebruik met de micro-seismische data voorzichtig gedaan moeten worden, omdat er lokaal grotere spanningsveranderingen zullen zijn dan het model voorspelt.

De verschillende scenario's die zijn gemodelleerd verschillen in zowel de equivalente drukken die gebruikt zijn in de cavernes als de materiaaleigenschappen. Een onderbouwing waarom welke waardes zijn gekozen ontbreekt in de tekst. De gebruikte materiaaleigenschappen komen niet overeen met de eerder gekalibreerde eigenschappen, en zijn ook anders dan de materialen gebruikt in de 2D en 3D LOCAS modellen. Een onderbouwing voor deze verandering ontbreekt.

De permeatie is gemodelleerd met een effectieve spanning afhankelijke permeabiliteit. Men moet zich bewust zijn dat hier een soort van “weakening” effect kan ontstaan. Door een brijndruktoename in de buurt van de drempelwaarde wordt de permeabiliteit hoger, hierdoor neemt de druk snel toe waardoor de permeabiliteit nog verder toeneemt etc. Dit hoeft geen probleem te zijn, maar vraagt wel om een goede implementatie, en kan de elementgrootte afhankelijkheid wel verhogen. Het is in de tekst niet duidelijk hoe deze mogelijke effecten zijn geïmplementeerd en hoe ze de resultaten kunnen beïnvloeden.

### *LOCAS (2D & 3D)*

De technische beschrijving van de LOCAS numerieke code is relatief beperkt. Er wordt vooral verwezen naar andere (wetenschappelijke) onderzoeken die er mee gedaan zijn en de vergelijkingen die er in het verleden zijn gedaan met andere numerieke codes m.b.t. de cavernethermodynamica. Voorgaande studies die met LOCAS zijn gedaan waren vooral gefocust op cavernegebruik, daarin is er een goede track-record en de code lijkt betrouwbaar voor dat doel. Het is onduidelijk in de tekst of de geïmplementeerde effectieve spanningsafhankelijke permeabiliteit eerder is gebruikt, en of deze numerieke implementatie op robuustheid is getest.

Het rapport geeft een relatief uitgebreide beschrijving over alle stappen die er worden gezet bij het opzetten van de modellen, en welke parameters er nodig zijn voor het beschrijven van het materiaal gedrag. Hoewel dit geen complete wetenschappelijke beschrijving is, geeft het wel een goed idee over het model wat is een meerwaarde voor het rapport.

De 2D modellen gaan uit van een axisymmetrisch model, en zijn gemeshd met lineaire driehoekselementen. Er is geen informatie beschikbaar over de gebruikte elementgrootte. Er kan vanuit gegaan worden dat de elementen van klein aan de cavernewand, in grootte toenemen naar de randen van het model. Deze verandering van elementgrootte is van belang bij het beoordelen van de uiteindelijke contourfiguren.

Ook lijkt het er op dat de code de werkelijke vervormingen niet update (large strain formulation). In andere woorden: qua vorm blijft de code uitgaan van de beginsituatie. Dat is een goed uitgangspunt als de vervormingen relatief beperkt zijn, zoals dat is bij het modelleren van volumeverandering bij een gasopslag, maar een minder goed uitgangspunt is voor hele grote vervormingen. De reden voor het vermoeden dat er geen large strain formulation wordt gebruikt is dat er in figuur 114 een groter volumeverlies wordt berekend dan het initiële volume van de caveerne. Het is niet duidelijk of dit een effect heeft, of hoe groot het effect is op berekende deformaties en op het berekende spanningsveld.

De resultaten van het 2D model laten een vlekkelig patroon zien naast de caveerne. Aangezien alle materiaaleigenschappen homogeen zijn, en er ook geen heterogene spanningsvelden worden verwacht lijkt dit patroon numeriek van aard. De reviewers van KEM-28 lijken dit toe te schrijven aan het gebruik van de lineaire driehoekselementen. Lineaire driehoekselementen (met 3 nodes en 1 integratiepunt) staan bekend om dat ze numeriek te stijf kunnen zijn. Dit zou een mogelijk verklaring kunnen zijn. Een andere mogelijke verklaring is dat de ingebouwde permeatie regel een soort van weakening is. Dus bij een kleine toename van spanning of poriëndruk neemt de permeabiliteit (sterk) toe, wat tot hogere poriëndrukken leidt en daarom tot weer hogere drukken. Het kan heel lastig zijn om dit soort gedrag numeriek stabiel te krijgen omdat sommige processen hierdoor zeer lokaal optreden. Het feit dat het vlekkelige patroon

vooral optreedt bij de permeabiliteitscontouren lijkt er op te duiden dat de spanningsafhankelijke permeabiliteit zich lokaliseert. We zien dit gedrag ook deels terug bij de 3D LOCAS modellen, wat het vermoeden geeft dat de implementatie van de spanningsafhankelijke permeabiliteit dit effect veroorzaakt. Echter met de gegeven informatie in dit rapport is geen oordeel te vellen in hoeverre dit de resultaten beïnvloed.

Met de 2D modellen zijn er sensitiviteitstudies uitgevoerd op de brijn caverne ZW3 en de gascaverne A5. De belangrijkste parameters die zijn veranderd in de verschillende scenario's zijn de spanningsafhankelijke permeabiliteit, de materiaaleigenschappen en de wachttijd tussen de laatste winning en het afsluiten.

De materiaaleigenschappen zijn gelabeld met "verwachte eigenschappen" en "conservatieve eigenschappen", maar er is maar een beperkte bandbreedte tussen deze beide eigenschappen. Aangezien de schijnbare korrelgrootte is geschat met een vergelijking die is gebaseerd op numerieke experimenten voor Heiligerlee, waardoor er een zekere extra onzekerheid is, zou het beter geweest zijn om een ruimere marge aan te nemen om het echt "conservatief" te kunnen noemen. De gebruikte materiaaleigenschappen in de 2D modellen liggen dicht bij de gekalibreerde materiaaleigenschappen die zijn bepaald met de probabilistische aanpak en de opschaling naar schijnbare korrelgrootte.

Voor de 3D modellen is er gekozen voor andere materiaaleigenschappen dan de 2D modellen. De gekozen eigenschappen gaan uit van veel grotere schijnbare korrelgrootte, en daarmee een langzamere pressure solution creep rate. Waarom hier voor andere materiaaleigenschappen is gekozen is niet onderbouwd in de tekst.

In het 3D LOCAS modellen liggen de cavernes mooi in het midden van het model. Puur vanuit het oogpunt van beïnvloeding van de resultaten door de randvoorwaarden zou het beter zijn geweest als de onderkant van het model dieper had gelegen. Nu lijkt de onderkant binnen 500m van de caverne te liggen, wat redelijk dichtbij is in vergelijking met de grootte van de caverne. Echter is de keuze hoogstwaarschijnlijk ingegeven door de verplichting om de hoeveelheid elementen te beperken om te voorkomen dat de rekentijden veel te lang zouden worden.

Om de grootte van het model te beperken zijn de brijn cavernes en de gasopslagcavernes allebei in eigen model gemodelleerd. Hierdoor is het gecombineerde effect van beide niet bekend.

Het 3D model is gemeshd met 10-node tetraëder elementen. Deze 10-node elementen hebben geen last van het te stijve gedrag wat de lineaire elementen uit het 2D model wel kunnen hebben. De elementgrootte in het 3D model zijn zoals te verwachten groter gekozen dan in de 2D modellen om de rekentijden enigermate reëel te houden. Het is niet duidelijk hoe groot de elementen aan de cavernewand zijn. Uit figuur 117 blijkt dat elementen aan de buitenkant van het model rond de 100m groot zijn. Het groter maken van je elementen naar de rand van het model is een gebruikelijke methode om op de hoeveelheid elementen te sparen. Hierbij moet wel rekening gehouden worden dat de elementen in het gebied van interesse wel klein genoeg blijven om het materiaalgedrag en vervormingen goed te blijven beschrijven. In het hier gebruikte model lijkt de elementgrootte aan de caverne klein genoeg. Echter lijken de poriëndrukcontouren erg beïnvloed door de toenemende elementgrootte naar de bovenkant toe. Uitspraken over hoe dicht de permeatie aan de rand van het zout zit bevat hierdoor een zekere mate van onzekerheid.

## Resultaten numeriek modeleren

### LaMEM

De resultaten van de LaMEM 3D modellen zijn weergegeven in zowel x-y grafieken als in dwarsdoorsnedes van het model. De dwarsdoorsnedes zijn af en toe moeilijk af te lezen, vooral omdat de cavernes er in een 3D vorm op zijn geprojecteerd, waardoor het gebied in de buurt van de cavernes niet goed zichtbaar is.

Door het ontbreken van een onderbouwing waarom welke inputwaarden zijn gekozen in de verschillende scenario's is het lastig om de uiteindelijke resultaten te interpreteren. De tekst zelf bespreekt en interpreteert ook nauwelijks tussen de verschillende scenario's en wat de uitkomsten betekenen voor de vraagstelling van het rapport.

In figuur 172 wordt een dwarsdoorsnede getoond die zou aantonen dat er geen permeatie in de buurt van de cavernes optreedt omdat het verschil tussen de poriëndruk en de minimale spanning te groot is. Echter laat de x-y grafiek in figuur 167 zien dat de cavernedrukken (0,24-0,33 bar/m) veel hoger zijn dan de minimale spanning rond de cavernes (een dunne rand met max 0,25 bar/m in figuur 173). De dunne rand in figuur 173 lijkt zelfs veroorzaakt te worden door de hoge druk in de cavernes. Door een hoge radiale druk op de cavernewand zal langzaam de spanningen in de zout zich hieraan aanpassen. Het is onduidelijk waarom de hoge cavernedrukken, ruim boven de minimale spanning, niet tot permeatie leidt. Dit wordt niet besproken in de tekst en is op zich niet verklaarbaar.

Grootschalige bewegingen wordt gezien als de sterkte van het LaMEM model. Hierbij is gekeken naar de verschillen in bodembeweging voor de verschillende scenario's. In sommige van deze modellen is er een bodemstijging gemodelleerd tijdens de gasopslag fase in 2030 (b.v. model B & F in figuur 178). Deze stijging is echter nooit waargenomen boven de huidige gasopslagcavernes. In de afsluitende conclusies wordt gesproken over bodemdaling tijdens de gasopslagfase, maar dat lijkt dus niet voor alle scenario's het geval. De vraag is dan ook of deze stijging bij de meeste scenario's voor komt, en of deze realistisch is of niet. Een vergelijk (en eventuele kalibratie) met de huidig waargenomen bodembeweging zou wenselijk zijn.

De bodemstijging wordt in het model toegeschreven aan brijnexpansie door opwarming, en door de "bouancy" (de opwaartse kracht als een object zich in een zwaardere vloeistof bevindt) van de met gas of brijn gevulde cavernes in het zout. Om te begrijpen wat het effect van de brijnexpansie is, is een betere beschrijving van de implementatie van de cavernes nodig. Tevens blijkt, zoals hierboven besproken, dat de cavernedruk onrealistisch hoog wordt. Bij deze hoge drukken verwacht je meer permeatie, en daardoor meer cavernevolumeverlies met bijbehorende bodemdaling. Of dit een significant verschil op zou leveren is niet te beoordelen op basis van dit rapport.

Op zich is de berekende opwaartse beweging van cavernes door bouancy niet vreemd, een lichter lichaam in een zwaardere vloeistof wil namelijk omhoog. De uitdagingen in een model op zoutstructuurschaal liggen in het feit dat de vloeistofeigenschappen (=zout) niet constant zijn vanwege de geothermische gradiënt, er vormverandering kan optreden van de cavernes (zoals een luchtbel in water ook naar een ronde vorm wil gaan), en er een niet viskeuze elastische laag bovenop het zout ligt die verticale bewegingen tegenhoudt. Om het totale effect van de bouancy

goed te kunnen beoordelen zou dus ook gekeken moeten worden naar vormverandering van de cavernes. Blijft die vorm constant in het model, of vindt er wel significante vormveranderingen plaats (b.v. bodem omhoog of wanden naar buiten, waardoor cavernes minder uitgerekt worden maar meer richting bolvorm gaan). Ook hier is geen oordeel te vellen over de kwaliteit van de resultaten door gebrek aan informatie over de implementatie van de cavernes.

## LOCAS

### *2D modellen*

De resultaten van het 2D model zijn voornamelijk gegeven in x-y grafieken en een paar contourplots. Deze plots zijn duidelijk en goed af te lezen. Voor de keuze van de contourplots voor ZW-3 zou het goed geweest zijn om kleinere tijdsstappen te laten zien direct na het afsluiten (b.v. in figuur 102). Nu is het onduidelijk hoe snel het permeatiefront zich beweegt. Het is alleen duidelijk dat het binnen 10 jaar het Mioceen raakt, maar niet of dat al na 2 of pas na 9 jaar (of ertussenin) gebeurt.

De meeste modellen voor ZW-3 laten een uplift zien, ook tijdens de zoutwinningsfase. Dit is een onverwacht resultaat aangezien er ook grote afname in cavernevolumen wordt voorspeld. Met een grote afname in cavernevolumen ligt bodemdaling meer voor de hand dan bodemstijging. Bodemdalingmetingen laten ook vooral bodemdaling zien boven de Zuidwending zoutstructuur. In de tekst wordt er een aanzet gegeven welke parameters dit gedrag beïnvloeden, maar geen duidelijke conclusie getrokken waarom de modellen een gedrag laten zien wat eigenlijk niet wordt waargenomen.

De bodemstijging die bij de zoutwinningscaverne ZW-3 wordt berekend, wordt ook bij de meeste scenario's van de gasopslagcaverne A-5 berekend. Ook hier ontbreekt een discussie waarom dit het geval zou zijn, als bij de huidige gasopslagcavernes ook geen bodemstijging gezien wordt. De discrepantie tussen de in werkelijkheid waargenomen bodemdaling en de berekende bodemstijging zorgt voor twijfel over de correctheid van de berekende bodembeweging en dient nadere aandacht.

In zowel de ZW-3 modellen als de A-5 modellen loopt de druk in de caverne snel op na het insluiten, met permeatie tot gevolg. Bij de ZW-3 modellen vindt dit snel plaats en is het permeatie front binnen 10 jaar bij de bovenliggende sedimenten. Door de grotere diepte en kleinere caverne duurt het bij A-5 langer, maar ook daar komt het permeatiefront bij de bovenliggende sedimenten in de gemodelleerde tijdspanne.

In de meeste scenario's voor ZW-3 wordt een maximale druk bereikt die duidelijk boven de verwachte minimale gesteentespanning rond de caverne ligt. Dat heeft tot gevolg dat het permeatiecriterium wordt overschreden, en de permeabiliteit toeneemt. Desondanks worden er overdrukken rond ~30 bar berekend. De vraag die daarbij opkomt is of deze overdruk tot macroscopische scheuren zou kunnen leiden omdat in de literatuur rekspanningsterkte van zout worden gerapporteerd die lager is dan 30 bar. Macroscopische scheuren zouden voor een minder homogeen patroon van brijnverlies zorgen. Echter de modellen bevatten niet de natuurkunde om macroscopische scheurvorming te berekenen.

Voor A-5 zijn de berekende overdrukken lager, en daarmee het risico op macroscopische scheuren kleiner. Echter moet er altijd rekening gehouden worden dat de sterkte van het zout beïnvloed kan zijn door heterogeniteiten of door de aanwezige permeatie.

Er zijn ook modellen gedraaid waarbij de caverne half gevuld wordt met vulmateriaal om te kijken of dat de effecten van het afsluiten beperkt. Deze modellen zijn gedraaid met andere materiaalparameters dan de overige 2D en 3D modellen. De analyse laat zien dat vullen met een viscoos materiaal de effecten maar gedeeltelijk beperkt. Het zou een interessante optie zijn om de numerieke modellen te gebruiken om te onderzoeken welke materiaaleigenschappen het vulmateriaal moet hebben om de effecten van afsluiten te beperken.

### *3D modellen*

De 3D modellen laten een soortgelijk gedrag zien als de 2D modellen. De resultaten zijn echter niet met elkaar te vergelijken omdat er in de 3D modellen andere materiaalparameters zijn gebruikt. Ook in de 3D modellen treedt er overdruk op, met permeatie tot gevolg. Dat de x-y figuren van de caverndruk een andere vorm hebben dan de 2D modellen kan dus liggen aan het verschil tussen 2D en 3D, maar ook aan de andere materiaaleigenschappen.

Een vergelijk tussen de 2D en 3D resultaten van de berekende drukken voor de caverne ZW-3 en A-5 laten zien dat het 3D model veel hogere drukken berekent. De drukken die in 3D worden berekend zijn veel hoger dan de verwachte minimale in-situ spanningen. Zoals hierboven al besproken zijn macroscopische scheuren dan niet meer uit te sluiten. Maar om daar een uitspraak over te kunnen doen zijn er andere modellen nodig, en is er ook meer kennis nodig over de treksterkte van het zout.

De horizontale doorsnedes door het 3D model laten zien dat de poriëndrukverandering rond de cavernes A1, A5, A9 en A11 significant is (170-180 bar in figuur 143). De zone met deze drukverhoging komt redelijk in de buurt van de rand van de zoutstructuur, zoals ook in het rapport wordt opgemerkt. Bij een risicobepaling of en wanneer de overdrukzone de rand van de zoutstructuur bereikt, is het van belang om de onzekerheid in de locatie van de rand van de zoutstructuur mee te nemen. Hierbij moet wel worden aangetekend dat het gebied in de contourfiguren er mogelijk groter uitziet omdat de gradiënt wordt berekend op relatief grotere elementen omdat ze verder weg liggen van de cavernes. Mochten er echt zorgen bestaan over deze afstand dan is het aan te raden om een model te gebruiken die kleine elementen in deze richting heeft.

De 3D modellen berekenen ook de verwachte bodembeweging die voor zowel de zoutwinningscavernes als de opslagcavernes rond de 18cm wordt berekend. Uit de tekst wordt niet 100% duidelijk of dit bodemstijging of bodemdaling is.

Voor enkele gasopslagcavernes zijn de berekende volumeafnames vergeleken met sonarmetingen. Deze vergelijking laat zien dat voor de meeste cavernes er een goede tot aardige overeenkomst is. Deze vergelijking heeft duidelijk meerwaarde omdat het laat zien dat voor de meeste cavernes de gebruikte parameters consistent zijn met waarnemingen. Het is aan te raden eenzelfde soort vergelijking te doen met de bodemdalingsmetingen die beschikbaar zijn op NLOG.

## Vragen van Staatstoezicht op de Mijnen

Voor deze review heeft Staatstoezicht op de Mijnen enkele vragen gesteld. Deze vragen worden hieronder beschreven, en daarna 1 voor 1 beantwoord.

### Technische beoordeling modellen

- Zijn de beschreven technologieën state-of-the-art?
- Zijn de randvoorwaarden en inputparameters voor deze modellen realistisch en voldoende beschreven?
- Is de gebruikte data compleet en kwalitatief goed genoeg om de gekozen input te onderbouwen?
- Is het beschreven onderzoek en de uitkomsten wetenschappelijk goed beschreven en de getrokken conclusies goed navolgbaar? Hierbij wordt gekeken naar: Zijn de gebruikte modellen geschikt om de vragen te beantwoorden?
- Zijn eventuele analogen bij gebrek aan lokale gegevens relevant, geschikt, en voldoende onderbouwd?
- Zijn de onzekerheden goed beschreven en meegenomen in de analyses?
- Zitten er duidelijke technische fouten of omissies in het rapport?

### Scenario's

- Zijn de beschreven scenario's voldoende uitgewerkt, compleet, voldoende beschreven en wetenschappelijk te verantwoorden?
- Zijn de keuzes voor de meest waarschijnlijke uitkomsten en het uitsluiten van bepaalde scenario's correct onderbouwd en navolgbaar?
- Wat is het eindoordeel met respect tot de gekozen scenario's? Zijn deze representatief en bruikbaar voor besluitvorming?

### Totaal oordeel

- Zijn eventuele mitigerende maatregelen passend, juist beschreven en voldoende onderbouwd?
- Is de onderzoeksvraag beantwoord, of is meer onderzoek nodig?

## **Technische beoordeling modellen**

*Zijn de beschreven technologieën state-of-the-art?*

De beschreven en gebruikte technologieën zijn state-of-art.

*Zijn de randvoorwaarden en inputparameters voor deze modellen realistisch en voldoende beschreven?*

De inputparameters voor alle modellen zijn goed beschreven. De meeste parameters zijn realistisch en gekalibreerd tegen waarnemingen of gepubliceerde data. Echter is er een kanttekening te maken bij de materiaaleigenschappen die per model veranderen zonder goede onderbouwing.

*Is de gebruikte data compleet en kwalitatief goed genoeg om de gekozen input te onderbouwen?*

De gebruikte data is beter dan voorgaande projecten en daarmee een goede vooruitgang. Natuurlijk is ondergronddata altijd beperkt in tijd en plaats, maar dat is dit onderzoek niet aan te rekenen. Over het grote geheel is de data compleet en van goede kwaliteit. In het rapport worden er tevens suggesties gedaan voor eventuele vervolgonderzoeken. Een gemiste kans is dat de bodembeweging vergeleken zou kunnen worden met de beschikbare metingen.

*Is het beschreven onderzoek en de uitkomsten wetenschappelijk goed beschreven en de getrokken conclusies goed navolgbaar?*

De analyses van de microstructuren zijn goed uitgevoerd en nauwkeurig beschreven en onderbouwd met voldoende verwijzingen naar de literatuur. De bepaling van de materiaaleigenschappen met de probabilistische methode is een grote stap voorwaarts ten opzichte van voorgaande onderzoeken en is goed gedocumenteerd. Alleen de aanpassing van de schijnbare korrelgrootte is in dit onderzoek gedaan met een vergelijking die zich baseert op onderzoek voor de Heiligerlee zoutstructuur, maar is nauwelijks beschreven en kan daarmee niet beoordeeld worden. De numerieke upscaling die voor Heiligerlee gedaan is, zou ook voor dit onderzoek moeten gebeuren.

De permeatietesten zijn op zich goed uitgevoerd en geanalyseerd. Maar door de beperkte hoeveelheid testen is het niet mogelijk om wetenschappelijk verantwoord hier conclusies uit te trekken of zelfs permeatieregels voor de numerieke modellen uit af te leiden.

Het gebruik van de put- en caverne-uitvloeddata om de materiaaleigenschappen te bepalen is een mooie methode om de materiaaleigenschappen op caverneschaal te schatten. De methode is voldoende beschreven en lijkt wetenschappelijk op orde. Wetenschappelijk gezien zou het nog beter zijn als deze kalibratie meegenomen was bij het afleiden van de materiaaleigenschappen met de probabilistische methode zodat er één consistente set data was ontstaan.

De techniek van de 2D & 3D LOCAS modellen zijn niet volledig beschreven. Aangezien LOCAS bij meerdere (gepubliceerde) onderzoeken gebruikt is lijkt de techniek te voldoen bij het modeleren van cavernegebruik. Echter is het onduidelijk of de ingebouwde spanningsafhankelijke permeabiliteit eerder is gebruikt, en of deze implementatie robuust is. De vlekkerig resultaten geven zorgen over deze implementatie en verdienen verdere aandacht. Zoals hiervoor beschreven zijn er ook enkele kanttekeningen te maken bij cavernevormingen die groter zijn dan de originele inhoud, de elementgrootte in de 3D modellen en onverwachte bodemstijging.

De 3D LaMEM modeltechniek is maar beperkt beschreven. Het blijft vooral onduidelijk hoe de cavernes zijn geïmplementeerd in het model. Het model kan op basis van de gegeven beschrijving niet wetenschappelijk worden beoordeeld. De initiatie van de modellen lijkt zorgvuldig uitgevoerd. De resultaten lijken echter niet consistent omdat er ondanks zeer hoge cavernedrukken er geen permeatie wordt berekend. Het is onduidelijk of dit een modelprobleem is, of dat de gekozen manier van de resultaten presenteren tot een verkeerde conclusie heeft geleid. Omdat de resultaten niet worden bediscussieerd en er geen echte conclusies worden getrokken is dit niet verder te beoordelen.

*Zijn eventuele analogen bij gebrek aan lokale gegevens relevant, geschikt, en voldoende onderbouwd?*

Bij gebrek aan transient creep parameters zijn er parameters gekozen die gebaseerd zijn op experimenten op zoutkernen uit de Verenigde Staten. Aangezien transient creep maar een beperkt effect heeft op modellen die lange tijdschalen modelleren is dit minder van belang.

Voor het bepalen van schijnbare korrelgroottes zijn er modelresultaten uit een Heiligerlee studie aangehaald. Deze studie was echter niet beschikbaar voor deze review. Daarom is niet te beoordelen of het gebruik van deze data correct is. Maar aangezien de Heiligerlee zoutstructuur redelijk dicht bij de Zuidwending zoutstructuur ligt het in de lijn der verwachting dat het gebruik van Heiligerlee kennis een verdedigbare keuze is.

*Zijn de onzekerheden goed beschreven en meegenomen in de analyses?*

De onzekerheden zijn in het deel over de microstructuren en rheologie goed beschreven. Hierbij dient opgemerkt te worden dat de pressure solution creep-onzekerheid wordt uitgedrukt met behulp van de schijnbare korrelgrootte. Hierbij ontbreekt helaas de uitleg waarom dit de beste methode is. Het effect van de korrelgrootte gaat met de macht 3, terwijl het over een andere prefactor zoals A of Q het lineair zou zijn. In het rapport zelf wordt in paragraaf 3.2.2.3 aangegeven dat er veel parameters zijn die dit beïnvloeden.

Permeatie is homogeen in de modellen, maar heterogeen in de geteste kernen. De onzekerheid in permeatiegedrag is dus niet meegenomen in de modellen. Dit is een verdedigbare keuze omdat heterogeen gedrag moeilijk te implementeren is. Echter was een uitleg over het mogelijke effect van de heterogeniteit van meerwaarde geweest in de interpretatie van de resultaten.

Hoe de onzekerheden in materiaaleigenschappen effect hebben op de resultaten wordt niet uitgelegd, terwijl deze wel veranderen van model tot model. Er zit hoogstwaarschijnlijk een logica in de veranderingen, maar die zijn helaas niet benoemd.

De structurele onzekerheid in de zoutstructuur is niet meegenomen in de interpretatie van de modellen. Dit is vooral van belang bij het bepalen van het permeatiefront ten opzichte van de flanken.

*Zitten er duidelijke technische fouten of omissies in het rapport?*

De modellen kunnen geen macroscopische scheuren modeleren. Het ontbreken van deze mogelijkheid heeft tot gevolg dat het wegstromen van de brijn uit de cavernes (met het daarbij behorende drukverlies) alleen over permeatie kan plaatsvinden. Daarom is het met de huidige modellen niet mogelijk om te zeggen of een diepe caverne gaat lekken via zeer langzame permeatie, een gelokaliseerd lekpad of een scheur. Er worden ook geen andere methodes behandeld om deze vraag te beantwoorden.

Het LaMEM model lijkt inconsistentie te hebben omdat een cavernedruk ver boven het permeatiecriterium niet tot permeatie lijkt te leiden. Echter is de technische implementatie te mager beschreven om zeker te weten of dit een technische onvolkomenheid is of niet.

Er lijkt een schaal te missen tussen microstructuur en caverneschaal. Een (numerieke) opschaling tussen de microstructuur en caverneschaal zou de onzekerheid over de materiaal

parameters kunnen verkleinen. Dat wordt ook erkend in het rapport en er lijken al stappen te zijn gezet in een rapport over Heiligerlee.

Een interessante omissie is dat de primaire onderzoeksvraag eigenlijk niet heel duidelijk is gesteld in het rapport. Daarmee is ook niet echt te beoordelen of deze beantwoord is. Daarom wordt er in de tekst van deze review regelmatig gerefereerd aan KEM-17 en de aanbevelingen daarin.

## **Scenario's**

*Zijn de beschreven scenario's voldoende uitgewerkt, compleet, voldoende beschreven en wetenschappelijk te verantwoorden?*

In de 2D LOCAS modellen zijn er verschillende afsluitscenario's gebruikt voor ZW-3 en A-5. Deze zijn duidelijk uitgewerkt en beschreven. Bij enkele scenario's in de modelberekeningen wordt geclaimd dat ze conservatief zijn, maar waarom die claim gemaakt kan worden, wordt vaak niet uitgelegd noch beschreven. Een serie simpele modellen die onderzoeken wat de belangrijkste parameters zijn en visualiseren (b.v. met tornado plots), hadden hierbij kunnen helpen.

In 3D LOCAS modellen wordt er met één dezelfde drukgeschiedenis gewerkt. De vraag is of een ander scenario een ander effect heeft (vooral in de volgorde van afsluiten).

De 3D LaMEM modellen worden gemodelleerd met meerdere scenario's. Hoewel er een tabel wordt gegeven is niet precies duidelijk wat de veranderingen van scenario tot scenario zijn. Daarom is er ook geen oordeel te vellen of de gekozen scenario's de beste scenario's zijn. Tevens zijn niet van alle scenario's resultaten gegeven.

Eén van de grote veranderingen tussen de verschillende modellen is het veranderen van de materiaaleigenschappen. Er ontbreekt echter uitleg hierover. Het is onduidelijk waarom er veranderd wordt en hoe de gebruikte materiaalparameters geïnterpreteerd moeten worden (meest waarschijnlijk, conservatief of iets anders?). Het ontbreken van een uitleg is niet acceptabel omdat de veranderingen een groot effect hebben op de resultaten.

Er ontbreekt reflectie op de resultaten van de verschillende scenario's en modellen. Nu is onduidelijk waarom er verschillen zijn in de uitkomsten. Zo is onduidelijk of de verschillen zijn veroorzaakt door andere inputparameters of ook door een andere modelvorm. Door het ontbreken van een goede discussie over de verschillende scenario's is het moeilijk te beoordelen of de gebruikte scenario's compleet zijn.

*Zijn de keuzes voor de meest waarschijnlijke uitkomsten en het uitsluiten van bepaalde scenario's correct onderbouwd en navolgbaar?*

Deze vraag kan niet beantwoord worden omdat de reflectie hierover ontbreekt in de tekst. Het bepalen van de kans op het optreden van een bepaald scenario en de daarbij behorende effecten is daarom niet mogelijk.

*Wat is het eindoordeel met respect tot de gekozen scenario's? Zijn deze representatief en bruikbaar voor besluitvorming?*

Door het ontbreken van de reflectie is deze vraag eigenlijk niet goed te beantwoorden. Alle scenario's laten na het afsluiten een cavernedruk zien die hoger wordt dan de geschatte in-situ minimum spanning. De verschillen in hoeveelheid permeatie die daarop volgt lijkt vooral

ingegeven door de verschillen in materiaaleigenschappen, maar kan ook (deels) veroorzaakt worden door een andere modelleringstechniek. De breedte van modelresultaten geeft wel een idee van de mogelijke effecten van het hard afsluiten van de cavernes, wat gebruikt kan worden bij besluitvorming.

Aangezien het scenario van mogelijke macroscopische scheurvorming ontbreekt is besluitvorming over het scheurvormingsrisico op basis van dit rapport niet echt mogelijk.

## **Totaal oordeel**

### *Zijn eventuele mitigerende maatregelen passend, juist beschreven en voldoende onderbouwd?*

Er wordt alleen een eerste aanzet gegeven voor het modeleren van het vullen van cavernes, waarbij de eigenschappen van het vulmateriaal erg simpel is gekozen. Ook is het niet het juiste om als materiaal te functioneren voor het verlagen van de cavernedruk. Daar zou een niet-viskeus materiaal hoogstwaarschijnlijk geschikter voor zijn, maar dat moet eerst verder onderzocht worden voordat daar uitspraken over gedaan kunnen worden.

Voor alle andere scenario's zijn alleen de resultaten met betrekking tot de bodembeweging, poriëndrukverdeling en eventuele cavernestabiliteit gegeven. De effecten van deze resultaten op de omgeving van de cavernes zijn geen onderdeel van het onderzoek. Daarom zijn de mitigerende maatregelen om de effecten eventueel te minderen ook geen onderdeel van het rapport.

### *Is de onderzoeksvraag beantwoord, of is meer onderzoek nodig?*

De onderzoeksvraag is niet echt gedefinieerd in het rapport, en daarom kan er ook niet gesteld worden dat de onderzoeksvraag beantwoord is. Wat wel gesteld kan worden is dat dit onderzoek een goed locatiespecifiek vervolgonderzoek is waarin een groot deel van de aanbevelingen van het KEM-17 zijn geïmplementeerd.

Het onderzoek is een grote verbeteringen ten opzichte van voorgaande locatiespecifieke onderzoeken. De integraties van de verschillende schalen is over het algemeen goed gelukt. Er zijn meerdere scenario's uitgewerkt met verschillende technieken en modellen.

Echter door het ontbreken van onderzoek naar de mogelijkheid van macroscopische scheurvorming geeft het rapport maar zeer beperkt antwoord op de vraag welk lekmechanisme er te verwachten is bij afsluiting van de cavernes in de Zuidwending zoutstructuur (zeer langzame permeatie, een gelokaliseerd lekpad of een scheur). Hiermee is een belangrijke vraag voor de gevolgen van het afsluiten van de cavernes niet goed beantwoord.

Er is door de onderzoekers op meerdere plekken advies gegeven om zaken verder uit te zoeken of modellen uit te breiden. Deze zijn allemaal correct benoemd en verdienen ook aandacht in de toekomst.