Docnr3

Staatstoezicht op de Mijnen
Ministerie van Klimaat en Groene Groei

> Retouradres Postbus 24037 2490 AA Den Haag

De minister van Klimaat en Groene Groei
Ministerie van Klimaat en Groene Groei
t.a.v. 5.1.2.e
e-mail: 5.1.2.e @minezk.nl

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

5.1.2.e

T 5.1.2.e

Ons kenmerk
97617062 / ADV-8972

Uw kenmerk
Uw e-mails van 11 en 12 februari 2025

Bijlage(n)
Technische bijlage

Datum 14-3-2025
Betreft Technische bijlage, behorend bij de reflectie SodM op aanvullende documenten betreffende het winningsplan Zuidwending (d.d. 5 maart 2025, kenmerk: 97150975 / ADV-8972)

Bijlage bij reflectie (van 5 maart 2025): Technische onderbouwing

Deze bijlage is een integraal onderdeel van de reflectie met kenmerk 97150975 / ADV-8972, die op 5 maart 2025 naar KGG is verstuurd. De reflectie en bijlage moeten in samenhang gelezen worden.

Deze bijlage bevat de technische onderbouwing van de reflectie van SodM op zes documenten die ingediend zijn door Nobian betreffende het geactualiseerde winningsplan Zuidwending. Deze documenten zijn op 11 en 12 februari 2025 door KGG gedeeld met SodM, als onderdeel van de actualisatie winningsplan Zuidwending van Nobian, met de vraag om op deze documenten te reflecteren. Op 5 maart heeft SodM deze reflectie gedeeld, maar de technische onderbouwing daarvan was op dat moment nog niet klaar. In deze bijlage vindt u deze onderbouwing.

SodM wijst u er nogmaals op dat u ons gevraagd heeft om het bestuderen van meerdere, complexe stukken in een kort tijdsbestek. SodM heeft daarom voor nu gefocust op uw kernvraag: leiden de aanvullende documenten tot aanpassing van het advies? Het is mogelijk dat hierbij een aantal thema's onderbelicht zijn gebleven. Verder is het zo dat u in deze bijlage meer aandachtspunten en aanbevelingen leest dan in de conclusie van de reflectie van 5 maart staan. Het belangrijkste voorbeeld hiervan heeft betrekking tot de vorming van horizontale scheuren tussen verschillende cavernes, in onderdeel *"3.Scheurinitiatie en scheurgroei"* van sectie *"Modeltechnische keuzes en aannames"*.

Ingediende documenten

1. **Kansstudie:** Abandonment of solution mining cavern field Zuidwending, The Netherlands. Statement on Hydraulic Fracturing Risk – an integrated, multiscale investigation – Cavern Closure Consortium (d.d. 6 februari 2025)

2. **Appendix:** Abandonment of solution mining cavern field Zuidwending, The Netherlands. Statement on Hydraulic Fracturing Risk. Smart Tectonics.

3. **Review:** A Brief Review of the report entitled Abandonment of solution mining cavern field Zuidwending, The Netherlands Statement on hydraulic fracturing risk by the Cavern Closure Consortium (CCC), V2. 5.1.2.e 5.1.2.e (d.d. 12 februari 2025)

4. **Effectstudie:** Impact doordringen pekel Zuidwending. Rapportnummer: 123-RHD-XX-XX-ME-X-0003. Royal HaskoningDHV (d.d. 10 februari 2025)

5. **Risico-inschatting:** Template risicosturing verlenging winningsveld Zuidwending, hydraulic fracturing (V1.1). Vreugdenhil Milieuexpert (d.d. 10 februari 2025)

6. **Risico-inschatting:** Template risicosturing verlenging winningsveld Zuidwending, hydraulic fracturing (V1.1A, 8600 m^3). Vreugdenhil Milieuexpert (d.d. 10 februari 2025).

Documenten 1-3 bevatten een kansstudie (plus appendix) van het CCC en een review hierop. Naar de kansstudie (inclusief appendix) wordt gerefereerd als het "CCC-statement". Naar de review, uitgevoerd door 5.1.2.e, wordt gerefereerd als de "CCC-review(er)". Verder wordt het advies van SodM van 10 december 2024 (kenmerk ADV-8632) gerefereerd als "het advies". Het originele CCC-onderzoek van 11 april 2024, zoals onderdeel van de beoordeling in het advies, wordt in deze discussie het "CCC-onderzoek" genoemd.

Documenten 1-3: CCC-Statement on Hydraulic Fracturing Risk en Review of CCC-Statement

Het CCC-statement beschrijft (A) de kans op zinkgatvorming, (B) de kans op en omvang van hydraulische scheurvorming en (C) het veranderen van het risico tussen de huidige situatie, en het doorlaten groeien van de cavernes van de huidige grootte naar de aangevraagde situatie in 2040.

A. De kans op zinkgatvorming

Het CCC-statement geeft aan dat de kans op zinkgatvorming op basis van haar analyse zeer klein is, en ook de CCC-reviewer onderschrijft dit. SodM kan zich vinden in deze conclusie. SodM vindt het belangrijk dat Nobian dit risico nu serieus bekeken heeft en tot een inhoudelijk oordeel gekomen is. Wel merkt SodM op dat de genoemde kans op zinkgatvorming puur kwalitatief lijkt te zijn, en niet kwantitatief is uitgewerkt.

Zinkgatvorming lijkt een extreem gevolg van een extreem scenario met een zeer kleine kans. SodM vindt het belangrijk om ook dergelijke risico's met een zeer kleine kans maar een mogelijk extreem effect goed te begrijpen. SodM zal daarom

verder aandacht blijven houden voor zinkgatvorming bij zoutwinning in het algemeen. In de context van het huidige winningsplan heeft Nobian het risico voldoende uitgewerkt.

B. De kans op en omvang van hydraulische scheurvorming

In deze sectie onderbouwt SodM haar beoordeling over de kans op en omvang van hydraulische scheurvorming. Eerst worden de keuzes en aannames van modeltechnische aard behandeld, en vervolgens de inhoudelijke beschrijving van de modelresultaten.

Modeltechnische keuzes en aannames

In deze sectie behandelt SodM keuzes en aannames van modeltechnische aard. Dit zijn (1) scheurinitiatie in relatie tot de verschillende lekmechanismes, (2) scheurinitiatie en scheurgroei, (3) interactie tussen permeatie (en dilatatie) als trigger voor en scheurinitiatie en (4) de modellen die gebruikt zijn voor het berekenen van (de kans op) scheurvorming.

1. Scheurinitiatie- en lekmechanismen

Het CCC lijkt aan te nemen dat dilatatie nodig is om de zoutkorrelgrenzen voldoende van elkaar af te duwen om hydraulische scheurvorming op te laten treden. Zoals al in het advies aangegeven (p.10 en verder) vindt SodM deze aanname onvoldoende onderbouwd. Er zijn ook andere mechanismen mogelijk.

SodM wijst erop dat KEM-17[1] aangeeft dat het *a priori* niet mogelijk is om te bepalen of drukdaling veroorzaakt wordt door diffuse permeatie, een gelokaliseerd lekpad of scheurvorming. Het CCC-onderzoek en -statement laten zien dat de afgesloten cavernes significante drukopbouw hebben na afsluiten tot ver boven de gesteentespanning. Vervolgens geeft het CCC-onderzoek aan dat permeatie bij drukken vlak onder de gesteentespanning initieert. Echter blijkt de drukafname door permeatie te beperkt te zijn om nog hogere drukopbouw te voorkomen.

SodM ziet de hier beschreven drie lekmechanismes als 3 kanten van dezelfde munt. Ze hebben namelijk allemaal min of meer hetzelfde faalcriterium. Het valt SodM op dat er (behalve via de drukopbouw) geen feedback is tussen scheurvorming en permeatie. In de onderstaande sectie wordt verder ingegaan op de interactie tussen permeatie en scheurvorming.

2. Interactie tussen permeatie (en dilatatie) en scheurinitiatie

Het CCC-onderzoek (p. 25 van het advies) laat zien dat er permeatie plaatsvindt van het cavernedak tot aan top zout. Hierbij ontstaat er een hydraulische verbinding tussen de caverne en de Triassische laag boven het zout (CCC-rapport p. 153). Het CCC-statement geeft hetzelfde weer (figuur 42), en lijkt zelfs te suggereren dat daarvoor ook dilatatie nodig is (alinea 1, p. 11). Ook de laboratoriumonderzoeken naar permeatie in het CCC-onderzoek geven aan dat

[1] KEM-17 Onderzoek naar de langetermijnrisico's van het afsluiten van zoutcavernes | Rapport | Staatstoezicht op de Mijnen

microcracking (met mogelijk een aandeel van dilatatie) een proces is dat bij permeatie een rol speelt (p. 137).

Bovenstaande is van belang omdat in de secties over scheurvorming in het CCC-onderzoek en in dit CCC-statement wordt aangegeven dat scheurvorming en dilatatie maar zeer beperkt is, en lokaal rond de caverne optreedt, terwijl permeatie wel degelijk tot ver van de caverne optreedt.

Deze permeatie zorgt (ongeacht of dilatatie hierin een rol speelt) voor een netwerk van gescheiden korrelgrenzen van de caverne tot de top zout. De korrelgrenzen moeten namelijk van elkaar gescheiden worden om ruimte voor permeatie te maken. SodM ziet in het door permeatie ontstane netwerk van hogere permeabiliteit een geschikt pad voor scheurvorming. De al gescheiden korrelgrenzen staan in verbinding met de caverne (en de cavernedruk), en kunnen door hoge cavernedrukken verder uit elkaar gedrukt worden tot een hydraulische scheur. Hiervoor is geen hydraulische scheur-specifieke dilatatie nodig. De interactie tussen de beide processen is niet voldoende belicht, in zowel het CCC-onderzoek, als dit CCC-statement.

3. <u>Scheurinitiatie en scheurgroei</u>

Anders dan de modellen in het CCC-onderzoek, wordt in dit CCC-statement wel degelijk gekeken of condities voor scheurvorming bereikt worden. Daarmee is een deel van de kanttekeningen op dit punt uit ons eerdere advies weggenomen. In het CCC-statement wordt gesteld dat scheuren en dilatatie in de eerste 15 m rond de caverne kunnen ontstaan, maar dat het daarbij blijft. Dit wordt gedaan door in kaart te brengen waar lokaal een faalcriterium wordt overschreden.

Het is begrijpelijk dat scheuren in een dergelijk onderzoek niet meer dan 15 m diep in het zout ontstaan. Bij de cavernewand komt het zout in direct contact met de hoge pekeldruk van de caverne waardoor het zout daardoor daar het meest kwetsbaar is. Dit is terug te zien in het CCC-statement (figuur 19), waar voor "*ZW-6 simulation*" alleen bij de "*0.0 m offset*" gemeten wordt dat de cavernedruk groter is dan de minimale spanning is ($P_f > \sigma_3$).

Omdat in het CCC-statement beschreven staat dat er voorbij de 15 m geen plekken zijn waar $P_f > \sigma_3$, wordt er geredeneerd dat scheuren niet verder groeien dan 15 m van de cavernewand. Echter, de initiatie van de scheur is niet het einde, maar juist het begin van het scheurvormingsproces. Er wordt in het CCC-statement enkel gekeken naar de druk van scheurinitiatie (sectie 3.2). Dit terwijl figuur 12 van het CCC-statement aangeeft dat voor scheurgroei (en mogelijk ook scheurreactivatie) een lagere druk nodig is dan voor de initiatie.

Na het initiëren van een open scheur aan de cavernewand zal (bijna) instantaan de cavernedruk de scheur "indringen". Hiermee wordt de poriëndruk (P_f) weg van de cavernewand in het zout, vervangen door de cavernedruk in de scheur. Deze cavernedruk is hoger (zie de latere discussie over sectie 3.6 van het CCC-statement). Het onder druk "verplaatsen" van deze pekel de scheur in (en daarmee het zout in), leidt tot een nieuwe situatie waarin (lokaal) de druk in het zout hoger wordt. Oftewel, waar vóór de scheurinitiatie zout zat, zit daar nu een

scheur die onderdeel is van de caverne. Deze pekel duwt de wanden van de scheur verder uit elkaar: de effectieve spanning ($\sigma_{eff} = \sigma_{total} - P_f$) wordt zeer laag, wat tot verdere scheurgroei kan leiden. Vervolgens wordt in het nieuw ontstane scheursegment de poriëndruk ook weer vervangen door de cavernedruk, en volgt er een nieuwe stap in de scheurgroei. Scheurgroei wordt verder vergemakkelijkt door het concentreren van de spanningen aan de punt van de scheur.

Scheurgroei is een continu proces, wat doorgaat tot:

1) de scheur zoveel pekel uit de caverne heeft afgevoerd[2], en de druk in de caverne en scheur zo is afgenomen, dat de scheur weer sluit,
2) de spanningen in het gesteente te hoog worden, of
3) de scheur een ander, sterker gesteente bereikt.

Dit scheurgroeiproces lijkt niet te zijn meegenomen in de opzet van het model, en de implementatie van de code. Ook de CCC-reviewer wijst hierop: "*a fracture mechanics modelling capability, that accounts for stress changes during fracture growth, should also be developed in future, to test present conclusions further*". Hiermee geeft de CCC-reviewer aan dat ook hij de effecten van spanningsveranderingen op scheurgroei, mist. Ook wijst de CCC-reviewer op het belang van "tweede orde" aandachtspunten, zoals het belang van heterogeniteit, terugkoppeling tussen alle processen, en de vorming van gelokaliseerde permeatie/shearzones.

De spanningstoestand in het zout is zoals hierboven beschreven niet constant, maar verandert door aanwezigheid en openen van de scheur. De modellen lijken te werken met statische spanningsverdelingen, waar spanningsontwikkeling ontbreekt. Het CCC-statement schrijft op pagina 31 hier kort wat over: "*However, with the onset of a hydraulic fracturing at the cavern wall, the coupled system locally alters the stress state, meaning hydraulic (micro) fracturing is probable to occur at the cavern wall. Small-scale propagating hydraulic fractures could occasionally occur for close distances from the cavern wall (<15 m)".*

Ook verzwakkende en lokalisatie effecten van scheurvorming zijn niet meegenomen in de studie. Zodra een scheur geïnitieerd is, is het makkelijker om de bestaande scheur verder te laten groeien dan een nieuwe te initiëren. Voor verticale, opwaarts groeiende scheuren wordt in het algemeen ook de minimale spanning steeds minder.

Hieraan verbonden is ook de opmerking in het CCC-statement (p. 31) dat scheuren preferentieel in sub-horizontale richting groeien. Het is niet duidelijk of het CCC hier de groei van scheuren in het (sub-)horizontale vlak (tegen de verticale spanning in) bedoeld, of de groei in horizontale richting van verticale (geïnitieerde) scheuren. Het is opvallend dat het CCC-statement hier mogelijk scheurgroei *tussen* winningscavernes beschrijft. Wat de effecten van een hydraulische scheurverbinding tussen verschillende afgesloten cavernes en

[2] Het volume van de scheur wordt bij het volume van de caverne geteld. De hoeveelheid pekel blijft hetzelfde, waardoor de druk daalt. Er kan ook vloeistof uit de scheur een poreus gesteente instromen. Dan neemt het pekel volume zelfs af, en daalt de druk in de caverne nog sneller.

eventuele zijn, is echter niet beschreven. In het advies (aandachtspunt c, p. 22) hebben wij ook al aangegeven dat de wisselwerking tussen cavernes met verschillende doelen en levenscycli missen. Er bevinden zich in de zoutkoepel ook gasopslagcavernes. In dit CCC-statement ontbreekt een verdere uitwerking van (de kans op en mogelijke effecten van) hydraulische scheurvorming tussen deze cavernes. Voor SodM is dit een relevant aandachtspunt dat verdere aandacht verdiend in de procedure.

Concluderend, hoewel het CCC-statement aantoont dat scheuren kunnen initiëren op de cavernewand, maar niet weg van de caverne, toont het CCC-statement niet aan dat de geïnitieerde scheuren stoppen met groeien (propageren). Ook toont het CCC-statement niet aan of na het sluiten van de scheur door drukafname (verder behandeld in de discussie over secties 3.6 en 3.7), deze niet weer gereactiveerd kan worden zodra de druk weer toeneemt. Dit omdat een gesloten scheur een mogelijk zwak punt in de cavernewand vormt. Dit heeft mogelijk effect op het doordringen van pekel, zoals ook verderop wordt besproken in de discussie over de ingediende documenten 4-6.

4. Gebruik modellen

De door het CCC gebruikte modellen zijn in eerste instantie niet bedoeld voor het modeleren van scheurvorming, maar voor zoutkruip, drukontwikkeling in de caverne en permeatie. Scheurinitiatie en scheurgroei vereist een andere modelmethode. Dergelijke studies worden over het algemeen uitgevoerd in specialistische software die de constante interactie tussen vloeistofdruk en spanning mee kan nemen. Dergelijke software wordt vrij gebruikelijk toegepast in de olie- en gasindustrie.

Een deel van de analyse in het CCC-statement is uitgevoerd met software die in het CCC-rapport als "dome schaal" beschreven staan. In dit CCC-statement worden deze modellen gebruikt voor analyses op de overgang van de caverne en het zout. Zoals aangegeven door de SodM-reviewer in het advies (p. 45), is het niet duidelijk wat de elementgrootte van dit model is, en hoe de cavernes precies in dit model geïmplementeerd zijn. Dit zijn belangrijke vragen die onbeantwoord zijn gebleven om te begrijpen of de resultaten te gebruiken zijn voor dit vraagstuk.

Inhoudelijke beschrijving van de modelresultaten

In de volgende alinea's worden enkele inhoudelijke aspecten van het CCC-statement behandeld. Deze discussie focust zich op secties 3.6 en 3.7 van het CCC-statement.

CCC-statement, sectie 3.6: Poriëndruk (P_f), cavernedruk en σ_3.

Het CCC-onderzoek laat zien dat de cavernedruk na afsluiten op termijn significant hoger (0,35 bar/m) wordt dan σ_3 (0,25 bar/m). Sectie 3.6 van het CCC-statement, laten echter constant een vergelijking zien tussen de poriëndruk (P_f) en σ_3, waar de poriëndruk (behalve direct na afsluiten, en tijdens de mijnbouwfase) lager is dan σ_3. Het feit dat de poriëndruk lager is dat de cavernedruk komt omdat er een Biot coëfficiënt gebruikt wordt om de de veranderende poriëndruk te relateren aan een veranderende cavernedruk.

SodM kan zich tot op zekere hoogte vinden in het gebruik van deze Biot coëfficiënt. Echter, SodM ziet de cavernedruk als drijvende kracht voor scheurvorming, niet de (Biot) poriëndruk in het zout. Het eerder beschreven "indringen" van de cavernedruk in de scheuren speelt ook hier een rol. Verder gaat SodM ervan uit dat precies op de cavernewand, de poriëndruk gelijk *moet* zijn aan de cavernedruk. Met andere woorden, in het geval dat er een imperfectie is op de cavernewand (bijvoorbeeld een heterogeniteit, half geloogde porie of een microfracture), die in hydraulische verbinding staat met de caverne, zal de vloeistofdruk in die imperfectie gelijk zijn met de cavernedruk[3]. Zoals aangegeven in het CCC-onderzoek is de cavernedruk hoger dan de minimale hoofdspanning σ_3, waardoor scheurvorming een risico is.

Figuur 20 in het CCC-Statement laat zien dat er enkel tijdens de mijnbouwfase en vroeg in de abandonneringsfase de $P_f > \sigma_3$ (dus $P_f / \sigma_3 > 1$) waardoor er alleen dan volgens de modellen scheurvorming kan optreden. In figuur 17 komt P_f / σ_3 echter niet boven de 1, waardoor de figuren inconsistent zijn.

SodM vindt het niet vanzelfsprekend dat enkel tijdens mijnbouwfase, en vroeg in de abandonneringsfase de druk in de caverne zo hoog is dat scheurvorming kan optreden. SodM gaat er daarbij van uit dat de druk in de caverne tijdens de mijnbouwfase onder de sterktegradiënt van de LCCS gehouden wordt (~0,18 bar/m), en dus (veel) lager is dan σ_3. Verder moet de drukopbouw in de caverne in het begin van de abandonneringsfase nog beginnen en laat het CCC-onderzoek zien dat deze nog jaren oploopt. Deze vaststellingen leiden tot onzekerheid over de correctheid van deze sectie.

<u>CCC-statement Sectie 3.7: Uitstroom bij scheurvorming</u>
Deze sectie beschrijft wat de consequenties zijn wanneer een scheur vormt, en is daarmee de enige sectie waar iets over scheurgroei beschreven wordt.

Het CCC-statement beschrijft in de sectie een aantal scenario's van pekeluitstroom. De verbanden tussen de genoemde drukken en aannames in deze scenario's, met de Leak off pressure (LOP) en Fracture closing pressure (FCP; zie figuur 12 van het CCC-statement) ontbreken. Echter, denkt SodM dat de drukken van de beschreven worst case het dichtst in de buurt komen van de LOP en FCP, en de genoemde scenario's zouden daarmee de base case moeten zijn, in plaats van de worst case.

Het CCC-statement rekent ook uit hoeveel pekel uitstroomt om de druk in de caverne zo te laten dalen dat de scheuren weer sluiten. Hiervoor is de compressibiliteit van de caverne van groot belang (de mate waarin veranderingen in de hoeveelheid vrije pekel in de caverne leiden tot een bepaalde drukverandering). De onderbouwing van de genoemde compressibiliteit (in het CCC-statement uitgedrukt als ßV; "compressibiliteit maal cavernevolume") is niet

[3] Bij hele lange scheuren, is er een grote afstand tussen de caverne en de punt van de scheur. Door wrijving en tortuositeit zal de druk bij de punt lager zijn dan de cavernedruk. Hier hebben we het echter over korte afstanden waar dit effect geen rol speelt.

gegeven. SodM gaat ervanuit dat deze gebaseerd zijn op Nobian's drukmetingen tijdens pekel gecontroleerd aflaten.

De ßV van 220 m^3/bar, zoals genoemd in het CCC-statement komt min of meer overeen met wat op basis van de literatuur verwacht wordt.[4] Mogelijk klopt de berekening van de "worst case" echter niet. Er lijkt ineens een ßV van 170 m^3/bar gebruikt te worden. Hierdoor wordt de benodigde uitstroom ~11.000 m^3, niet 8600 m^3 pekel zoals berekend in het CCC-statement. Echter, de orde van grootte van pekeluitstroom is hetzelfde. SodM gaat er daarom vanuit dat een uitstroom in ordergrootte van 3000-11000 m^3 nodig is om eventueel geopende scheuren weer te laten sluiten. Daarnaast oordeelt SodM dat dit om een relatief beperkt volume gaat. Wel moet duidelijk zijn waar deze hoeveelheid pekel naartoe stroomt. Er moet een groot genoeg pad bestaan tussen de caverne en een plaats die deze uitstroom kan opvangen. Zout zelf kan dit maar heel beperkt opnemen.

SodM vindt de gebruikte oppervlakte om stroomsnelheden te berekenen onrealistisch klein. Ook de CCC-reviewer geeft aan dat de gekozen scheuroppervlakte bij de bepaling van de uitstroomsnelheid geen echte basis heeft. De gebruikte oppervlakte van 1 cm^2 komt overeen met een scheur van ongeveer 10 cm lang, op basis van de *scaling laws voor fractures*. SodM vraagt zich af of de genoemde scheurgeometrie als representatief beschouwd wordt voor alle scheuren die in deze studie ontstaan. Als er (zoals blijkt uit het bovenstaande) 3000-11.000 m^3 uit de caverne moet worden afgelaten om de druk zo af te laten nemen dat de scheuren sluiten, zijn er heel veel scheuren van 10 cm nodig. Veel logischer, en geologisch plausibeler, is echter dat enkele van de geïnitieerde scheuren om wat voor reden dan ook meer en meer lengte krijgen, en dat de scheurgroei daar lokaliseert. In het CCC-statement wordt hier wel gedeeltelijk op ingegaan:

- *"It is highly likely that, when cavern pressure increases, the number and length of the micro-fractures increase. It is possible that, after some time, localization takes place: most micro-fractures stop growing, a small number of the micro-fractures keep growing (their aperture and their length increase), leading to the formation of "fractures".*
- *"However, the geometry of the salt dome and the internal structural heterogeneities of the salt rock result in a non-uniform and non-isotropic stress state".*

Om scheurgroei goed te begrijpen is de te implementeren natuurkunde voor scheurgroei, weakening en lokalisatie in de modellen van groot belang. Zoals eerder aangegeven ontbreekt dit.

Verder wordt ook in deze sectie van CCC-statement onterecht uitgegaan van een statische spannings- en drukontwikkeling, en een eenmalig event van scheurvorming. De drukopbouw in de caverne is echter een langdurig proces. Het is te verwachten dat de drukopbouw na de eerste scheurvorming, gewoon doorgaat. De drijvende kracht van zoutkruip en initieel ook opwarming blijft

[4] Berest, Pierre & Brouard, Benoit & Bergues, J. & Frelat, J. & Durup, G. (1997). Salt caverns and the compressibility factor.

immers aanwezig. De druk zal weer gaan opbouwen, als gevolg van zoutkruip en (in steeds mindere mate) temperatuureffecten. Door de uitstroom van de pekel (en de daarbij horende drukval) zal de kruip tijdelijk zelfs enigszins versnellen. Het is te verwachten dat binnen afzienbare tijd de druk in de caverne weer zo hoog wordt dat scheurcondities bereikt worden.

Bestaande, eerder gevormde scheuren kunnen dan relatief makkelijk opengedrukt en langer worden, omdat ze al een zwakte in het zout zijn. Alleen als wordt aangenomen dat deze scheuren binnen de beschikbare tijd tot de volgende scheurcondities volledig en perfect "genezen" (Engels: healen), kan het zout haar originele sterkte terugkrijgen. Ook de CCC-reviewer geeft aan dat er sprake kan zijn van "*transient (valve-like) fracture opening*", wat zou spreken voor het herhaaldelijk openen van scheuren. Ook is het voorstelbaar dat zeker bij scheuren in het cavernedak, dakolie de scheur indringt (dakolie is lichter dan pekel en drijft dus bovenop pekel), wat de "genezing" hindert.

SodM mist inzichten in hoe vaak binnen een relevante zichtperiode (bijvoorbeeld tot 2250) de drukopbouw in een caverne tot scheurcondities kan leiden, met en zonder verzwakkende effecten. Nobian lijkt aangetoond te hebben dat er ongeveer 3000-11000 m^3 pekeluitstroom nodig is om ontstane scheuren weer te laten sluiten. Nobian laat echter niet zien hoe vaak dit kan gebeuren binnen een relevante zichtperiode, en of de scheur volledig "geneest" en de originele sterkte weer terugkrijgt. Hoewel de genoemde volumes beperkt zijn, is dit slechts voor één event, bij één caverne. Als er significant meer events op elkaar volgen, door meerdere scheuren en/of uit meerdere cavernes, kan de totale uitstroom wel degelijk relevant worden. Als dit het geval is, heeft het ook belangrijke effecten op mogelijke verontreiniging, bodemdalingssnelheid en totale bodemdaling over een periode.

Samenvattend: De kans op en omvang van hydraulische scheurvorming
Het CCC-statement beschrijft dat scheuren kunnen vormen, maar dat deze op basis van de modelering zeer hoogstwaarschijnlijk beperkt in lengte zullen zijn.

SodM kan zich daar niet in vinden, en heeft enkele discussiepunten beschreven. Deze punten focussen zich op de interactie tussen permeatie en scheurvorming en het scheurvormingsproces (het ontbreken van scheurgroei, en -reactivatie, maar ook de verzwakking van het zout door eerdere scheurvorming), de statische spannings- en drukverdelingen in de tijd, de geschiktheid van de gebruikte modellen. Als al deze punten meegenomen zouden zijn in de modelering verwacht SodM deze effect hebben op de scheurlengte.

SodM stelt daarom dat de modellen en resultaten onvoldoende zijn om de kans op scheuren en omvang van scheuren, tussen caverne(s) en top zout, na het afsluiten van cavernes voldoende te beschrijven. Wel kan SodM zich vinden in de ordegrootte van benodigde uitstroom van pekel om een enkele scheur, die eenmalig uitstroom veroorzaakt, weer te doen sluiten. SodM vraagt zich wel af hoe vaak binnen een relevante zichtperiode de druk in een caverne boven de scheurinitiatiegrens komen kan. Dit is ook relevant voor de beoordeling van de overige documenten.

C. Het effect van het doorgroeien van de cavernes

Een ander onderdeel van het CCC-statement is een analyse van de verschillen in effecten na afsluiten tussen einde winning in 2025, en einde winning in 2040 (Hoofdstuk 4 van het CCC-statement).

Het hoofdstuk beschrijft hoe het doorgroeien van een caverne de kans op scheurvorming beïnvloedt, waarbij uitgegaan wordt van dilatatie. Het CCC-statement concludeert dat het risico op dilatatie en de kans op scheurvorming door doorgroei in het 2040 scenario kleiner is dan in het 2025 scenario, maar dat de verschillen niet significant zijn.

Daar tegenover staat dat áls een scheur plaatsvindt, er significant meer pekel uitstroomt. Het CCC-statement laat zien dat een kleiner cavernevolume (situatie eind 2025, ~5 mln m^3) leidt tot een lagere absolute uitstroom, dan bij een groter cavernevolume (situatie eind 2040, ~6.3 mln m^3, dit is een volumetoename van ongeveer 25%). Volgens het CCC-statement heeft het groter laten worden van de cavernes een lineair effect op de totale uitstroom. Dit is in lijn met wat SodM heeft aangegeven in het advies (p. 20 en verder): "*hoewel doorlaten groeien van deze cavernes waarschijnlijk geen, of maar beperkt invloed heeft op de kans op scheurvorming, heeft het wel invloed op het effect*". Een toename van 25% van de uitstroom tussen 2025 en 2040 is daarmee een significante verandering van het effect. Omdat risico = kans x effect, heeft het doorlaten groeien van de cavernes wel degelijk invloed op het risico. Hoe groot dit risico is, is lastig te bepalen, zeker als het risico van het afsluiten van de cavernes van het huidige formaat nog niet geheel bekend is.

D. Conclusie: *CCC-Statement on Hydraulic Fracturing Risk* (documenten 1-3)

Met het CCC-statement is, door het bekijken van scheurinitiatie, een duidelijke stap voorwaarts gemaakt ten opzichte van de documenten ingediend in de originele aanvraag. Desondanks neemt het CCC-statement de eerdere bezwaren van SodM over (de duiding van Nobian van) het CCC-onderzoek niet weg.

Het CCC-statement, in combinatie met het CCC-onderzoek toont aan dat condities voor scheur*initiatie* aanwezig zijn aan de cavernewand. De stukken gaan echter nog onvoldoende in op scheur*groei* (propagatie) en scheur*reactivatie* onder realistisch druksituaties en -ontwikkeling van de caverne, en of de top van het zout kunnen bereiken. De conclusie dat scheuren niet verder kunnen groeien dan 15 m vindt SodM daarom ongegrond.

Ondanks dat de kwaliteit van het onderzoek hoog is, heeft SodM twijfels of dit onderzoek de kans en effecten van scheurvorming van afgesloten cavernes goed beschrijven. Deze twijfels zijn enerzijds gebaseerd op vragen over de aannames (waaronder over het initiëren van scheuren), de toegepaste fysica en de gebruikte modeleringsmethodes. Anderzijds zijn deze twijfels gebaseerd op onduidelijkheden, ogenschijnlijke tegenstellingen en onzekerheden in de resultaten en de interpretaties.

SodM is zich ervan bewust dat scheurgroei in combinatie met andere processen (zoals kruip en permeatie) niet eenvoudig numeriek te implementeren is. Het is voorstelbaar dat er nog jaren verder onderzoek en (veld)testen nodig zijn voordat de effecten van het afsluiten van deze grote cavernes voldoende begrepen zijn.

Gezien de hierboven beschreven kritiek en grote onzekerheid op het kunnen ontstaan van (grote) scheuren, gaat SodM er uit voorzorg vanuit dat na het afsluiten van de cavernes, de kans op scheurvorming tot aan de ondiepe ondergrond reëel is.

Document 4: Effectstudie - Impact doordringen pekel Zuidwending

In dit rapport opgesteld door Royal HaskoningDHV (RHDHV) worden de volumes pekeluitstroom uit de cavernes die nodig zijn voor het laten sluiten van de gevormde scheuren gebruikt als uitgangspunt voor een effectstudie bij pekeluitstroom. RHDHV beschrijft in de effectstudie meerdere scenario's, en neemt hierbij ook de lokale geologische ondergrondse situatie mee, die afwijkt van de ondergrondmodellen die beschikbaar zijn op dinoloket.nl. SodM vindt dat een goed uitgangspunt.

De belangrijkste conclusie van de effectstudie is: De effecten (i.e. de verspreiding van pekel in de diepe ondergrond) van uitstroom van pekel zijn beperkt en lokaal. In het geval van (theoretische) waterwinning op 1 km afstand, blijft de pekelconcentratie onder de norm.

Met de genoemde nuanceringen en beperkte scope kan SodM zich vinden in bovenstaande conclusie, en SodM benadrukt dat het goed is dat er voor de eerste keer een effectbeoordeling is van uitstroom langs een scheur. Dit is een belangrijke aanvulling op de ingediende aanvraag, en hiermee wordt het commentaar van SodM op de aanvraag over het ontbreken van effectrapportage gedeeltelijk weggenomen. SodM merkt wel op dat dit puur een analyse is van de verspreiding van de pekel in de ondergrond is. Het is geen milieutechnische analyse.

Verder heeft SodM enkele opmerkingen over de effectstudie. Ten eerste beschrijft het rapport slechts de uitstroom van pekel bij één event, bij één caverne. Er zijn meerdere cavernes van een vergelijkbaar groot formaat die afgesloten moeten worden. Als de kans op scheurvorming tot aan de ondiepe ondergrond als reëel wordt gezien, is het dus ook aannemelijk dat er meerdere cavernes scheurvorming zullen laten zien.

Verder is het zo dat nadat de cavernedruk is afgenomen en de scheuren mogelijk weer healen, de druk in de caverne weer begint op te lopen. Als de druk voldoende oploopt, is er een risico je dus een tweede (en misschien een 3^{e}, 4de, 5de... etc.) event krijgt bij dezelfde caverne, zoals eerder in deze reflectie beschreven. Een relevante vraag in dit kader is dus ook: Hoeveel drukcycli van scheurvorming, mogelijke healing en reactivatie, kan je realistisch verwachten binnen de zichtperiode van 200 jaar?

Verder gaat de effectstudie van RHDHV uit van perfecte healing van de scheuren. Als deze scheuren niet perfect sluiten blijft er een (beperkte) constante uitstroom van pekel. Daarnaast is er ook nog de constante uitstroom van pekel als gevolg van permeatie die de bovenkant van het zout bereikt, zoals beschreven in CCC-onderzoek. Het effect van uitstroom door permeatie, zoals ook al aangegeven in ons advies, ontbreekt. Hoewel de druk van deze uitstroming beperkt is, is het niet uit te sluiten dat de uitstroom door permeatie toch effect heeft op de incidentele uitstroom door scheurvorming. Mogelijk direct, door bij te dragen aan het pekelvolume wat uitstroomt, of indirect door mogelijke neerslag van zouten in poreuze sedimenten, waardoor de permeabiliteit afneemt en de verspreiding van pekel kan beïnvloeden. Deze neerslag van zouten kan ontstaan doordat de pekel die uit de caverne stroomt warmer is dan grondwater. Doordat deze pekel hierdoor afkoelt, neemt de oplosbaarheid van zout in de pekel af en kan het weer kristalliseren.

De hierboven beschreven punten leiden allemaal mogelijk tot een groter effect van de totale pekeluitstroom, maar hoeveel groter is onduidelijk. SodM vraagt zich af of als deze reële punten meegenomen worden, het effect van pekeluitstroom nog steeds "beperkt en lokaal" is. Ook moet de vraag gesteld worden of de totale uitstroom, van alle uitstoomgebeurtenissen tezamen van dien aard is, dat deze invloed gaat hebben op de voorspelde bodemdaling.

Ook is SodM het niet eens met manier waarop RHDHV omgaat met het risico van uitstroom van blanketvloeistof (dakolie). Ten eerste is niet helemaal duidelijk wat bedoeld wordt met het volume van 10 m^3 dakolie. Is dit het volledige restvolume dakolie, of slechts het deel van de dakolie dat na de recente vervanging[5] van de dakolie nog van minerale oorsprong is? De reden van deze vervanging was dat er in de originele dakolie pcb's waren aangetroffen. De eventuele additionele risico's met betrekking tot de pcb's zijn niet meegenomen.

Verder lijkt RHDHV aan te nemen dat de 10 m^3 dakolie in de caverne verspreidt (gemend) in de caverne zit, en dus aanwezig is in concentraties van slechts enkele ppm's van het totale caverne volume, ook al geeft RHDHV zelf ook aan dat het vanwege de ruwheid van het cavernedak, bovenin de caverne achterblijft. Bovenin de caverne wordt ook de scheurvorming verwacht. Bij scheurvorming, is het aanneembaar dat (een deel van) deze dakolie uitstroomt en zo mogelijk in watervoerende lagen terecht komt. Daar zal het zich anders gedragen dan pekel. Omdat dakolie lichter is dan grondwater, zal het naar het maaiveld willen "drijven". Het effect hiervan is niet meegenomen. De reden dat de dakolie nu niet uitstroomt is omdat het in oneffenheden in het dak van de caverne blijft hangen, als plassen regenwater weg van een putje op een parkeerterrein. Als er scheuren ontstaan in het dak van de caverne in de buurt van dergelijke plassen, zal hiervan zeker een deel worden meegevoerd de scheur in.

[5] https://www.sodm.nl/actueel/nieuws/2022/02/07/toezicht-op-zoutwinner-nobian-update

Conclusie: Effectstudie (document 4)

Het is voor SodM van belang dat een zo realistisch mogelijk begrip van de hoeveelheid uitstroomgebeurtenissen er in een relevante zichtperiode mogelijk zijn in de effectstudie wordt meegenomen. Daarbij moeten de mogelijke effecten van uitstroom van dakolie (en eventuele pcb's), en een mogelijk effect op de bodemdaling beter meegenomen worden.

Documenten 5 en 6: Risico-inschattingen

Op basis van het CCC-statement en de RHDHV-effectstudie zijn risico-inschattingen gemaakt door Vreugdenhil Milieuexperts (Vreugdenhil). Hiervoor zijn twee documenten ingediend; de eerste gaat uit van een uitstroom van 3500 m^3 (document 5) en de tweede gaat uit van 8600 m^3 uitstroom (document 6). SodM stelt vast dat de risico-inschattingen puur van technische aard zijn, waar burger- of politieke overwegingen ontbreken.

De twee ingediende documenten zijn bewust van elkaar losgetrokken door Vreugdenhil, omdat "*in onderhavige risicoanalyse een (nog verdere) stapeling van worst-case uitgangspunten plaatsvindt. De onderhavige risicoanalyse moet worden gezien als een extreme basis ten behoeve van (theoretische) discussie waarbij beseft moet worden dat dit veelal leidt tot niet-realistische aannames en uitkomsten.*" SodM heeft al eerder aangegeven dat wat door het CCC-statement als "worst case" beschreven wordt, voor SodM dichter in de buurt zit van de "likely case". Ook wordt op basis van de effectstudie enkel gekeken naar de effecten van één uitstroomevent, bij één caverne. Hierdoor ziet SodM de risico-inschatting bij 8600-11.000 m^3 uitstroom niet per se als het resultaat van een (nog verdere) stapeling van worst-case uitgangspunten.

Op technisch vlak, lijken de risico-inschattingen enkel uit te gaan van het effect van pekeluitstroom op het drinkwater en directe milieueffecten aan de oppervlakte. De (milieu)effecten op de diepe ondergrond zijn niet meegenomen en ook andere belanghebbenden, zoals landbouw, industrie en privépersonen kunnen mogelijk nadelige gevolgen ondervinden. Hierbij kan gedacht worden aan grondgebruikers (bijvoorbeeld agrariërs) die mogelijk gebruik maken van water uit diepe bemaling (bijvoorbeeld voor irrigatie). Ook uitstroom van dakolie wordt niet meegenomen in de risico-inschattingen omdat deze niet zijn meegenomen in de effectstudie.

De risico-inschattingen zijn sterk afhankelijk van de effectstudie. Als uit een aangepaste effectstudie blijkt dat de effecten groter zijn dan verwacht, is ook het risico groter. Wanneer het risico groter is, is het van belang dat ook de risico-inschattingen opnieuw uitgevoerd wordt. Dit is het geval wanneer een groter (cumulatief) uitstroomvolume van pekel, en de uitstroom van dakolie meegenomen wordt.

Conclusie: Risico-inschattingen (documenten 5 & 6)

De risico-inschattingen van één uitstroomevent beperken zich tot het risico van alleen pekeluitstroom naar het oppervlak en het risico voor het drinkwater. Echter,

het risico van meerdere uitstroomevents uit meerdere cavernes, van zowel pekel als dakolie, is niet meegenomen. De (milieu-)effecten op de ondiepe ondergrond zijn onvoldoende beschreven, en ook andere belanghebbenden, zoals landbouw, industrie en privépersonen kunnen mogelijk nadelige gevolgen ondervinden.