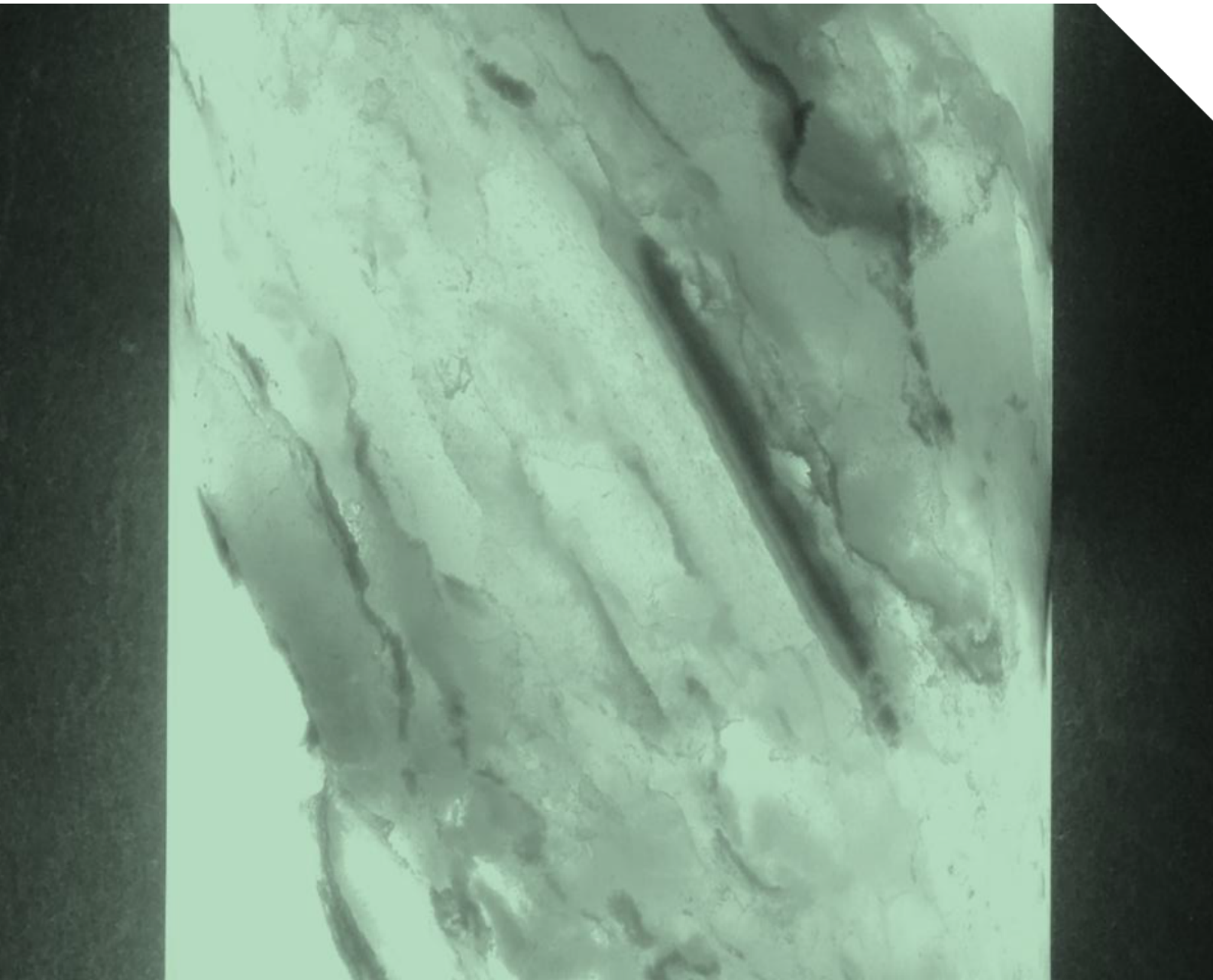
Nobian Salt B.V.
Mining Development and Compliance

NOBIAN

Plan van Aanpak

Onderzoek effecten afsluiten cavernes Zuidwending en Heiligerlee

July 9, 2026
Mining Development & Compliance



Contents

1. Samenvatting **4**

2. Inleiding **5**
2.1. Leeswijzer 5
2.2. Juridische basis 5
2.2.1. Instemmingsbesluit Zuidwending 5
2.2.2. Instemmingsbesluit Heiligerlee 7
2.3. Opzet van het onderzoeksprogramma 8
2.3.1. Indeling werkpakketten 8
2.3.2. Werkwijze bepalen alle realistische scenario's 9

3. Organisatie, betrokken partijen etc. **11**
3.1. Projectorganisatie 11
3.1.1. Organogram 11
3.1.2. Rollen 11
3.1.3. Overlegstructuur 13
3.2. Partijen 13
3.2.1. Mogelijke kandidaten voor uitvoering diverse externe werkpakketten 13

4. Onderzoeksvragen **15**
4.1. WP 1 (pekelinfiltratie studie): 15
4.2. WP 2 (dilatatiegedrag): 15
4.3. WP 3 (veldtest): 15
4.4. WP 4 (update caverne abandonment modellen): 15
4.5. WP 5 (bodemdalingsprognose): 16
4.6. WP 6 (opvulmateriaal): 16

5. Interactie tussen werkpakketten **17**

6. Mijlpalen **18**
6.1. Overzicht van mijlpalen per werkpakket 18
6.1.1. WP 1 (pekelinfiltratiestudie): 18
6.1.2. WP 2 (dilatatiegrens): 18
6.1.3. WP 3 (veldtest): 18
6.1.4. WP 4 (update 3D modellen): 18
6.1.5. WP 5 (bodemdalingsprognose): 18
6.1.6. WP 6 (optioneel, analyse vulstof): 18
6.2. Overzicht planning mijlpalen 19

7. Veldtest **20**
7.1. Beschrijving 20
7.1.1. Geschikte caverne 20
7.1.2. Voorbereiding in de omgeving 21
7.1.3. Voorbereiding in het veld 21
7.1.4. Verbeterde microseismische monitoring met downhole sensor array 24
7.1.5. Druk- en temperatuurmeting in de caverne 25
7.1.6. Verwachte drukopbouw 25
7.1.7. Monitoring 27
7.1.8. Tussentijdse modellen (digital twin) 27
7.1.9. Verwerking veldtest (WP 4) 28
7.2. Externe communicatie tijdens test 28
7.3. Detailplanning uitvoering veldtest 29

8. Jaarlijkse rapportage **30**
8.1. Inhoud 30
8.2. Planning oplevering 30
9. Tot slot **31**
10. Bijlages: request for proposals. **32**
10.1. WP 1: 32
10.2. WP 2: 34

1. Samenvatting

Eind 2025 heeft Nobian de definitieve instemmingsbesluiten op de aangevraagde winningsplannen ontvangen en mag nu de zoutwinning in de velden Heiligerlee en Zuidwending tot en met 2035 voortzetten. Op basis van het best beschikbare wetenschappelijk onderzoek, uitgevoerd door het Cavern Closure Consortium (CCC), is in de winningsplannen de volgens Nobian de wijze van hard afsluiten op een generieke wijze beschreven. Eén van de voorschriften in beide besluiten betreft onderzoek dat Nobian zal doen naar de effecten van de afsluiting van de cavernes na einde winning. Onderdeel van dit onderzoek is de uitvoering van een veldtest.

Een van de gevolgen van de beoogde wijze van afsluiten is dat na permanent afsluiten van de cavernes de cavernedruk zal oplopen. Aan het cavernedak houdt dit in dat de vloeistofdruk daar hoger kan worden dan de oorspronkelijke minimale spanningstoestand in het steenzout ter hoogte van het cavernedak. Om aan te tonen dat de gemodelleerde veilige evenwichtsdruk ook daadwerkelijk ontstaat, wordt een veldtest uitgevoerd. Hiermee kan worden aangetoond dat de beoogde wijze van afsluiten van cavernes gecontroleerd en veilig is.

Dit plan van aanpak voor het verdere onderzoek voldoet aan alle voorschriften zoals opgenomen in de instemmingsbesluiten. Daarom heeft Nobian ervoor gekozen een integraal onderzoeksprogramma op te stellen waarin alle aspecten aan bod komen, omdat de verschillende aspecten invloed op elkaar hebben.

Er zijn 6 werkpakketten (hierna WP's) opgenomen in dit plan. In volgorde van wanneer het onderzoek ingediend moet zijn bij het ministerie van Klimaat en Groene Groei KGG (of in enkele gevallen Staatstoezicht op de Mijnen, SodM) zijn dit:

- WP 1: Pekelinfiltratie - onderzoek naar mogelijkheden scheurvorming in het cavernedak;
- WP 2: Dilatatiegedrag - fundamenteel onderzoek scheurvorming;
- WP 3: Veldtest - acties in het veld om data te vergaren.;
- WP 4: Update 3D modellen - verbeterde computersimulaties op basis van de veldtest;
- WP 5: Bodemdalingsprognose -actualisatie van de verwachte bodemdaling;
- WP 6: (optioneel) analyse vulstof - onderzoek naar eigenschappen en effectiviteit van vulmateriaal.

Daarbij moet vermeld worden dat WP6 alleen in werking treedt als uit de eerdere werkpakketten blijkt dat één of meerdere cavernes preventief gedeeltelijk opgevuld dienen te worden.

In volgorde van de instemmingsbesluit voorschriften:

- Voorschrift 1: WP 5;
- Voorschrift 2: WP 1;
- Voorschrift 3: WP's 2 t/m 4;
- Voorschrift 4: WP 6.

Dit plan van aanpak volgt de structuur gegeven in Voorschrift 3, 2e lid, sub a t/m f. (hoofdstukken 3 t/m 8)

De verwachting is dat de drukopbouw van de cavernes dusdanig langzaam zal zijn dat voor de veldtest mogelijk binnen de gestelde termijnen nog geen eindresultaten beschikbaar zijn. In dat geval zal wel een duidelijke trendwaarde kunnen worden vastgesteld. De oorzaak hiervan is dat de druk in de caverne tegen die tijd mogelijk nog niet volledig tot het maximum is opgelopen, en deze kan niet kunstmatig op hogere druk gebracht worden. Omdat het vervormingsgedrag van zout afhankelijk is van de snelheid van drukveranderingen en vervormingssnelheden, zal Nobian ook fundamenteel onderzoek laten uitvoeren om de condities van scheurvorming beter te onderzoeken (WP 2). De resultaten hiervan kunnen mogelijk verwerkt worden in het onderzoek naar de effecten van scheurvorming (WP 1).

2. Inleiding

2.1. Leeswijzer

Dit plan beschrijft de wijze waarop Nobian voornemens is invulling te geven aan de voorwaarden die gesteld zijn aan Nobian via de instemmingsbesluiten op de recent ingestemde winningsplannen voor de velden Heiligerlee en Zuidwending (2025-2035). Het plan is grotendeels van technische aard, en is met name geschreven voor de inhoudelijke experts bij het ministerie van KGG / EZK en haar adviseurs (SodM, TNO-AGE en decentrale overheden).

Allereerst wordt de juridische achtergrond geschetst, als onderdeel van deze inleiding. Hierin worden de vereisten van dit plan benoemd. Daaropvolgend volgen secties die de onderdelen die specifiek in beide instemmingsbesluiten (voorschrift 3 lid 2 in beide gevallen). Hieronder zijn de hoofstukken met titels beschreven, met daarachter tussen haakjes de letterlijke tekst uit de instemmingsbesluiten.

- Hoofdstuk 3: Organisatie, betrokken partijen, etc. (een vermelding van de partijen die worden betrokken bij het onderzoek en de wijze waarop die worden betrokken).
- Hoofdstuk 4: Onderzoeksvragen (een beschrijving van de onderzoeksvragen);
- Hoofdstuk 5: Interactie tussen werkpakketten (een beschrijving van de wijze waarop de resultaten uit de onderzoeken zoals in voorschrift 1 en 2 worden meegenomen);
- Hoofdstuk 6: Mijlpalen (een beschrijving van de mijlpalen die bij het onderzoek worden gehanteerd, en de planning daarvan);
- Hoofdstuk 7: Veldtest (een beschrijving van de uit te voeren veldtesten en de planning van de uitvoering daarvan)
- Hoofdstuk 8: Jaarlijkse rapportage (een beschrijving van de jaarlijkse rapportages en de planning van de oplevering daarvan);

Hierop volgt nog een slotwoord en volgen de bijlagen.

2.2. Juridische basis

Dit plan is gekoppeld aan de winningsvergunningen: Adolf van Nassau III (Heiligerlee) en uitbreiding Adolf van Nassau III (Zuidwending) en de respectievelijke winningsplannen voor beide velden. De documenten die in de procedure aan bod zijn gekomen (winningsplannen, adviezen aan KGG, besluit KGG) zijn te vinden via deze links:

- mijnbouwvergunningen.nl - Heiligerlee (laatst geraadpleegd op 28 mei 2026) en
- mijnbouwvergunningen.nl - Zuidwending (laatst geraadpleegd op 28 mei 2026)

Onderstaand volgen de letterlijke kopieën uit de definitieve instemmingsbesluiten voor de velden Zuidwending en Heiligerlee, met daarmee de juridisch relevante voorschriften. Dit laat zien dat de voorschriften vergelijkbaar zijn, en daarom is er hier één plan gemaakt voor beide velden.

2.2.1. Instemmingsbesluit Zuidwending

Kenmerk : PDGGO-DTDO / V-65184

d.d. 7 oktober 2025

Voorschrift 1

1. Nobian Salt B.V. dient uiterlijk vijf jaar en tien jaar na inwerkingtreding van dit besluit een geactualiseerde bodemdalingsprognose in bij de inspecteur generaal der mijnen.
2. De prognose, bedoeld in het eerste lid, betreft ook de bodemdaling door andere mijnbouwactiviteiten en de bodemdaling door de voormalige gasproductie uit het Groningenveld.
3. De prognose, bedoeld in het eerste lid, bevat een gevoeligheidsanalyse op basis van de best beschikbare methode voor deze bodemdalingsprognose.

Voorschrift 2

1. Nobian Salt B.V. doet onderzoek naar het volume pekel dat in de ondiepe ondergrond kan doordringen met gebruikmaking van een model voor scheurinitiatie en propagatie en dient de resultaten hiervan binnen twee jaar na inwerkingtreding van dit besluit in bij de Minister van Klimaat en Groene Groei.
2. Nobian Salt B.V. baseert het onderzoek, bedoeld in het eerste lid, op modellen voor drukontwikkeling in afgesloten cavernes die actueel zijn op het moment van het uitvoeren van het onderzoek.

Voorschrift 3

1. Nobian Salt B.V. doet nader onderzoek naar de effecten van alle realistische scenario's van afsluiten van de cavernes ZW-1 tot en met ZW-9, en de te treffen mitigerende maatregelen met het oog op de verwachte effecten ten aanzien van bodembeweging en het volume pekel dat in de ondiepe ondergrond kan doordringen als gevolg van de wijze van afsluiten van de cavernes, en betrekt hierbij de meest recente wetenschappelijke ontwikkelingen.
2. Nobian Salt B.V. dient binnen negen maanden na inwerkingtreding van dit besluit een plan van aanpak voor het onderzoek, bedoeld in het eerste lid, ter goedkeuring in bij de Minister van Klimaat en Groene Groei, dat bevat:
    a. een beschrijving van de onderzoeksvragen;
    b. een beschrijving van de wijze waarop de resultaten uit de onderzoeken zoals in voorschrift 1 en 2 worden meegenomen;
    c. een beschrijving van de mijlpalen die bij het onderzoek worden gehanteerd, en de planning daarvan;
    d. een beschrijving van de uit te voeren veldtesten en de planning van de uitvoering daarvan;
    e. een beschrijving van de jaarlijkse rapportages en de planning van de oplevering daarvan;
    f. een vermelding van de partijen die worden betrokken bij het onderzoek en de wijze waarop die worden betrokken.
3. Nobian Salt B.V. voert het onderzoek uit conform het plan van aanpak, bedoeld in het tweede lid, en dient de eindresultaten van het onderzoek, bedoeld in het eerste lid, in bij de Minister van Klimaat en Groene Groei in overeenstemming met de planning bedoeld in het tweede lid, onderdeel c, maar uiterlijk acht jaar na inwerkingtreding van dit besluit.
4. Nobian Salt B.V. dient binnen vijf jaar na inwerkingtreding van dit besluit een plan voor het veilig afsluiten van de cavernes ter goedkeuring in bij de Minister van Klimaat en Groene Groei, op basis van de op dat moment beschikbare resultaten van het onderzoek, bedoeld in het eerste lid. Het plan bevat een beschrijving en onderbouwing van:
    a. de periode van gecontroleerd aflaten van pekel uit de cavernes;
    b. een planning op hoofdlijnen van het afsluiten van de cavernes op basis van mijlpalen;
    c. de verwachte effecten ten aanzien van bodembeweging en het volume pekel dat in de ondiepe ondergrond kan doordringen als gevolg van de wijze van afsluiten van de cavernes;
    d. de te treffen mitigerende maatregelen met het oog op de verwachte effecten ten aanzien van bodembeweging en het volume pekel dat in de ondiepe ondergrond kan doordringen als gevolg van de wijze van afsluiten van de cavernes;
    e. de specifieke wijze van afsluiting per caverne;
    f. de wijze en frequentie van de uit te voeren metingen in de cavernes ten behoeve van de cavernestabiliteit tijdens de periode, bedoeld in onderdeel a.
5. Indien na het indienen van het plan, bedoeld in het vierde lid, uit resultaten van het onderzoek, bedoeld in het eerste lid, blijkt dat het noodzakelijk is dat plan aan te passen om de cavernes veilig af te kunnen sluiten, dient Nobian Salt B.V. een actualisatie van dat plan in ter goedkeuring van de Minister van Klimaat en Groene Groei.

Voorschrift 4:

1. Nobian Salt B.V. brengt ten behoeve van de veldtesten, bedoeld in voorschrift 3, tweede lid, onderdeel d, geen stoffen in de cavernes zonder goedkeuring van de inspecteur-generaal der mijnen.
2. Bij een verzoek om goedkeuring voor het inbrengen van stoffen in de cavernes, bedoeld in het eerste lid, dient Nobian Salt B.V. een opgaaf van de hoeveelheden die worden geïnjecteerd per caverne, en

een beschrijving van de bij de vulling te gebruiken put en van de effecten ten aanzien van bodemdaling in bij de inspecteur-generaal der mijnen.

2.2.2. Instemmingsbesluit Heiligerlee

Kenmerk : PDGGO-DTDO / V-69187

d.d. 19 november 2025

Voorschrift 1

1. Nobian Salt B.V. dient uiterlijk vijf jaar en tien jaar na inwerkingtreding van dit besluit een geactualiseerde bodemdalingsprognose in bij de inspecteur generaal der mijnen.
2. De prognose, bedoeld in het eerste lid, betreft ook de bodemdaling door andere mijnbouwactiviteiten en de bodemdaling door de voormalige gasproductie uit het Groningenveld.
3. De prognose, bedoeld in het eerste lid, bevat een gevoeligheidsanalyse op basis van de best beschikbare methode voor deze bodemdalingsprognose.

Voorschrift 2

1. Nobian Salt B.V. doet onderzoek naar het volume pekel dat in de ondiepe ondergrond kan doordringen met gebruikmaking van een model voor scheurinitiatie en propagatie en dient de resultaten hiervan binnen twee jaar na inwerkingtreding van dit besluit in bij de Minister van Klimaat en Groene Groei.
2. Nobian Salt B.V. baseert het onderzoek, bedoeld in het eerste lid, op modellen voor drukontwikkeling in afgesloten cavernes die actueel zijn op het moment van het uitvoeren van het onderzoek.

Voorschrift 3

1. Nobian Salt B.V. doet nader onderzoek naar de effecten van alle realistische scenario's van afsluiten van de cavernes in Heiligerlee, en de te treffen mitigerende maatregelen met het oog op de verwachte effecten ten aanzien van bodembeweging en het volume pekel dat in de ondiepe ondergrond kan doordringen als gevolg van de wijze van afsluiten van de cavernes, en betrekt hierbij de meest recente wetenschappelijke ontwikkelingen.
2. Nobian Salt B.V. dient binnen negen maanden na inwerkingtreding van dit -besluit een plan van aanpak voor het onderzoek, bedoeld in het eerste lid, ter goedkeuring in bij de Minister van Klimaat en Groene Groei, dat bevat:
    a. een beschrijving van de onderzoeksvragen;
    b. een beschrijving van de wijze waarop de resultaten uit de onderzoeken zoals in voorschrift 1 en 2 worden meegenomen;
    c. een beschrijving van de mijlpalen die bij het onderzoek worden gehanteerd, en de planning daarvan;
    d. een beschrijving van de uit te voeren veldtesten en de planning van de uitvoering daarvan;
    e. een beschrijving van de jaarlijkse rapportages en de planning van de oplevering daarvan;
    f. een vermelding van de partijen die worden betrokken bij het onderzoek en de wijze waarop die worden betrokken.
3. Nobian Salt B.V. voert het onderzoek uit conform het plan van aanpak, bedoeld in het tweede lid, en dient de eindresultaten van het onderzoek, bedoeld in het eerste lid, in bij de Minister van Klimaat en Groene Groei in overeenstemming met de planning bedoeld in het tweede lid, onderdeel c, maar uiterlijk acht jaar na inwerkingtreding van dit besluit.
4. Nobian Salt B.V. dient binnen vijf jaar na inwerkingtreding van dit besluit een plan, op basis van de op dat moment beschikbare resultaten van het onderzoek, bedoeld in het eerste lid, om de cavernes veilig af te sluiten in bij de Minister van Klimaat en Groene Groei. Het plan behoeft de goedkeuring van de Minister van Klimaat en Groene Groei en bevat een beschrijving en onderbouwing van:
    a. de periode van gecontroleerd aflaten van pekel uit de cavernes;
    b. een planning op hoofdlijnen van het afsluiten van de cavernes op basis van mijlpalen;
    c. de verwachte effecten ten aanzien van bodembeweging en het volume pekel dat in de ondiepe ondergrond kan doordringen als gevolg van de wijze van afsluiten van de cavernes;

d. de te treffen mitigerende maatregelen met het oog op de verwachte effecten ten aanzien van bodembeweging en het volume pekel dat in de ondiepe ondergrond kan doordringen als gevolg van de wijze van afsluiten van de cavernes;
e. de specifieke wijze van afsluiting per caverne;
f. de wijze en frequentie van de uit te voeren metingen in de cavernes ten behoeve van de cavernestabiliteit tijdens de periode, bedoeld in onderdeel a.

5. Indien na het indienen van het plan, bedoeld in het vierde lid, uit resultaten van het onderzoek, bedoeld in het eerste lid, blijkt dat het noodzakelijk is dat plan aan te passen om de cavernes veilig af te kunnen sluiten, dient Nobian Salt B.V. een actualisatie van dat plan in ter goedkeuring van de Minister van Klimaat en Groene Groei.

Voorschrift 4:

1. Nobian Salt B.V. brengt ten behoeve van de veldtesten, bedoeld in voorschrift 3, tweede lid, onderdeel d, geen stoffen in de cavernes zonder goedkeuring van de inspecteur-generaal der mijnen.
2. Bij een verzoek om goedkeuring voor het inbrengen van stoffen in de cavernes, bedoeld in het eerste lid, dient Nobian Salt B.V. een opgaaf van de hoeveelheden die worden geïnjecteerd per caverne, en een beschrijving van de bij de vulling te gebruiken put en van de effecten ten aanzien van bodemdaling en lekkage in bij de inspecteur-generaal der mijnen.

2.3. Opzet van het onderzoeksprogramma

2.3.1. Indeling werkpakketten

Er zijn 6 werkpakketten (hierna WP's) opgenomen in dit Plan van Aanpak. De WP's zijn chronologisch geordend in de volgorde van wanneer het onderzoek ingediend moet zijn bij het ministerie van Klimaat en Groene Groei KGG (of in enkele gevallen Staatstoezicht op de Mijnen, SodM) zijn dit:

- WP 1: Pekelinfiltratie - onderzoek naar mogelijkheden scheurvorming in het cavernedak en de mogelijke lekkage van pekel naar de ondiepe ondergrond. Dit werk is onderverdeeld in a) als scheurvorming plaatsvindt wat is dan hoeveelheid pekel onder aannames van afsluitscenario's en materiaaleigenschappen van steenzout; en b) de effecten van een hoeveelheid pekel die in de ondiepe ondergrond terecht komt.
- WP 2: Dilatatiegedrag - fundamenteel onderzoek scheurvorming. Dit is een laboratoriumstudie met als voornaamste doel om beter in kaart te brengen onder welke omstandigheden er binnen steenzout haarscheurtjes kunnen vormen en als gevolg daarvan lichtelijk permeabel kan worden. In dit onderzoek is ook aandacht voor "healing", effecten waardoor de haarscheurtjes weer dicht gaan zitten zoals kruip en precipitatie van zout vanuit pekel.
- WP 3: Veldtest - acties in het veld om data te vergaren. De veldtest komt in een enkele zin neer op: een caverne op natuurlijk hogere druk laten komen en observeren wat er dan gebeurt. Hierbij wordt de caverne gemonitord op microseismiciteit om zo eventuele scheurvorming te kunnen detecteren. De drukcurve die deze test oplevert kan in een computersimulatie ("digital twin") nagebootst worden om zo de permeatie-eigenschappen van steenzout, een van de resterende onzekerheden vanuit het CCC (2024) onderzoek, te verkleinen.
- WP 4: Update 3D modellen - verbeterde computersimulaties op basis van de veldtest. Hierin wordt het afsluitplan zoals Nobian dat heeft opgenomen in het winningsplan opnieuw geanalyseerd op basis van de nieuw verkregen informatie uit het veld.
- WP 5: Bodemdalingsprognose - actualisatie van de verwachte bodemdaling en in enkele gevallen de effecten daarvan. Dit werkpakket wordt tevens gebruikt om tot enkele technisch mogelijke basis-scenario's te komen waarop gesprekken met stakeholders gebaseerd kunnen worden.
- WP 6: (optioneel) analyse vulstof - onderzoek naar eigenschappen en effectiviteit van vulmateriaal.

De onderzoeksvragen per werkpakket zijn in hoofdstuk 4 beschreven. Detailbeschrijvingen voor WP 1 en 2 zijn opgenomen in de bijlage, in de vorm van een "request for proposal". Voor de overige werkpakketten volgt dit later pas zodat er ruimte is voor toekomstige ontwikkelingen en zo de best beschikbare methode te kunnen gebruiken. Van de bovenstaande werkpaketten is het zo dat WP6 alleen in werking treedt als uit de eerdere werkpakketten blijkt dat de cavernes preventief opgevuld dienen te worden.

In volgorde van de instemmingsbesluit voorschriften:

- Voorschrift 1: WP 5;
- Voorschrift 2: WP 1;
- Voorschrift 3: WP's 2 t/m 4;
- Voorschrift 4: WP 6.

2.3.2. Werkwijze bepalen alle realistische scenario's

Voorschrift 3 vraagt om nader onderzoek naar de effecten van alle realistische scenario's van afsluiten van de cavernes. Als gevolg hiervan heeft Nobian diverse gesprekken gevoerd met KGG en haar adviseurs om hier duiding aan te geven. Hierin wordt allereerst het onderscheid gemaakt van wat technisch mogelijk is, en vervolgens of het realistisch is op basis van inpassing in het ruimtelijk plan, sociaal-maatschappelijke aspecten en financiële haalbaarheid. Daarbij worden de verwachte mijnbouweffecten van de technisch mogelijke scenario's gebruikt als input. Op basis van de gesprekken zijn onderstaande tijdlijnen m.b.t. het afsluiten van de cavernes bepaald, deze zijn weergegeven in onderstaande tabel. De verwachte temperatuuropbouw is afgeleid als raaklijn uit de figuren van temperatuuropbouw in CCC (2024)

Scenario-Naam	Datum uit bedrijf	Soft shut-in periode (jaar)	Soft shut-in (ssi) einddatum	Verwachte $\Delta T/\Delta t$ @einde ssi	Einde scenario	opmerkingen
A	2035	0	2035	~1,2 °C/jaar	2250	Direct hard shut-in
B	2035	10	2045	~0,4 °C/jaar	2250	
C	2035	30	2065	~0,07 °C/jaar	2250	
D	2035	50	2085	~0,02 °C/jaar	2250	Pragmatisch "volledig" temperatuur-evenwicht
E	2035	215	2250	~0,004 °C/jaar	2250	Shoft shut-in de gehele periode

Table 1, tijdlijn beschrijvingen van technisch mogelijke scenario's

Deze technisch mogelijke scenario's worden uitgewerkt in bodemdalingsprognoses voor zowel de verwachte kruipsnelheid als de conservatieve (snellere) kruipsnelheid, waardoor er 10 scenario's ontstaan. Hiervoor is er een aparte milestone opgenomen in werkpakket 5. De resultaten vormen de basis van een nadere analyse. Nobian zal vervolgens een eerste filter toepassen om op voorhand overduidelijke onrealistische scenario's eruit te filteren. Dit zijn scenario's waarvan het niet de moeite waard is om de effecten ervan door te laten rekenen, omdat het geen nuttige informatie zal opleveren.

Van de scenario's die door de eerste filtering heen komen zullen prognoses worden opgesteld voor enkele zichtjaren, vergelijkbaar met de jaren die in het winningsplan opgenomen zijn. Voor deze scenario's zullen de effecten worden doorgerekend op bodemdalingseffecten (technisch op scheefstelling huizen etc., waterhuishouding, riolering), vergelijkbaar aan de aanpak in het winningsplan. Daarnaast worden de scenario's ook gebruikt om het risico op pekelinfiltratie in de ondiepe ondergrond (WP 1) door te rekenen. Zo kunnen de risico's van de scenario's onderling met elkaar kunnen vergeleken. Op basis van gesprekken met stakeholders (waaronder gemeentes, waterschappen, provincie, etc., zie hoofdstuk 3 voor details) zal Nobian de tijdlijn voor afsluiten van de scenario's verder afbakenen om te laten doorrekenen in 3D geomechanische modellen (werkpakket 4). Dergelijke modellen vragen immers veel computer rekenkracht en kunnen dan alsnog maanden aan tijd vergen (op het moment van schrijven). Op basis van deze modellen zal Nobian het afsluitplan schrijven.

Hierbij moet vermeld worden dat de exacte voorspellende waarde van de modellen sterk afhankelijk is van de aannames die gemaakt moeten worden. Een voorbeeld hiervan zit in werkpakket 1. Er zijn nog enkele onzekerheden in de condities waaronder grootschalige hydraulische scheuren ontstaan in steenzout, en geen consensus in wetenschappelijke literatuur. Bovendien is er beperkt informatie beschikbaar vanuit de literatuur

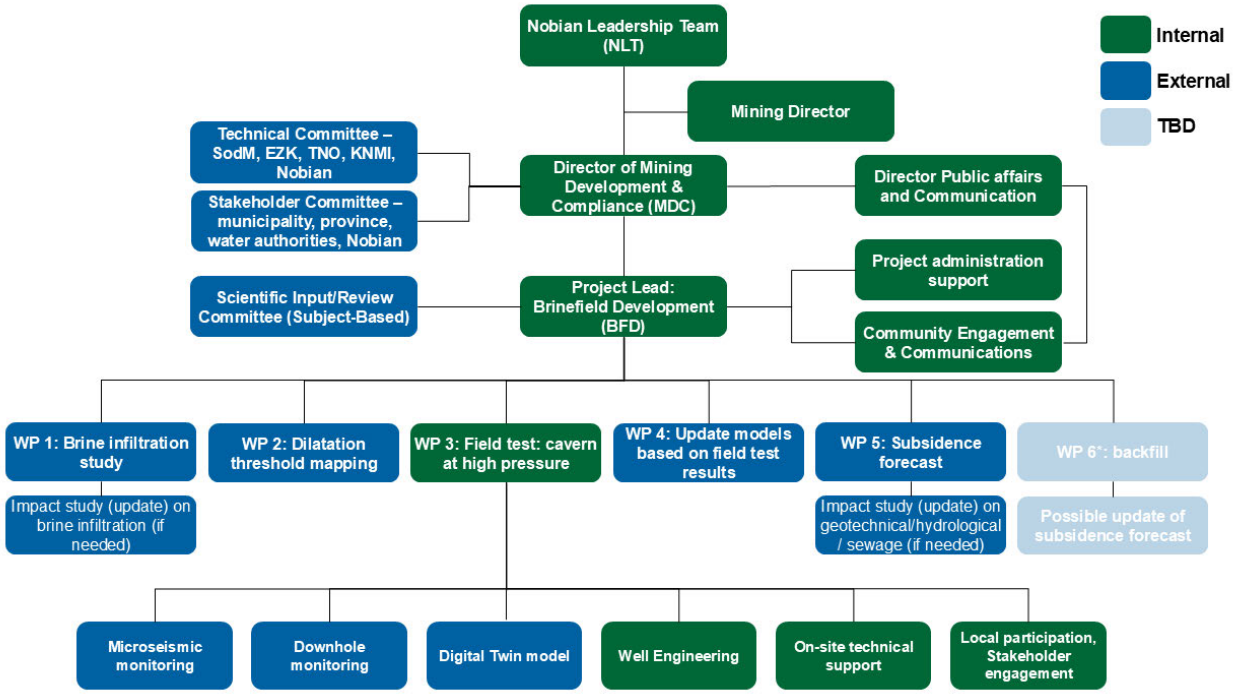
om scheurvormingsmodellen op te kalibreren. Voor de velden Heiligerlee en Zuidwending is er geen informatie over dat proces beschikbaar omdat dit immers nog nooit voorgekomen is. Echter kunnen de diverse technisch mogelijke scenario's wel met elkaar vergeleken worden onder dezelfde onderliggende aannames. Een ander voorbeeld is het bepalen van de effecten op de waterhuishouding in het gebied. Hiervoor wordt doorgaans aangesloten op een richtlijn vanuit het waterschap. Echter kan die richtlijn in de toekomst anders worden ingevuld waardoor de risicoclassificatie kan wijzigen. Ook hiervoor geldt dat alleen de effecten van de scenario's onderling met elkaar vergeleken kunnen worden.

3. Organisatie, betrokken partijen etc.

“een vermelding van de partijen die worden betrokken bij het onderzoek en de wijze waarop die worden betrokken.”

3.1. Projectorganisatie

3.1.1. Organogram



Figuur 1, Project organogram. Beschrijving van rollen is opgenomen in sectie 3.1.2.

3.1.2. Rollen

Nobian Leadership Team (NLT) en Mining Director

Bij het NLT en de Mining Director ligt de strategische besluitvorming over het project. Het NLT en de Mining Director worden geïnformeerd door de Director Mining Development & Compliance (MDC) over de voortgang van het project.

Director Mining Development and Compliance (MDC)

Verantwoordelijk voor de planning en uitvoering van het project. Informeert/adviseert NLT en de Mining Director waar nodig, en schakelt met de Technisch Commissie en de groep van stakeholders. De director MDC kan deze taken mandateren aan anderen.

Technische commissie

Groep externe experts op diverse gebieden met aantoonbare relevante kennis. Hoofdtaak is om de Director MDC (en in het verlengde daarvan het NLT en de Mining Director) te adviseren bij projectkeuzes en bijzonderlijke gevallen. Een voorbeeld hiervan is als tijdens de test blijkt dat het nodig is om van het plan af te wijken. De Technische Commissie wordt minimaal op jaarlijkse basis bijgepraat over de voortgang van het project. Hiervoor vormt de jaarrapportage (zie Hoofdstuk 8) grotendeels de agenda. Nadere details zijn opgenomen in een nader af te sluiten overeenkomst.

Stakeholder commissie

Commissie van instanties en overheden die over de test geïnformeerd worden vanuit hun verantwoordelijkheid voor de omgeving. Deze commissie bestaat uit afgevaardigden van het ministerie van Klimaat en Groene Groei, de Provincie Groningen, de gemeente Oldambt, de gemeente Veendam, de

gemeente Pekela en het Waterschap Hunze en Aa's. Leden van deze groep hoeven niet over mijnbouwkundige kennis te beschikken. Ze worden geïnformeerd door de Director MDC over de voortgang van de test (ondersteund/ gemandateerd aan team BFD). Tevens dient deze groep om externe signalen mee te kunnen nemen. Dit zijn signalen die niet technisch van aard zijn, en zo ook niet door de technische monitoring van Nobian opgepikt kunnen worden. Wel vallen bijvoorbeeld zorgen van omwonenden hieronder. Op deze manier kan Nobian eventuele acties ondernemen, bijvoorbeeld meer toelichting verschaffen.

Net als met het de technische commissie worden de leden van de stakeholder commissie minimaal op jaarlijkse basis bijgepraat over de voortgang van het project. Hiervoor vormt de jaarrapportage (zie Hoofdstuk 8) grotendeels de agenda. Dit overleg kan tevens lopen als vast agendaonderdeel van het reeds ingetreden ambtelijk overleg (zie 3.1.3).

Overige stakeholders

Hieronder vallen landeigenaren, omwonenden en andere belanghebbenden zoals lokaal gevestigde bedrijven. Deze groep wordt jaarlijks geïnformeerd door middel van informatieavonden.

Project Lead (Brinefield Development Team, BFD)

De uitwerking en uitvoering van het onderzoeksprogramma wordt intern vanuit Nobian begeleid vanuit het Brinefield Development Team. In dit team zitten wetenschappelijk getrainde geologen en mijnbouwkundig ingenieurs. Vanwege het schakelen tussen de werkpakketten en de aansturing van de veldtest is ervoor gekozen dit intern op te pakken. Dat brengt mogelijk een vooringenomenheid (bias) met zich mee. Daarom is er gekozen om stukken extern te laten beoordelen via een wetenschappelijke commissie

Wetenschappelijk commissie

Er is voorzien om een wetenschappelijke commissie aan te stellen. Dit heeft met name als doel om als klankbord te fungeren aan Nobian. Hierin kunnen wetenschappelijke specialisten zitten die op diverse deelonderwerpen als expert kunnen worden beschouwd. Als voorbeeld: voor de analyse vanuit de Digital Twin (onderdeel WP3) zal Nobian schakelen met experts uit de SMRI research committee.

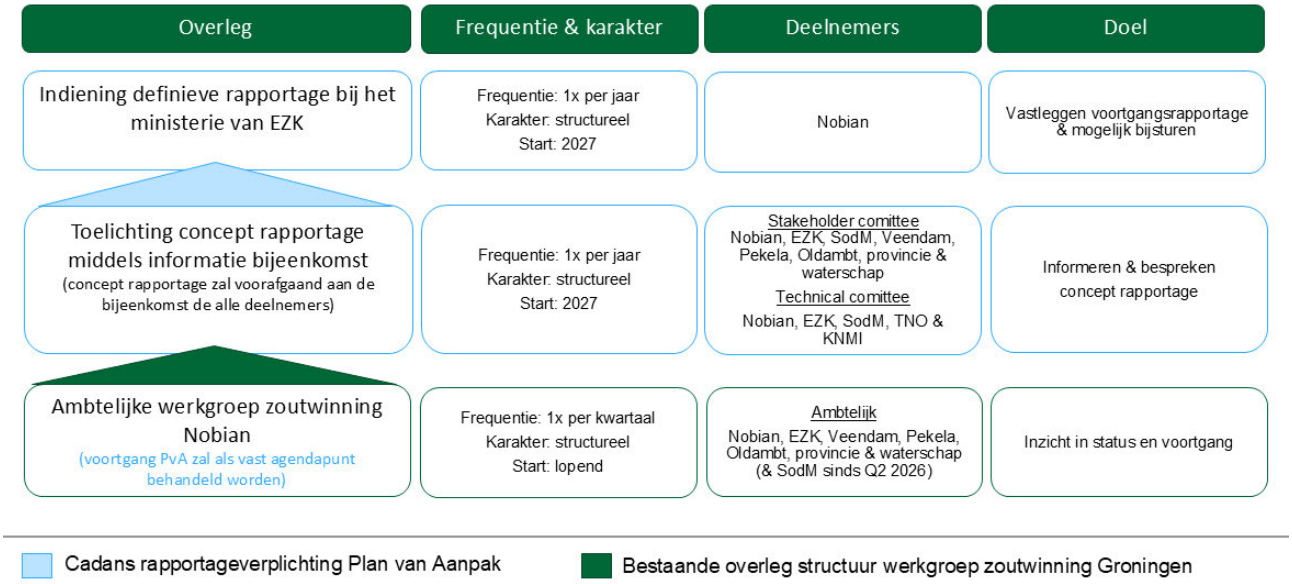
Project ondersteuning, omgevingsmanagement en communicatie

Interne ondersteuning met administratieve zaken (purchase orders etc.) en nauwe betrokkenheid en ondersteuning door de Omgevingsmanager en Mining communicatie manager bij o.a. lokale communicatie en engagement, alsook informatievoorziening of woordvoering op centraal niveau (media etc.).

Uitvoerders werkpakketten:

Uitvoering van het aangenomen onderzoeksvoorstel met tussentijdse rapportage aan Nobian (project lead) en informeren van de Technische Commissie. Tussentijdse presentaties aan toezichthouder SodM en vergunningverlener KGG zijn in de scope meegenomen. Verdere details per werkpakket zijn in de volgende sectie beschreven.

3.1.3. Overlegstructuur



Figuur 2, overzicht overlegstructuur Plan van Aanpak

Zoals in de vorige sectie beschreven, zullen er diverse gesprekken plaatsvinden waarin Nobian de voortgang van dit plan van aanpak toelicht, maar ook informatie ophaalt vanuit de omgeving.

3.2. Partijen

Op het moment van schrijven is nog niet bekend welke partijen exact de externe werkpakketten zullen uitvoeren. Nobian heeft hierover al wel gesprekken met diverse partijen gevoerd. Hieruit zijn de onderzoeksvragen omgevormd naar “Requests for Proposal”. De reacties hierop zal Nobian t.z.t. verifiëren op kwaliteit van de voorstellen en de ervaring van het voorgestelde onderzoeksteam.

3.2.1. Mogelijke kandidaten voor uitvoering diverse externe werkpakketten

Onderstaand overzicht geeft mogelijke partijen aan. Definitieve keuzes worden besproken met het Technisch Comissie voordat ze door Nobian worden vastgesteld.

WP 1: Dit werkpakket is reeds uitgezet. Hiervoor zijn benaderd: Fenix Consulting, Panterra Geoconsultants, TNO Applied Geoscience, Geostock, Institut für Gebergsmechanik (IfG Leipzig) en CCC. Nobian heeft voorstellen ontvangen van alle partijen behalve TNO omwille van een concurentiebedinging.

WP 2: Universiteit Utrecht, TU Delft, Institut für Gebergsmechanik (IfG Leipzig), TNO Applied Geoscience. University of Klaustahl.

WP 3 (per onderdeel):

- Microseismisch monitoring: Baker Hughes.
- Downhole Microseismic monitoring: Baker Hughes
- Downhole druk monitoring: Nobian (MDC / site)
- Downhole Temperature monitoring: n.t.b.
- Digital twin: Brouard Consulting (via loopt reeds via SMRI onderzoek)
- Well Engineering: Nobian Intern (aansturing workover)
- On-site technische support (o.a. beschikbaar voor bijvoorbeeld druk aflaten in het veld): productiedienst Nobian.
- Lokaal stakeholder management: Nobian intern.

WP 4: CCC (met name Brouard Consulting en smartTectonics)

WP 5: DEEP.KBB (semi-analytische methode); CCC (model based methode)

WP 6: nader te bepalen. Waarschijnlijk combinatie van extern (mechanisch) en intern (chemisch: Nobian R&D).

4. Onderzoeksvragen

“beschrijving van de onderzoeksvragen”

Hieronder worden in het kort de onderzoeksvragen per werkpakket beschreven. De vragen komen tot stand vanuit de beschrijvingen in de instemmingsbesluiten en de adviezen op de winningsplannen van Nobian. Om voor enkele werkpakketten en bredere markt en, internationale actieve consultants aan te kunnen spreken zijn de detailbeschrijving en onderbouwing voor de onderzoeksvragen voor WP 1 en WP 2 in het engels beschreven. Deze zijn opgenomen in de bijlage van dit document.

4.1. WP 1 (pekelinfiltratie studie):

Hoofddoel: Het onderzoeken of er een risico bestaat op pekel infiltratie in de lagen boven het steenzout door het vormen van hydraulische scheur vanuit afgesloten cavernes, en wat de eventuele effecten daarvan zouden zijn.

- Wat is de lengte van hydraulische scheuren die zouden kunnen ontstaan? En wat zijn dan andere eigenschappen die te verwachten zijn, zoals de opening (aperture), ruwheid en permeabiliteit?
- Wat is de kans op het ontstaan van een grootschalige hydraulische scheur (met voldoende lengte en opening zodat er een lekpad vanaf een afgesloten caverne tot buiten het zoutvoorkomen ontstaat)?
- Hoe vaak zouden breuken mogelijk opnieuw kunnen openen (als ze überhaupt ontstaan), met of zonder rekening te houden met helingseffecten?
- Wat zijn de lekkagevolumes die verwacht zouden worden in diverse scenario’s?
- Waar zou de pekel waarschijnlijk naartoe stromen in de bovenliggende lagen, in welke volumes en hoe kan het zich daar verspreiden en de effecten hiervan?

n.b. bij dit onderzoek wordt gebruik gemaakt van drukopbouw-curves vanuit het CCC.

4.2. WP 2 (dilatatiegedrag):

Hoofddoel: De fysieke condities waarbij steenzout lichtelijk doorlaatbaar wordt door het vormen van haarscheurtjes beter in kaart brengen en daar naast de spanningstoestand ook rekening houden met snellere kruip bij hogere temperatuur en de mogelijkheid tot herstel door precipitatie van steenzout in de haarscheurtjes.

- Wat zijn representatieve parameters voor de “dilatancy criterion” voor steenzout uit Zuidwending en Heiligerlee?
- Hoe wordt het criterium beïnvloed door de temperatuur?
- Hoe wordt het criterium beïnvloed door de vervormingssnelheid tijdens experimenten?
- In welke mate zijn de microscheurtjes weer te helen, en is de “dilatatie” omkeerbaar?
- Hoe werkt de vorming van microscheurtjes door naar het ontstaan van permeabiliteit?
- Hoe veranderen de microscheurtjes de Biot’s-coëfficiënt van steenzout?

4.3. WP 3 (veldtest):

Hoofddoel: De drukopbouw en evenwichtsdruk die verwacht worden van permanent afgesloten cavernes op basis van de modelberekeningen verifiëren in het veld

- Wat is de verwachte evenwichtsdruk van de cavernes?
- Is er additionele microseismiciteit bij de test-caverne te meten tijdens het opbouwen van druk?
- Hoe is de eventuele additionele microseismiciteit gekoppeld aan het drukverloop?
- In welke mate kunnen parameters voor permeatie afgeleid worden uit de veldtest?

Op basis van de verwachte evenwichtsdruk kan de bodemdalingsprognose (WP 5) bijgesteld moeten worden.

4.4. WP 4 (update caverne abandonment modellen):

Hoofddoel: Voorspellingen van de stabiliteit en integriteit van de cavernes in de toekomst heranalyseren en eventueel verbeteren naar aanleiding van de nieuw opgedane inzichten, waaronder die uit de voorgaande werkpakketten en realistische afsluitscenarios (zie 2.3.2).

- In welke mate komt het opbouwen van druk overeen met de voorspellingen van CCC (2024)?
- Is het nodig om de generieke wijze, zoals opgenomen in de winningsplannen van afsluiten aan te passen?
- Wat is de stabiliteit van de cavernes op lange termijn (tot aan 2250).
- Wat is de integriteit van de cavernes op lange termijn (tot aan 2250).

4.5. WP 5 (bodemdalingsprognose):

Hoofddoel: Voorspelling van de verwachte mate van bodemdaling, binnen een bandbreedte en verschillende technisch mogelijke scenario's.

Dit werkpakket wordt parallel opgezet voor het Heiligerlee-veld als het Zuidwending-veld.

- Wat is de bodemdaling in het veld, als gevolg van de diverse mijnbouwactiviteiten en de verwachte evenwichtsdruk in de afgesloten cavernes (op basis van eerdere WP's)?
- Wat is de prognose van de bodemdaling, uitgaande van de verwachte hoeveelheid kruip?
- Wat is de prognose van de bodemdaling, uitgaande van conservatief snelle hoeveelheid kruip?

N.b. bij dit onderzoek wordt gebruik gemaakt van kruipwetten zoals opgesteld door CCC, eventueel tussentijds bijgesteld als gevolg van tussentijdse resultaten uit WP 3 (met name digital twin).

4.6. WP 6 (opvulmateriaal):

Hoofddoel: Evalueren wat de eigenschappen zijn waar vulmateriaal aan moet voldoen om als effectieve mitigerende maatregel inzetbaar te zijn.

- Onder welke condities zal er eventueel sprake kunnen zijn van gedeeltelijke backfill?
- Wat zijn de mechanische eigenschappen van vulmateriaal onder de condities in de caverne?
- Wat zijn de eventueel chemische effecten op de kwaliteit van de pekel?

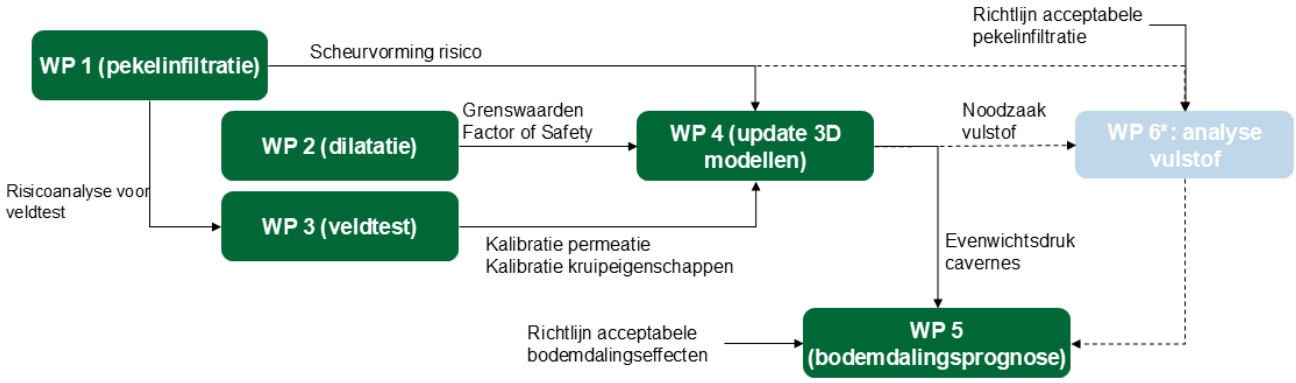
N.b. Om vast te stellen of backfill eventueel nodig zou kunnen zijn, zal eerst op basis van de (tussen)resultaten van de andere werkpakketten bekeken worden of en zo ja, bij welke cavernes, hier noodzaak toe is om eventuele onacceptabele langetermijn effecten te voorkomen. Waar sprake zou zijn van mogelijke toepassing, zal deze worden beoordeeld op onder meer tijdigheid/beschikbaarheid van materiaal, effectiviteit en de beheersbaarheid van eventuele met de backfill nieuw geïntroduceerde risico's.

Het vullen van cavernes kan een effect hebben op de mate van convergentie, en daarmee de hoeveelheid bodemdaling. Dit werk kan daarom als opvolgend werkpakket een herbeoordeling van de resultaten van WP 5 opleveren.

5. Interactie tussen werkpakketten

“Beschrijving van de wijze waarop de resultaten uit de onderzoeken zoals in voorschrift 1 en 2 worden meegenomen”

Hoewel dit voorschrift met name verwijst naar hoe het werk t.b.v. voorschriften 1 (WP 5) en 2 (WP 1) wordt meegenomen in de veldtest, is het ook mogelijk dat de resultaten vanuit het onderzoek dat onder voorschrift 3 (werkpakketten 2 (lab), 3 (veld) en 4 (model)) valt omgekeerd juist deze onderzoeken beïnvloeden. Hieronder volgt een overzicht daarvan.



Figuur 3, overzicht van interactie tussen de werkpakketten

In bovenstaand overzicht is externe input meegenomen, bijvoorbeeld als het gaat om wat een acceptatierichtlijn is voor bodemdaling en bodemdalingseffecten. De structuur die daarvoor wordt ingericht is opgenomen in Hoofdstuk 8.

6. Mijlpalen

“beschrijving van de mijlpalen die bij het onderzoek worden gehanteerd en de planning daarvan”

6.1. Overzicht van mijlpalen per werkpakket

6.1.1. WP 1 (pekelinfiltratiestudie):

- M1.1: volume van pekel dat de bovenliggende lagen kan infiltreren voor diverse scenario’s voor Heiligerlee (input mogelijke effectenstudie), oplevering: Q4 2026
- M1.2: volume van pekel dat de bovenliggende lagen kan infiltreren voor diverse scenario’s voor Zuidwending (input mogelijke effectenstudie), oplevering: Q4 2026:
- M1.3: rapportage fracturing studie Zuidwending en Heiligerlee, oplevering Q2 2027.

6.1.2. WP 2 (dilatatiegrens):

- M 2.1: Eerste samples in lab beschikbaar, Q1 2027.
- M 2.2: Eerste dilatatie grenswaarde op basis van experimenten, Q4 2027.
- M 2.3: Effecten van temperatuur en vervormingssnelheid op dilatatie en healing in beeld, Q2 2028
- M 2.4: Conceptueel model tussen mate van dilatatie, permeabiliteit en Biot’s coefficient, Q3 2028
- M 2.5: Rapportage dilatatiestudie oplevering Q1 2029

6.1.3. WP 3 (veldtest):

- M 3.1: Indiening Plan van Aanpak, Q3 2026
- M 3.2: Financial Investment Decision (FID) Nobian (na instemming Plan van Aanpak, bij voorkeur Q4 2026, maar afhankelijk van verloop instemmingsproces, deadline staat nog niet vast)
- M 3.3: Communicatie naar omgeving, Q1 2027
- M 3.4: Putinstallatie gereed voor hoge druk, Q2 2027
- M 3.5: Monitoring via glasvezel in werking, Q4 2027
- M 3.6: Eerste resultaten “digital twin”, Q2 2028
- M 3.7: Einde eerste monitoringsperiode, data naar WP 4.1, Q1/2 2030
- M 3.8: Einde tweede monitoringsperiode, data naar WP 4.2 en 4.3, Q2 2033

6.1.4. WP 4 (update 3D modellen):

- M 4.1: Tussentijdse validatie CCC-resultaten op basis van digital twin t.b.v. afsluitplan, Q3 2030
- M 4.2: Vergelijking drukopbouw veldtest met CCC 2024 modellen, oplevering Q3 2033.
- M 4.3: Rapportage update afsluitstudie, inclusief generieke wijze van afsluiten, stabiliteit/integriteit van cavernes en langetermijn bodemdalingsprognose vanuit computersimulaties. Oplevering 2033 (voor 18 november).

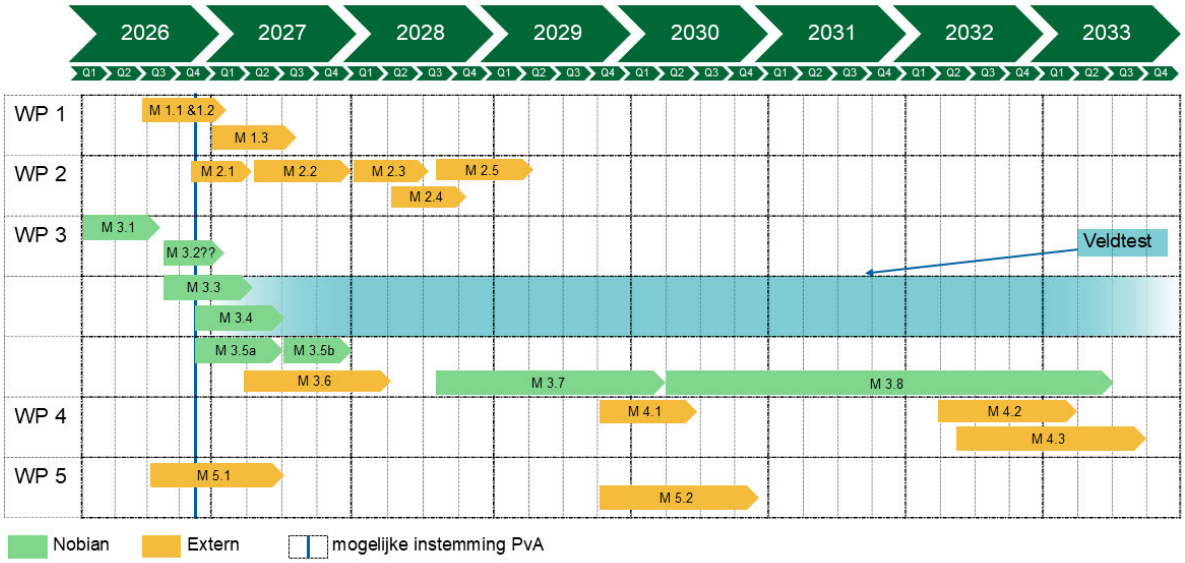
6.1.5. WP 5 (bodemdalingsprognose):

- M 5.1: Bodemdalingsprognoses van technisch mogelijke scenario’s (Q2 2027)
- M 5.2: Bodemdalingsprognose via semi-analytische of numerieke methode (Q3 2030)
- M 5.3: Bodemdalingsprognose via semi-analytische of numerieke methode (Q3 2035)

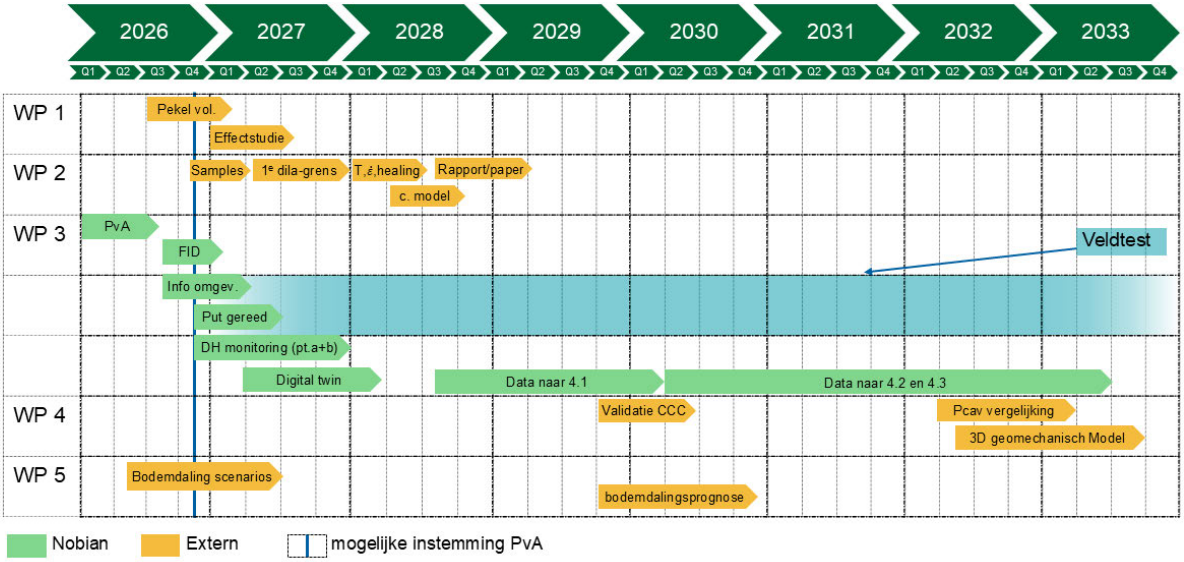
6.1.6. WP 6 (optioneel, analyse vulstof):

Dit werkpakket is gelinkt aan voorwaarde 4 uit het instemmingsbesluit. Hierin zijn geen deadlines opgenomen. Dit werkpakket wordt pas geactiveerd als uit eerdere werkpakketten blijkt dat de risico’s van afsluiten niet acceptabel zijn, en opvulling nodig is als mitigerende maatregel. Om dit te bepalen werkt Nobian voor diverse afsluitscenarios de pekelinfiltratie en bodemdaling uit, mede op basis van informatie uit de andere werkpakketen. Om deze reden zijn er geen milestone-deadlines opgenomen in dit plan.

6.2. Overzicht planning mijlpalen



Figuur 4, overzicht van mijlpalen in dit Plan van Aanpak. Deze tijdslijn is geschreven op basis van de 8 jaar die in het instemmingsbesluit opgenomen is voor de veldtest. Milestone 4.1 is hierin opgenomen om de op dat moment beschikbare informatie mee te nemen in het afsluitplan (i.e., "plan voor het veilig afsluiten van de cavernes", conform instemmingsbesluit artikel 4), terwijl dit plan van aanpak een langere doorloop beschrijft.



Figuur 5, Vergelijkbaar met bovenstaand figuur maar met verkorte beschrijving in plaats van Milestone nummers

7. Veldtest

"een beschrijving van de uit te voeren veldtesten en de planning van de uitvoering daarvan"

7.1. Beschrijving

7.1.1. Geschikte caverne

In het kort komt de veldtest erop neer dat Nobian de druk van de caverne op natuurlijke wijze zal laten oplopen, terwijl de druk over tijd heen wordt gemonitord. Hiervoor is een caverne nodig die al enige tijd stil staat en niet in gebruik is voor productie. De pekel in een dergelijke caverne is dan voldoende opgewarmd. Als gevolg daarvan is de drukopbouw door thermische effecten voldoende beperkt. In de fase tussen actieve winning en permanent afsluiten worden alle voorbereidingen getroffen zodat de caverne goed afgesloten kan worden. Deze fase staat ook bekend als de soft shut-in periode. Door een caverne in te zetten die al enige tijd in de soft shut-in fase gestaan heeft komt de veldtest zo goed mogelijk overeen met de generieke wijze van afsluiten die Nobian ook in de winningsplannen opgenomen heeft: permanent (hard) afsluiten van de cavernes.

Nobian heeft twee cavernes in het Heiligerlee-veld beschikbaar voor deze veldtest: HL-B en HL-E. Deze cavernes zijn qua dieptebereik en vorm van de cavernes representatief voor het type cavernes van Nobian in Noord-Nederland, voor beide velden. HL-B is zo'n 9 jaar uit productie en HL-E 23 jaar. De soft shut-in fase is in het generieke plan van afsluiten aangenomen op basis van CCC-modellen, waarin dit gemodelleerd is als een periode van 30 jaar na actieve productie. Echter staat de optimale periode nog niet vast en kan deze op basis van dit onderzoek en caverne-specifieke aspecten bijgesteld worden.

HL-B is om de volgende redenen gekozen als best beschikbare caverne voor de veldtest:

1) De bovengrondse locatie ligt op het terrein van Nobian, waarmee eventuele overlast naar de omgeving geminimaliseerd wordt
2) De caverne geeft theoretisch snellere drukopbouw omdat het thermische effect nog actiever is t.o.v. HL-E, waardoor de tijd tot de caverne in het voor permeatie relevante drukbereik bereikt is. De veldtest daarmee naar verwachting eerder resultaten zal opleveren
3) Een kortere "soft shut-in" periode leidt tot minder totale bodemdaling in de lange termijn en is daarom het onderzoeken waard
4) Praktische overwegingen: voor monitoring is er elektriciteit beschikbaar en aansluitingen voor microseismiche monitoring.

Een aantal belangrijke eigenschappen voor de caverne HL-B zijn in onderstaande tabel opgenomen.

Caverne eigenschap	HL-B
Caverne hoogte	531.3 m
Dak diepte	745.0 m
Sump diepte (max meetbaar in sonar)	1276.3 m
Caverne volume	4.26 Mm^3
Indicatieve diameter	105 m
Einde uitloogfase	2017
Temperatuurverschil indicatie	16 °C

Tabel 1, eigenschappen cavernes veldtest

Andere cavernes in het Heiligerlee-veld vallen om diverse redenen af. Dit zijn onder andere cavernes waaruit nog zout wordt gewonnen en cavernes die in de loop van de jaren een afwijkende vorm hebben gekregen. Zo staat caverne HL-H al enige tijd stil, maar is deze door de aanwezigheid van de anhydrietbank in het

cavernebereik en door de cavernevorm niet representatief voor een doorsneecaverne in Noord-Nederland. Ook caverne HL-G heeft een niet-representatieve vorm. Cavernes HL-A, -C en -D zijn nog te kort buiten productie en daarom is er nog relatief veel drukopbouw door thermische effecten te verwachten. Voor cavernes HL-A en -D geldt bovendien dat ze relatief dicht bij de flank van het zoutvoorkomen zitten. Hoewel deze volgens het CCC-rapport geen problemen zouden moeten opleveren na afsluiten van de cavernes, zal Nobian deze cavernes pas afsluiten als uit de veldtest (bij andere cavernes) de prognoses van CCC gevalideerd kunnen worden. Dit geldt voor alle cavernes in dit veld.

In het Zuidwending-veld zijn alle cavernes nog in bedrijf op één enkele na: ZW-1. Echter ligt deze caverne relatief dicht bij de flank van het zoutvoorkomen waardoor deze mogelijk grotere risico's op pekelinfiltratie oplevert. Dat risico wil Nobian nu niet nemen. Daarnaast kan een dergelijke veldtest mogelijk minder representatieve resultaten voor de rest van het veld opleveren.

Nobian richt zich dus eerst op de grote groep cavernes waar HL-B representatief voor is. Daarna gaat Nobian de opgedane kennis en ervaring toepassen op de cavernes die op enig punt afwijken van deze groep. Voor deze cavernes (ZW-1, HL-A, HL-D, HL-G en HL-H) wordt te zijner tijd een caverne-specifiek afsluitplan gemaakt. Ze worden pas afgesloten als het CCC-model gevalideerd is met metingen uit het veld.

7.1.2. Voorbereiding in de omgeving

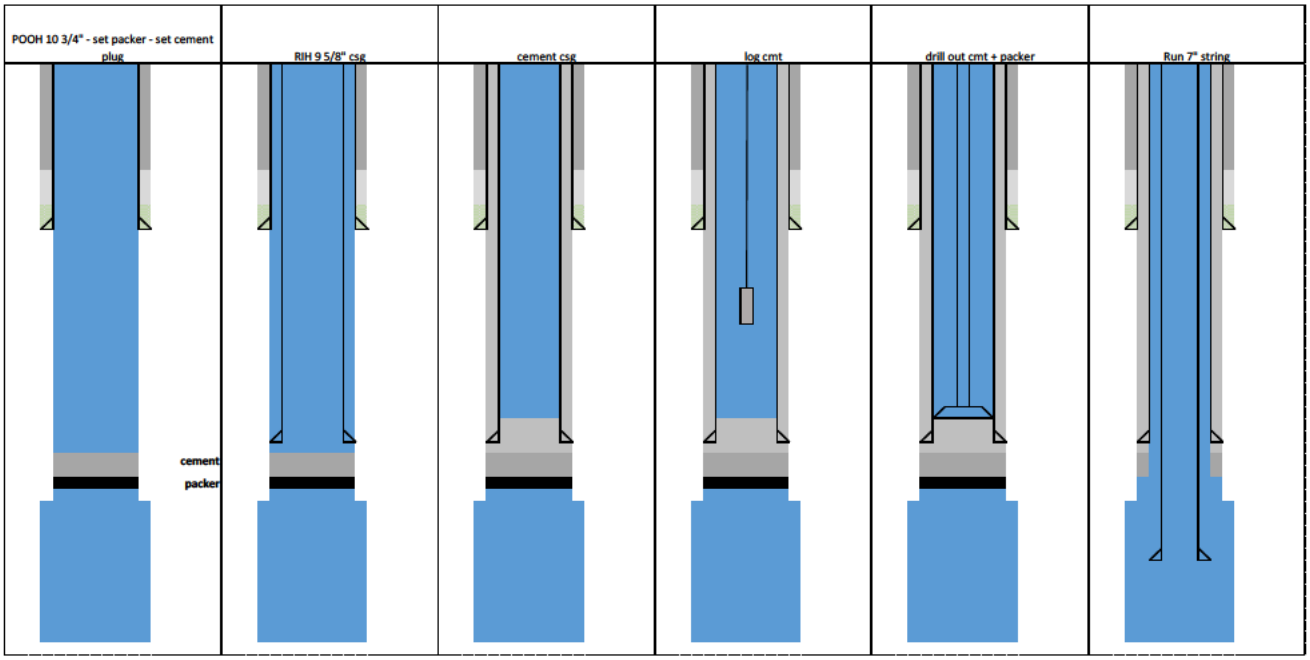
Na instemming van de minister met dit plan informeert Nobian de omgeving zo snel als redelijkerwijs mogelijk is. Daarbij zet Nobian verschillende communicatievormen in, waaronder brieven naar omwonenden en bericht(en) via de NobianApp (of BouwApp). Daarnaast biedt Nobian een mogelijkheid tot keukentafelgesprekken waarbij de verschillende aspecten van dit plan toegelicht kunnen worden. Nobian werkt met veld-specifieke "stakeholder managers". Dit zijn medewerkers van Nobian die laagdrempelig benaderd kunnen worden met vragen. Ten slotte organiseert Nobian elke woensdagochtend een inloopochtend waar de plannen ook nader toegelicht kunnen worden. Daarnaast behoren, afhankelijk van de beoordeling van omgevingsmanagement, ook een open dag en/of een informatieavond tot de mogelijkheden, al dan niet in combinatie met andere onderwerpen.

7.1.3. Voorbereiding in het veld

Dat vraagt om een putinstallatie (verbuizing + wellhead) die geschikt is om een relatief hoge druk aan te kunnen. Op basis van CCC-modellen wordt een maximum cavernedruk ten hoogte van het cavernedak van zo'n 220-230 bar verwacht. Dit vertaalt zich in een druk aan de putkop (wellhead) in de orde grootte van 130 – 150 bar, uitgaande van een kolom water. De reden hiervoor is kristallisatie van zout vanuit de pekel te voorkomen, omdat dit een blokkade in de put kan vormen. Water heeft een lagere dichtheid dan pekel, waardoor de druk aan de putkop conservatief hoog ingeschat is.

Daarnaast wordt ervoor gekozen om het diepste punt van het verbuisde gedeelte zo diep mogelijk te plaatsen. Dit heeft meerdere redenen. Ten eerste wordt ervoor gezorgd dat de afdichting van de verbuizing in optimale staat is, omdat er gebruik gemaakt wordt van nieuw, modern cement. Dit is mogelijk omdat de verbuizing voor zoutwinning relatief brede buizen zijn. Omdat zoutwinning niet langer voorzien is, is deze ruimte niet langer nodig voor een productieverbuizing en kan een kleinere binnenbuis ingecementeerd worden.

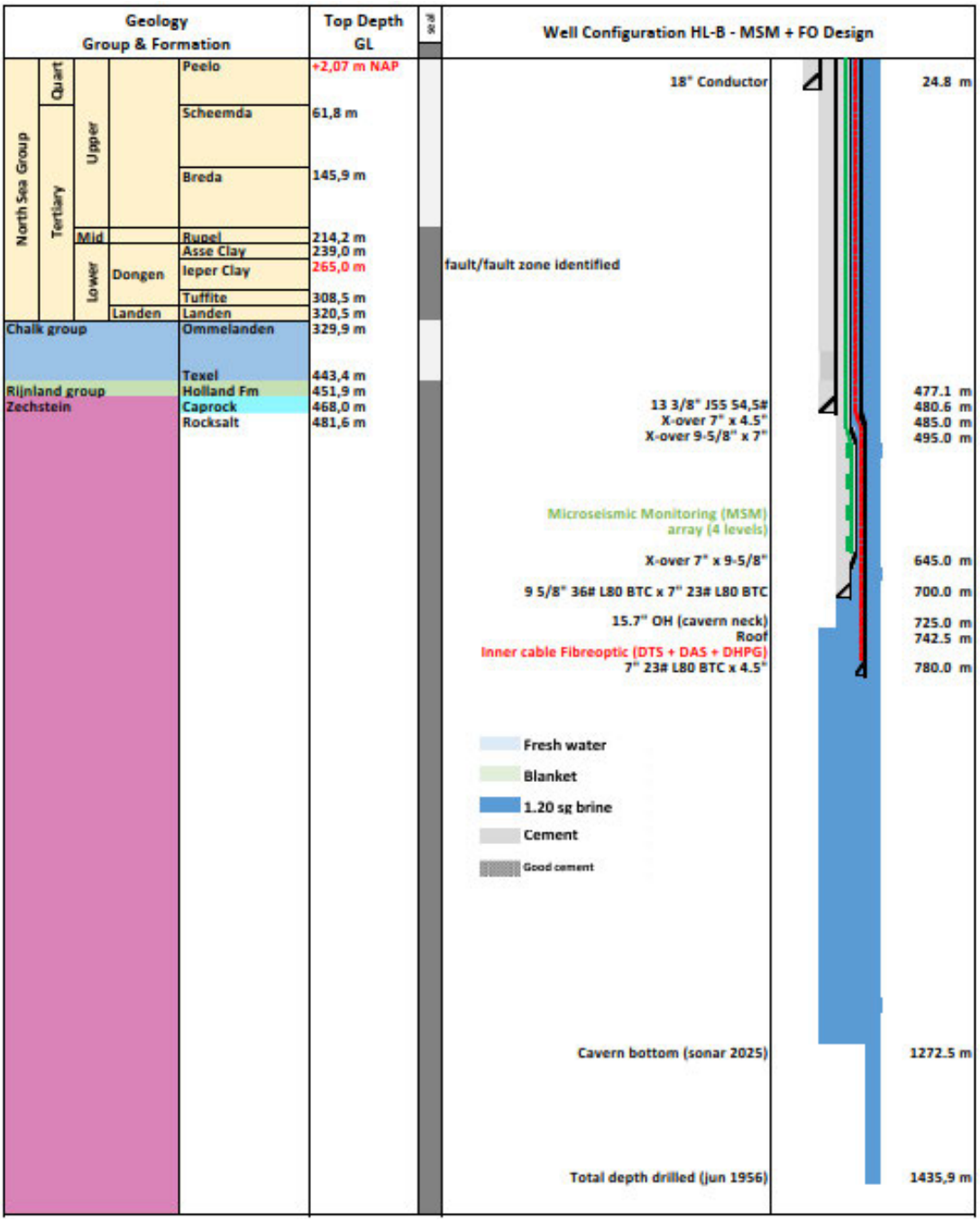
De tweede reden is dat er zo weinig mogelijk "open hole" lengte is. Het diepste verbuisde gedeelte is immers nog "beschermd" voor hoge pekeldruk door de sterkte van het staal + cement. Het gesteente daar vlak onder heeft de minste hoeveelheid bovenliggend gesteente, en is daarom het zwakste punt vanuit het oogpunt van mogelijke hydraulische scheurvorming.



Figuur 6, Schematische weergave van de wijzigingen aan de putinrichting om de diepst gecementeerde verbuizing dieper te zetten.

De wijze waarop er een dunnere gecementeerde binnenbuis kan worden aangebracht is door eerst een open hole plug te plaatsen, en daarna cement erbovenop te storten en laten uitharden zodat de packer+cement goed vastzitten en een soort brug vormen boven de caverne. Daarna kan er nieuwe verbuizing geplaatst worden en kan cement achter de verbuizing stromen, net als bij gebruikelijke cementering van verbuizing. Door de plug valt dit cement niet de caverne in. Daarna wordt bekeken of de verbuizing goed geplaatst is. Als blijkt dat dit het geval is, wordt de cementplug + packer uitgeboord en kan de loshangende verbuizing ter voorkoming van kristallisatie (de “suspension completion”) erin gehangen worden.

Aan de buitenkant van de nieuw te plaatsen verbuizing kunnen enkele microseismische monitoringsstations worden gemonteerd (zie figuur 5), die vervolgens na cementering vast komen te zitten met goed akoestisch contact met het omringende gesteente (indirect via het cement). De datakabel wordt uiteindelijk door de wellhead geleid via drukbestendige koppelingen. Zo kan op het aardoppervlak zowel de microseismische data ontvangen en verwerkt worden als de glasvezelkabel gebruikt worden voor diverse monitoringstechnieken. De putkop is ontworpen op een maximale druk van 5.000 Psi: 344,7 bar (primaire barrière). Van de verbuizing die onderdeel van de primaire barrière vormt (9 5/8” en 7”) heeft een de zwakste schakel een “burst rating” van 353 bar (9 5/8” verbuizing). Daarmee zijn de barrières van een hogere drukklasse dan de druk dan de maximale druk die verwacht wordt tijdens de test op basis van CCC 2024 resultaten. Nadere technische specificaties worden opgenomen in het job-plan voor de workover.

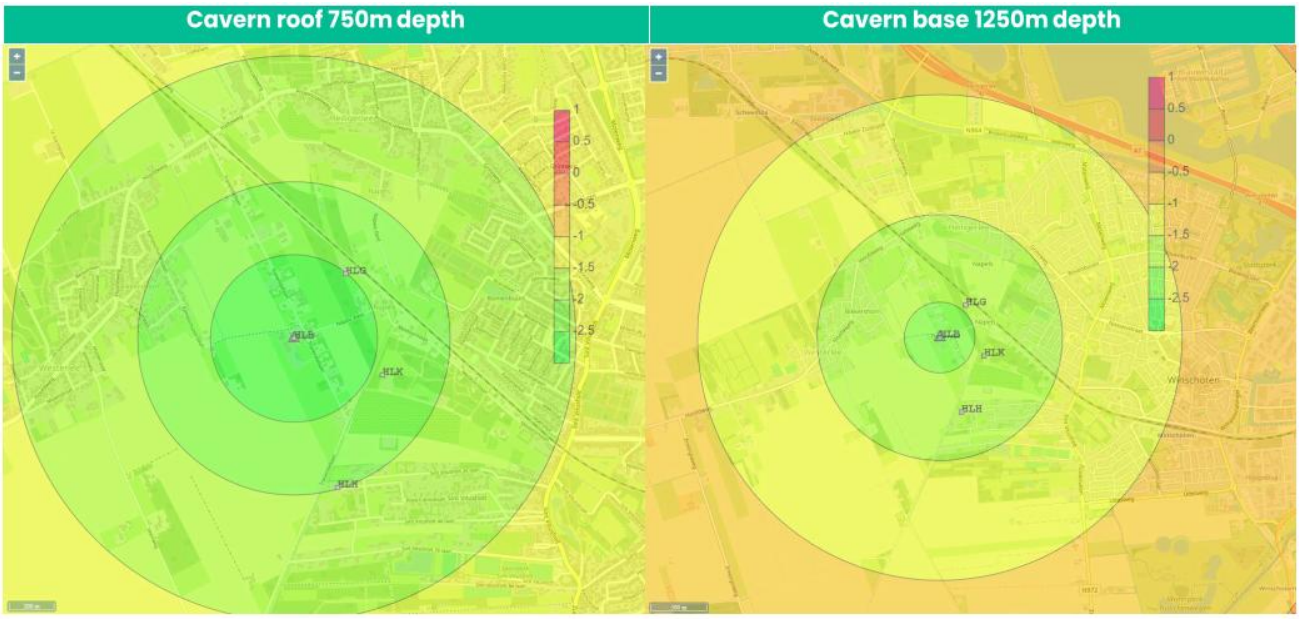


Figuur 7, schematische opbouw put HL-B met de microseismisch monitorings stations op diepte (microseismic monitoring array) en een glasvezelkabel langs de suspensieverbuizing. Gebruikte afkortingen: MSM (microseismic monitoring) DTS (distributed temperature sensing), DAS (distributed acoustic sensing), DHPG (downhole pressure gauge)

7.1.4. Verbeterde microseismische monitoring met downhole sensor array

Om de detectie van eventuele scheurvorming aan het cavernedak zo groot mogelijk te maken, zullen microseismische meetstations in het boorgat worden geplaatst. Deze kunnen dan in het huidige gedeelte “open hole” geplaatst worden wat nu nog tussen de 480 en 650 m diepte zit, waar later verbuizing gecementeerd wordt. Na de workover zitten deze extra stations dan vast in het cement achter de nieuwe verbuizing. Het cement zorgt voor een goede akoestische koppeling met het omringende gesteente, zoals dit nu ook al het geval is met de ondiepe boorgatstations. Door meerdere meetpunten op verschillende dieptes te hebben, wordt de dieptebepaling van een eventueel microseismisch event zo nauwekeurig mogelijk. Maar omdat de stations vrijwel geheel langs een loodrechte lijn naar beneden liggen, is het niet mogelijk om iets te zeggen over de horizontale locatie (via triangulatie). Echter, de meetstations op diepte worden geïntegreerd in het bestaande microseismische meetnet. Wanneer events ook door de oppervlaktestations van het bestaande meetnet worden opgepikt (magnitude of completeness M_w = - 0.7), is nauwkeurige horizontale locatiebepaling wel mogelijk. Door middel van doordachte plaatsing van de dieptesensoren, doet Nobian een best effort om ook de horizontale richting van herkomst van lichtere events te bepalen.

Nobian heeft een desktopanalyse laten uitvoeren door BakerHughes, het bedrijf dat op dit moment ook al de uitvoering van de microseismische monitoring verzorgt. In de analyse is bekeken welke magnitude er naar waarschijnlijkheid gemeten kan worden. Hierbij is gebruik gemaakt van niet-publieke gegevens van andere klanten met een vergelijkbare opstelling en of de mate van omgevingsgeluid (“noise”) vergelijkbaar of hoger is. Deze analyse laat zien dat rondom het cavernedak een event met een magnitude van M_w=-2.5 en hoger opgepikt zou moeten kunnen worden. Deze analyse kan later, na een reeks van gemeten events voor deze specifieke locatie, worden getoetst. Dit hangt bijvoorbeeld af van in welke mate de bovengrondse geluiden doorwerken naar de diepte (zoals de bekende trillingen van het pompgebouw nabij HL-B), en hoe goed de koppeling van het akoestisch signaal vanuit het omringende steenzout via het cement naar de meetstations is. De desktop-analyse geeft vertrouwen dat er een effectief monitoringssysteem gerealiseerd kan worden omdat BakerHughes dit reeds bij andere operators gerealiseerd heeft.



Figuur 8, verwachte gevoeligheid meetnet, uitgedrukt in magnitude (schaal M_w =-3, groen tot M_w=1.0, rood) die gemeten kan worden op basis van indicatieve berekeningen van vergelijkbare installaties (voorlopige inschattingen BakerHughes). Links voor het geval van 750 m diepte (cavernedak bereik), rechts: ca. 1250 m diepte caverne diepte bereik (let op dat de kaartschaal hier iets groter is, kleurschaal is wel gelijk).

De installatie geeft volgens de experts van BakerHughes naar verwachting een betere gevoeligheid dan met bijvoorbeeld een glasvezelinstallatie bereikt zou kunnen worden. Bovendien is hiermee een mogelijkheid om van events met een lage energie de locatie vast te stellen binnen een bepaalde bandbreedte. Door op deze manier de microseismiciteit te meten kan de data van de extra stations tevens worden meegenomen in de huidige protocollen van het microseismische monitoring, aanvullend op de huidige microseismiciteit die in het veld al gemeten wordt sinds 2019.

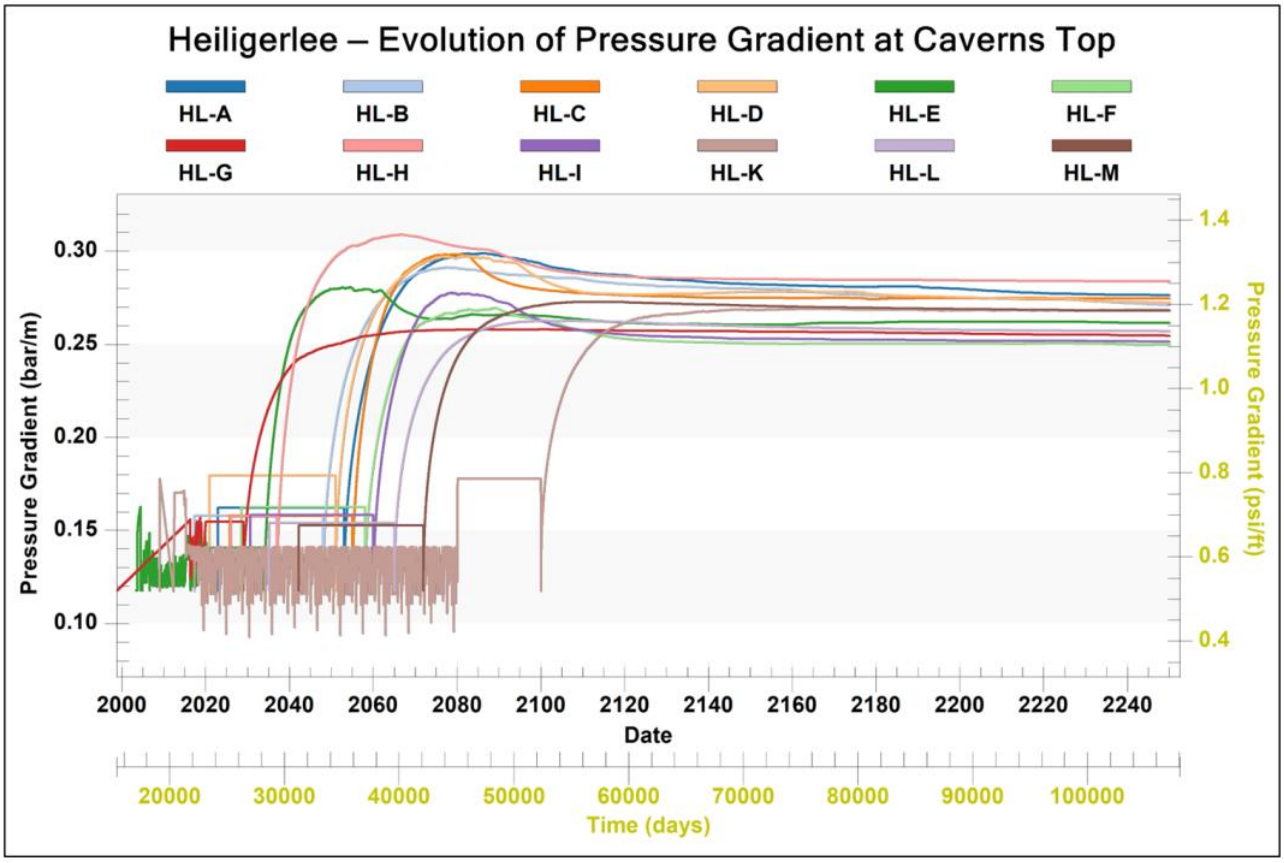
7.1.5. Druk- en temperatuurmeting in de caverne

Aan de binnenkant van de nieuw te cementeren verbuizing wordt een suspensiestring gehangen. Deze wordt gebruikt om periodiek zoet water door de verbuizing te spoelen om zo kristallisatie binnen de verbuizing te voorkomen. Dit zorgt ervoor dat de druk in de caverne meetbaar blijft aan de wellhead. Daarnaast blijft er daardoor toegang naar de caverne om de afmetingen ervan te kunnen meten (d.m.v. een sonar log). De druk aan de wellhead kan echter lichtelijk beïnvloed worden door weersafhankelijke effecten. Zo is de ervaring van Nobian, dat druk iets kan toenemen als de zon op de wellhead staat, en dan gedurende de nacht weer afneemt. Deze dag-nacht cyclus is niet geobserveerd bij metingen die in het cavernebereik uitgevoerd worden. Om deze reden wordt de druk in het cavernebereik gemeten.

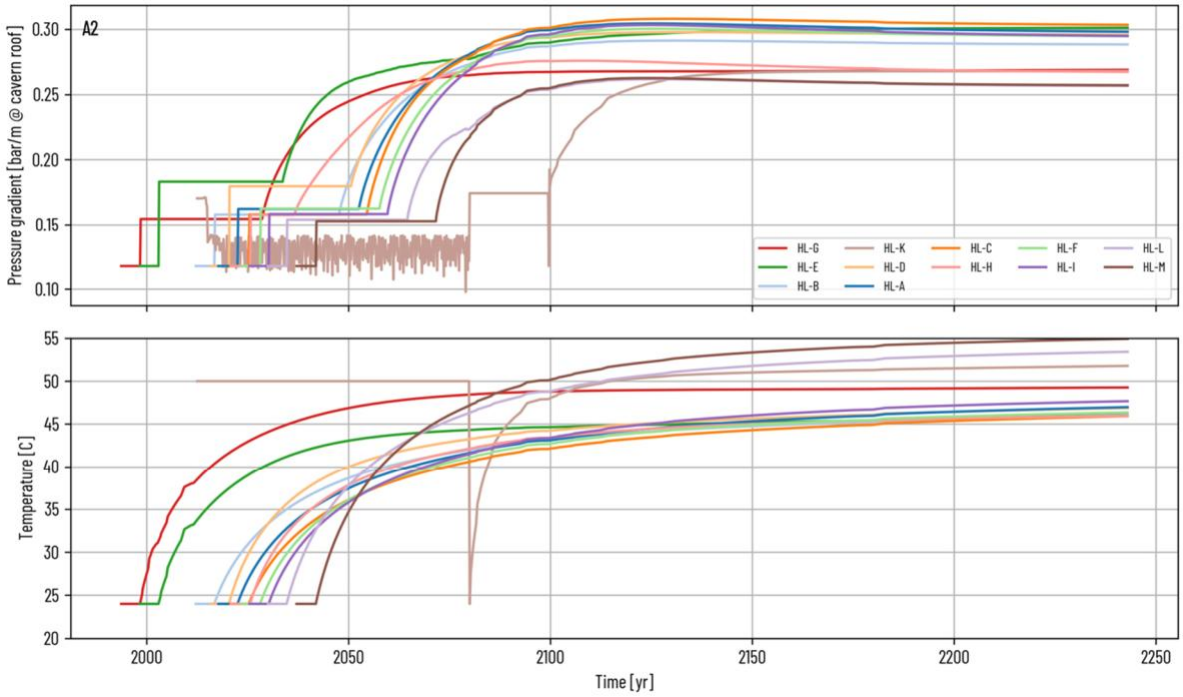
Omdat de cavernes nog niet volledig in temperatuurevenwicht zijn met hun omgeving, is een gedeelte van de drukopbouw toe te schrijven aan het temperatuurseffect. Om dit effect goed te kalibreren is het ook nodig om de temperatuur van de caverne op diepte te monitoren. Door gebruik te maken van een glasvezelkabel langs de suspensiestring, kan de temperatuur van dit traject gemonitord worden. Deze manier van temperatuur meten staat bekend als Distributed Temperature Sensing, of DTS. De methode werkt in een notendop als volgt. Aan het begin van de kabel wordt een laserpuls naar de kabel ingestuurd. Onderweg komt de puls in de kabel diverse impuriteiten tegen waardoor een klein gedeelte van het licht teruggestuurd wordt naar het beginpunt, waar dit gemeten wordt. De tijd waarin de puls terugkomt kan worden geregistreerd en met de lichtsnelheid in de glasvezel kan vervolgens berekend worden waar de reflectie(s) plaatsvonden. De frequentie (of kleur) van het gereflecteerde licht is dan grotendeels hetzelfde als dat van de oorspronkelijke laser, maar een klein gedeelte is veranderd door interactie met het materiaal (de glasvezel) zelf. Door de lichtsterkte van deze andere frequenties te meten en te vergelijken kan de temperatuur van een specifiek punt bepaald worden. Daarnaast kan deze kabel in de toekomst ook een optie bieden om microseismiciteit te meten, maar daarvoor zijn nog verdere ontwikkelingen nodig.

7.1.6. Verwachte drukopbouw

Het CCC-rapport laat zien dat vlak na afsluiten van de cavernes de druk in een periode van 5-10 jaar richting een evenwichtsstand toe beweegt, maar dit nog niet zal bereiken. De drukopbouw zal qua snelheid over de tijd afzwakken tot een evenwichtsstand bereikt wordt (zie onderstaand figuur vanuit het CCC-rapport). Als gevolg hiervan bestaat er een reële mogelijkheid dat ten tijde van de deadline van het instemmingsbesluit (5 jaar na inwerkingtreding) er nog geen sprake is van een evenwichtsstand. Maar de snelheid waarmee de druk opbouwt kan wel gemonitord worden en vergeleken worden met voorspellingen van het CCC.



Figuur 9, Verwachte drukopbouw (CCC 2025, cavern scale model)



Figuur 10, opbouw van druk en temperatuur gedurende de levensloop van de cavernes vanaf ca. 2000 tot 2250 (CCC 2024, dome scale model)

Nadat de putconfiguratie is aangepast, kan de caverne op natuurlijke wijze verder druk opbouwen. Daarbij kan de druk maar voor een deel kunstmatig, via het inpompen van bijvoorbeeld pekel, opgevoerd worden. Hiervoor maakt Nobian gebruik van een industriestandaard van 0.18 bar/m aan de casing-schoen voor de maximumdruk tot waar dit kan. Dit is de maximum druk waarbij het zeer onwaarschijnlijk is dat er haarscheurtjes in het steenzout ontstaan. De druk verder opvoeren kan technisch wel, maar zou de veldtest waarschijnlijk negatief beïnvloeden.

De snelheid waarmee de druk verandert, kan namelijk gevolgen hebben op de wijze waarop het steenzout reageert. Een snelle schoksgewijze verandering kan ervoor zorgen dat er haarscheurtjes in het steenzout ontstaan. Gebeurt dit langzaam dan kan het zijn dat de haarscheurtjes niet ontstaan, omdat de bekende plastische vervormingsmechanismen in het steenzout (dislocation creep en pressure solution creep) genoeg tijd hebben om de vervorming op te vangen door permanente vervorming van het steenzout. Om het effect van vervormingssnelheid op de kans op scheurvorming (dilatatie) nader in kaart te brengen is een laboratorium-studie in werkpakket 2 voorzien.

Het CCC-rapport laat zien dat de vervormingssnelheden aan het cavernedak relatief langzaam zijn. De verwachting is daarom dat de plastische processen in het steenzout de overhand hebben, en effectief genoeg zijn zodat er slechts beperkt haarscheurtjes ontstaan, waarbij naar verwachting geen scheurvorming zal optreden. Maar om in het veld zo realistisch mogelijk te kunnen testen moet de druk daarom op natuurlijke wijze omhooggaan, en kan de druk niet met behulp van pompen opgevoerd worden. Daarnaast zal Nobian pas de druk laten oplopen tot boven de 0.18 bar/m grens als er sprake is van formele instemming op dit plan, en de omgeving geïnformeerd is.

7.1.7. Monitoring

Het primaire doel van de seismische monitoring is het vaststellen van indicaties voor scheurvorming. Daarnaast kan het netwerk worden gebruikt om risico's van pekelindringing te beperken. Nobian maakt in het veld al gebruik van microseismische monitoring om signalen van mogelijke scheurvorming te detecteren. De vraag is echter of bij dergelijke scheurvorming ("opening fractures") voldoende energie vrijkomt om met het huidige netwerk te worden waargenomen. Daarom zijn extra stations in de nabijheid van het cavernebereik voorzien (zie 6.1.3). Ervaring uit een eerdere (net iets andere) veldtest nabij Etzel in Duitsland heeft laten zien dat geofoons aan de suspensiestring enkele events hebben gemeten. Deze events correleerden bovendien in de tijd met veranderingen in de drukopbouw.

Een eenvoudig stoplichtsysteem, zoals Nobian de afgelopen jaren gebruikte voor de integriteitsmonitoring van cavernes, is hiervoor niet goed toepasbaar. Seismiciteit kan namelijk een aanwijzing zijn voor scheurvorming, maar geeft tegelijkertijd relevante informatie voor de interpretatie van het gedrag van de caverne. Als seismiciteit optreedt en de druktoename daarbij langzamer verloopt dan verwacht, kan dat wijzen op het ontstaan van permeabele lekpaden. Dat vraagt om extra aandacht voor en nadere beoordeling van de druktrend van de cavernes.

Mocht er sprake zijn van ordes van grootte meer events dan gebruikelijk, en/of als er een opwaarts patroon in de locatie van de trillingen waargenomen wordt, dan kan dit een indicatie zijn dat scheurvorming propageert naar ondiepere lagen. In dit geval kan er alsnog voor gekozen worden om de druk in de caverne te verminderen door pekel af te laten. In een dergelijk geval kan het aflaten op korte termijn gebeuren.

Nobian gaat er vanuit dat de uitvoerder van de microseismische monitoring Baker Hughes zal blijven, gezien de ervaring met deze partij sinds de start van het monitoren. De data van de nieuw te installeren downhole sensor array zullen als extra stations worden meegenomen. Als er op het monitoringsnetwerk sprake is van een "trigger" (een meting boven een bepaalde grenswaarde) op meerdere stations wordt er een automatische analyse gestart om te onderzoeken of er sprake is van een microseismisch event. Dit zal dan wel opnieuw ingericht moeten worden met een zekere periode om van de events te leren, omdat de boorgatsensoren waarschijnlijk gevoeliger zijn door minder omgevingsgeluid dan de huidige stations. Deze periode is vergelijkbaar met het inregelen van een nieuw netwerk waar de omgevingsruis bepaald moet worden. Echter is het dan hier zo dat de huidige microseismische monitoring in parallel actief zal blijven.

7.1.8. Tussentijdse modellen (digital twin)

Tijdens de drukopbouw wordt belangrijke informatie uit de veldtest opgehaald, nog voordat de druk een evenwichtsstand bereikt. De drukopbouw kan verder en met behulp van de verzamelde date gesimuleerd worden in geomechanische computermodellen. Vervolgens kunnen eventuele verschillen tussen de daadwerkelijke en gesimuleerde drukopbouw gebruikt worden om de computersimulatie iets bij te stellen, en te kijken of het verschil kleiner is. Op deze manier kan tijdens de veldtest een soort "digitale tweeling" (digital

twin) gebouwd worden. In deze digitale tweeling kunnen parameters veranderd worden om zo meer inzicht te krijgen in het permeatiegedrag. Daarmee wordt bedoeld om in kaart te brengen wanneer het steenzout makkelijker pekel kan doorlaten (permeabiliteit) als functie van de pekeldruk ten opzichte van de minimum spanningstoestand in het zout.

Deze digital twin modelling heeft Nobian in een ander onderzoeksproject reeds aanbesteed aan Brouard Consulting (tevens onderdeel van CCC-team). Dit deel-werkpakket (onderdeel van WP 3) zal worden opgestart zodra er velddata is om mee te vergelijken. De methode is vergelijkbaar met de berekening van pressure solution creep op basis van velddata, wat uitgevoerd is bij caverne ZWD-A5 (Brouard et al., 2023, CCC 2024). In dat werk werden parameters voor pressure solution creep systematisch veranderd totdat er een best mogelijke fit ontstond tussen velddata en simulatie. In deze nieuwe scope worden de parameters rondom permeatie systematisch veranderd.

7.1.9. Verwerking veldtest (WP 4)

Nadat enkele jaren van drukopbouw in de caverne (3 à 4 jaar) zal de binnengekomen data worden gebruikt om te vergelijken met de modelresultaten van CCC, en zo eventueel de drukopbouw te verifiëren. De verificatie van de evenwichtsdruk zal zeer waarschijnlijk niet kunnen omdat deze in het tijdsbestek niet bereikt is. De nieuwe informatie waarmee vergeleken kan worden gaat met name over het drukbereik waar de druk hoger dan de 0.18 bar/m limiet gaat. Resultaten vanuit de digital twin (6.1.6), en dan met name de veldtest gebaseerde permeatiecurve kunnen gebruikt worden in de CCC modelcodes om zo de voorspellingen van de langetermijn effecten te verbeteren. In dit werk kunnen vervolgens ook de resultaten van de fracturing studie (WP 1) en het verbeterde dilatatiecriterium (WP 2) worden meegenomen. Een beter inzicht in de evenwichtsdruk kan leiden tot een update van de bodemdalingsprognose (WP 5).

Als uit de test en verwerking van de date zou blijken dat de generieke wijze van (hard) afsluiten onacceptabele risico's met zich meebrengt met betrekking tot pekelinfiltratie in de ondiepe ondergrond, kan werkpakket 6 in werking treden. Hierin kan dan onderzoek gedaan worden naar de effectiviteit van vulmaterialen op het risico van pekelindringing en tevens gekeken worden naar de eventuele chemische effecten. Daarnaast kan bijvoorbeeld gedacht worden aan de mate waarin het materiaal compacteert en aan een sterkte-analyse om daarmee te bekijken in hoeverre de kruip in de caverne beperkt kan worden.

7.2. Externe communicatie tijdens test

Nobian zal gedurende de voorbereiding, uitvoering en afronding van het afsluitonderzoek en de veldtest op transparante en proactieve wijze communiceren over de voortgang, relevante ontwikkelingen en resultaten van het onderzoek. Daarbij wordt aangesloten bij de bestaande participatie- en communicatieaanpak, gericht op het tijdig, begrijpelijk en zorgvuldig informeren en betrekken van de omgeving en andere relevante stakeholders.

De communicatie richting de omgeving en bewoners vindt plaats via een combinatie van kanalen. Zo worden onder meer de volgende communicatiemiddelen ingezet:

- de NobianApp (of BouwApp);
- de website, binnen de omgeving over zoutwinning;
- berichtgeving via lokale en regionale media;
- gerichte bewonerscommunicatie, zoals brieven of mailings;
- informatie- en inloopbijeenkomsten, die op relevante momenten in het proces worden georganiseerd.

De inzet en frequentie van deze middelen worden afgestemd op de fase van de veldtest en de aard van de ontwikkelingen, zodat stakeholders steeds op een passend moment en met relevante informatie worden geïnformeerd.

Naast deze algemene communicatiekanalen blijft Nobian nadrukkelijk inzetten op laagdrempelig en persoonlijk contact met de omgeving. De omgevingsmanager van Nobian fungeert hierbij als vast aanspreekpunt en is doorlopend benaderbaar voor vragen, signalen en zorgen vanuit bewoners en andere stakeholders. Dit gebeurt onder andere via:

- reguliere inloopspreekuren;
- keukentafelgesprekken met direct omwonenden;

- individuele en collectieve contacten met belanghebbenden, o.a. mogelijkheid om een bezoek te brengen aan de veldtest

Op deze wijze zet Nobian in op een doorlopende dialoog met de omgeving, waarbij ruimte is voor vragen en toelichting.

Naast de communicatie met bewoners en lokale stakeholders zorgt Nobian voor een structurele en tijdige terugkoppeling richting bestuurlijke en ambtelijke stakeholders. Dit vindt plaats via bestaande overlegstructuren met onder andere Provincie Groningen, de gemeenten Pekela en Veendam, het Waterschap en het ministerie van KGG. Binnen deze overleggen worden relevante ontwikkelingen, voortgang en onderzoeksresultaten actief gedeeld, zodat betrokken overheden hun rol adequaat kunnen vervullen.

Indien zich relevante gebeurtenissen, afwijkingen of nieuwe inzichten voordoen, zal Nobian deze tijdig en transparant communiceren naar de betrokken stakeholders, passend bij de aard en impact van de ontwikkeling. Aanvullend zullen ook provinciale en gemeentelijke fracties worden betrokken in de informatievoorziening.

7.3. Detailplanning uitvoering veldtest

Onderstaande planning gaat specifiek over de veldtest, aansluitend op het instemmingsbesluit, Voorwaarde 3, 2e lid, sub d. Voor de planning van overige werkpakketten zie sectie 6.2 van dit Plan van Aanpak.

- Begin Juli 2026 – indiening Plan van Aanpak, inclusief plan voor de veldtest
- 2026 Q3 – verwachte start Pekelinfiltratie studie (WP 1), informatie voor risicoanalyse veldtest.
- 2026 Q4 – Mogelijke instemming, daarna pas FID (Financial Investment Decision) van uit Bestuur Nobian
- 2026 Q4 – indiening job-plan voor fysieke activiteiten HL-B
- 2027 Q1 – start communicatie veldtest en workover met omgeving
- 2027 Q1/2 – Workover HL-B
    - Installatie geofoons
    - Installatie DTS kabel etc.
- 2027 Q1/2 – na uitvoering workover: opstellen detail monitoringsplan
- 2027 Q2 – start veldtest
    - Vanaf 0.18 bar/m
        - = 42 bar WHP (maaiveld) met pekelkolom
        - = 129 bar pekeldruk aan caverne-dak
- 2028 Q1 – eerste “digital twin” resultaten (daarna jaarlijks, resultaten in jaarrapportage zie hoofdstuk 7)

8. Jaarlijkse rapportage

"een beschrijving van de jaarlijkse rapportages en de planning van de oplevering daarvan"

8.1. Inhoud

Nobian zal jaarlijks een rapportage opstellen en opleveren, elk jaar na goedkeuring op het plan van aanpak. Hierin zullen de volgende aspecten minimaal aan bod komen:

- Microseismiciteit: Beschrijving van gemeten events, statistiek, etc.
- Drukopbouw van de testcaverne en eventueel omringende cavernes
- Resultaten "digital twin" numerieke modellen
- Bodemdalingssnelheid (via InSAR)
- Waar mogelijk gekoppeld aan de laatst beschikbare bodemdalingsmeting o.b.v. waterpassing

Tevens zal de jaarlijkse rapportage de voortgang op de verschillende werkpakketten in dit plan van aanpak en hun onderlinge samenhang behandelen.

Nobian is voornemens het concept van de jaarlijkse rapportage te delen met het technische commissie en het stakeholder commissie. De feedback kan gebruikt worden om de jaarrapportage aan te vullen en/of verbeteren. Vervolgens maakt Nobian de rapportage definitief, dient deze in bij het Ministerie en organiseert daarnaast een informatiesessie voor de omgeving om de voortgang toe te lichten.

8.2. Planning oplevering

Uitgaande van de instemming op dit plan van aanpak zal er elk jaar nadien de jaarrapportage worden ingediend. Tevens zijn er rapportages voorzien n.a.v. enkele belangrijke milestones. In onderstaande overzichtstabel is uitgegaan van een instemming op dit plan van aanpak in Q4 2026.

Verwachte (jaar-) rapportage datum	Inhoud
2027 Q2	End of Workover report HL-B = caverne klaar voor test
2027 Q4	Voortgang rapportage Plan van Aanpak (1 jaar na instemming PvA)
2028 Q1	Eerste resultaten "Digital Twin"
2028 Q4	Voortgang rapportage Plan van Aanpak (2 jaar na instemming PvA)
2029 Q4	Voortgang rapportage Plan van Aanpak (3 jaar na instemming PvA)
…	Etc.

9. Tot slot

Nobian zet zich in voor veilige en verantwoorde zoutwinning. Dat houdt o.a. in dat cavernes zorgvuldig ontwikkeld worden, maar ook dat cavernes op een veilig en verantwoorde manier worden afgesloten na beëindiging van de winning. Deze filosofie past bij de bedrijfswaarden en werkwijze van Nobian.

Voor vragen over dit plan kan contact worden opgenomen via de website van Nobian: https://www.nobian.com/nl-nl/contact.

Tevens is er elke woensdagochtend een inloopmoment op het productiekantoor Heiligerlee (Tranendallaan 17, 9678 PB Westerlee) waarbij alles toegelicht kan worden onder het genot van een kop koffie. Aanpassingen aan de cavernes zullen vooraf kenbaar worden gemaakt via de daarvoor gebruikelijke kanalen, waaronder brieven aan de omwonenden en updates via apps: de Nobian-app en Bouw-app.

Ten slotte kan Nobian op verzoek medewerkers sturen om via informele keukentafelgesprekken de inhoud nader toe te lichten. Hiervoor kunt u gebruik maken van bovenstaande contactgegevens

Mocht u liever uw zorgen uitspreken over dit plan, zonder Nobian daarbij te willen betrekken kunt u uw vragen stellen aan de vergunningverlener, het ministerie van Klimaat en Groene Groei via de website mijnbouwvergunningen.nl: Contact · Mijnbouwvergunningen (laatst geraadpleegd 8 juni 2026). Met betrekking op het toezicht via het Staatstoezicht op de Mijnen via: https://www.sodm.nl/service/contact (laatst geraadpleegd 8 juni 2026)

10. Bijlages: request for proposals.

10.1. WP 1:

Request for Proposal: fracture propagation abandoned salt caverns

Introduction

Via solution mining, Nobian Salt B.V. (and its predecessors) have been extracting salt in the Zuidwending and Heiligerlee salt diapirs since the 1960's. Over the years relatively tall caverns were developed. Mining is foreseen to continue until the end of 2035, or earlier if maximum volumes are reached. Caverns will be abandoned in a safe manner with acceptable residual risks for residents near the cavern field, and the environment in the long-term.

To this end Nobian plans to follow the guidelines on the generic abandonment strategy from the Cavern Closure Consortium (hereafter CCC, CCC 2024a and 2024b). This work assessed the stress state in the rock salt surrounding the caverns after abandonment. The authors ranked it unlikely that a fracturing event after abandonment would occur but could not be ruled out entirely. The study recommended verification of numerical models results by field tests, particularly to better constrain the permeability development of rock-salt at elevated pressures. Additional statements by the same authors (CCC, 2025a and 2025b) has given a more quantified statement on the likelihood of such a hydraulic fracture to occur and what volumes of brine could potentially flow to the overburden.

The findings have not led to a general consensus on the risk of hydraulic fracturing after the abandonment of the caverns (see "Instemmingsbesluit, 2025a and 2025b" and the advice documents listed therein). Nobian therefore seeks additional research on the topic, aiming to achieve a better understanding of the risk of hydraulic fracturing. Research should focus on the chance of a first occurrence, and potentially repeated occurrences thereafter, leakage volumes / -rates that are associated with such event(s), and an assessment of where the released brine will likely migrate. This requires a time-dependent model which also incorporates pressure development within caverns (primarily due to cavern convergence / creep effects) and assesses the chance of a localized, large-scale hydraulic fracture to occur. This requires some assessment on how microscopic cracks coalesce in rock salt, and what conditions need to be met to expect localization. Moreover, if such a fracture is formed the stress state in the cavern roof needs to be updated to evaluate the propagation of the facture. These likely require different timescales and potentially also different models which may need to be coupled in some way. Finally, it has been shown that fractures in rock salt can heal in the presence of saturated brine, which could also play a role and should be considered.

Research Questions

- What is fracture length, -aperture, -roughness and thereby -permeability can be expected for hydraulic fractures in rock salt?
- What is the likelihood of large-scale hydraulic fractures to occur, which are of sufficient length and aperture to form leakage pathways for brine from abandoned caverns?
- How often could fractures potentially re-open (if they formed at all) with or without considering healing effects?
- What leakage rates should be expected in the scenario's evaluated above?
- Where is the brine likely to migrate to within the overburden, what rates, volumes, and how is it distributed there?

Required elements in proposal

- Statement on previous experience of the company / team that would work on this project
- Statement on the suitability of the proposed model code, including other examples of use, verification of the model and/or benchmarking efforts
- Statement on what constitutive or/or empirical laws will be used (for creep parameters (pressure solution and dislocation), permeation, healing). If not yet known, please state what efforts will be taken to find the best available method.
- The proposed timeline for the project
- A proposed meeting schedule to update / discuss the research progress with Nobian.
- Availability for meetings with government officials and their advisors detailing the research if requested.

Input provided by Nobian

- Parameters for creep laws (Urai and Spiers, 2007 -format from each field, see also CCC 2024a and 2024b)
- Details on cavern geometries
- Geological structure of the Zuidwending and Heiligerlee domes
- Stratigraphy of the overburden (both fields)
- Previous work / reports.
- Feedback during project via progress meetings or in writing (e.g., commenting on draft reports)

Deliverables

- Volume of brine expected to infiltrate the rock salt and overburden (if applicable, detailed to specific layers), details provided to 3rd party for a follow-up assessment of the potential effects.
- A report which answers the research questions.

Additional details

Nobian will rank proposals based on:

- The (perceived) ability of the research team
- The proposed approach
- The duration / costs of the project

Start date is currently foreseen as Q2/Q4 2026, pending approval of an overall research plan Nobian submits to the Ministry of Climate and Green Growth. Results in the form of a final report should be handed in within a year, at the end of Q4 2026. Note that Nobian may choose to postpone the deadline to allow ample time for feedback from government authorities and their advisors, which should then be incorporated in the final report.

Contact

For detailed questions regarding the project interested parties can reach out via email. If needed meetings can be scheduled.

- {contactinformatie niet beschikbaar voor publieke versie Plan van Aanpak}

References

General:

Urai, J. L., & Spiers, C. J. (2007). The effect of grain boundary water on deformation mechanisms and rheology of rocksalt during long-term deformation. In M. Wallner, K.-H. Lux, W. Minkly, & H. R. Hardy (Eds.), The Mechanical Behaviour of Salt-Understanding of THMC processes in Salt Rocks: 6th Conference (SaltMech6), Hannover, Germany, 22-25 May 2007 Taylor & Francis

Zuidwending:

CCC 2024a: Abandonment of solution mining cavern field Zuidwending, The Netherlands. 11 April 2024, Lead authors: Schmatz, J., Brouard, B., Baumann, T. version 240411. available online via: https://cavernclosure.com/portfolio/ (last accessed 26/01/2026)

CCC 2025a: Abandonment of solution mining cavern field Zuidwending, The Netherlands - Statement on Hydraulic Fracturing Risk, 18 February 2025, Lead authors: Brouard, B., Baumann, T. available online via: https://cavernclosure.com/portfolio/ (last accessed 26/01/2026)

Instemmingsbesluit winningsplan Zuidwending 2025-2035 (2024), date: 07 October 2025, document id: DGRGG-DTDO / V-65184, Ministry of Climate and Green Growth, available in Dutch via: https://mijnbouwvergunningen.nl/page/view/97097192-7e81-4586-88c2-87b08727f5cb/ (last accessed 26/01/2026)

Heiligerlee:

CCC 2024b: Abandonment of solution mining cavern field Heiligerlee, The Netherlands 20 september 2024, Lead authors: Schmatz, J., Brouard, B., Baumann, T. version 240920. available online via: https://cavernclosure.com/portfolio/ (last accessed 26/01/2026)

CCC 2025b: Abandonment of solution mining cavern field Heiligerlee, The Netherlands Statement on Hydraulic Fracturing Risk, 25 March 2025, Lead authors: Brouard, B., Baumann, T. available through Nobian.

Instemmingsbesluit winningsplan Heiligerlee 2025-2035 (2024), date: 19 november 2025, document id:, DGRGG-DTDO / V-69187 Ministry of Climate and Green Growth, available in Dutch via: https://mijnbouwvergunningen.nl/page/view/5c7051e1-9c20-41eb-a594-57d987cfe78e/heiligerlee last accessed 26/01/2026)

10.2. WP 2:

Request for Proposal: Dilatancy and permeability development in Zuidwending and Heiligerlee Rock Salt.

Background

Via solution mining, Nobian Salt B.V. (and its predecessors) have been extracting salt in the Zuidwending and Heiligerlee salt diapirs since the 1960's. Over the years relatively tall caverns were developed. Mining is foreseen to continue until the end of 2035, or earlier if maximum volumes are reached. Caverns will be abandoned in a safe manner with acceptable residual risks for residents near the cavern field, and the environment in the long-term.

To this end Nobian plans to follow the guidelines on the generic abandonment strategy from the Cavern Closure Consortium (hereafter CCC, CCC 2024a and 2024b). This work assessed the stress state in the rock salt surrounding the caverns after abandonment. In this work the stress state was compared to a dilatancy criterion to assess cavern stability. However, the criterion was derived from literature, for lack of a site-specific criterion being available.

The studies rely on end member cases regarding to what extend pore fluid pressure changes the effective stress state, as a full understanding of the Biot's coefficient in relation to the development of microcracks (dilatancy) is not complete. Moreover, permeability of rock salt develops as the pressure nears the minimum principal stress in the models, but the fundamental mechanism behind it remains uncertain. One possible mechanism is through microcrack nucleation and coalescence, which means that fundamentally permeability should be coupled to dilatancy.

Dilatancy is commonly listed as independent of temperature and strain rate. However, in most materials a higher temperature makes it easier for microcracks to appear (e.g.: Atkinson, 1984; Amitrano & Helmstetter 2006; Brantut et al., 2012). At the same time, temperature dependent creep mechanisms become more active at higher temperatures. In the context of rock salt cavern abandonment (at relatively moderate temperatures (30-50 °C) these two effects may be in competition. Creep mechanisms may be active enough that cracks are healed by the crack walls deforming, or precipitation within the crack resulting from pressure solution creep. Moreover, dilatancy is often determined in laboratory settings in experiments ran at strain rates in the range of 10^{-5} to 10^{-10} s^{-1}, and often at the upper end of the range (e.g.: Popp et al., 2001; deVries et al., 2005; Gunter & Salzer, 2012). Numerical models suggest creep rates in the order of 10^{-12} s^{-1} and slower (CCC 2024a and 2024b). While at the laboratory timescale creep mechanisms may not be effective enough to facilitate crack closure, at slower strain rates it may.

Finally, in the CCC models the development of permeability (also known as permeation), is linked to a stress state, but does not link it directly to a state of dilatancy. The approach taken now is largely based on empirical evidence, known as the IUB criterion (Rokahr et al., 2002). Lab-scale experiments give some indication that microcracking can play a big role in the development of permeability within rock-salt (e.g., Peach & Spiers, 1996; van Oosterhout et al., 2022; Herrmann et al., 2025). An improved understanding of permeability development in relation to dilatancy will lead to an improved numerical modelling of abandoned salt caverns. Improved site-specific dilation criterion may also be used in the development of storage caverns in the field.

Research Questions

- What are representative parameters for a dilatancy criterion for representative Zuidwending / Heiligerlee rock salt?
- How is the dilatancy criterion affected by temperature

- How is the dilatancy criterion affected by the strain rate during the experiments?
- To what extent is dilatancy reversible through healing?
- How is dilatancy coupled to permeability development?
- How is dilatancy coupled to the Biot's coefficient?

Required elements in proposal

- A description of experimental approach for each of the RQ's
- Statement on previous experience of the company / team that would work on this project
- The proposed timeline for the project
- A proposed meeting schedule to update / discuss the research progress with Nobian.
- Availability for meetings with government officials and their advisors detailing the research if requested.

Input provided by Nobian

- Parameters for creep laws (Urai and Spiers, 2007 -format from each field, see also CCC 2024a and 2024b)
- Core material (relatively fresh, obtained Q1 2026 from Zuidwending) (to be confirmed)
- Access to previous work / reports outside of the public / academic domain (if applicable)
- Feedback during project via progress meetings or in writing (e.g., commenting on draft reports)

Deliverables

- A specific dilatancy law for Zuidwending / Heiligerlee rock salt for the two main units (Zechstein 2 and -3 salt).
- An assessment of the influence of temperature on the dilatancy law
- An assessment of the influence of the set experiment strain rate on the dilatancy law
- A physics based (analytical) model coupling dilatancy and permeability
- An understanding of the development of the Biot's coefficient, affected by dilatancy and healing
- At minimum: a report which answers the research questions. Preferred option is through a paper (or multiple papers) in established peer-reviewed journal.

Additional details

Nobian will rank proposals based on:

- The (perceived) ability of the research team
- The proposed approach
- The duration / costs of the project

Start date is currently foreseen as Q4 2026, pending approval of an overall research plan Nobian submits to the Ministry of Climate and Green Growth in response to permit stipulations. Results in the form of a final report should be handed in within roughly two years. However, this can be flexible if the experimental program requires more time. Moreover, Nobian may decide to postpone the deadline to allow ample time for feedback from government authorities and their advisors, which should then be incorporated in the final report.

Contact

For detailed questions regarding the project interested parties can reach out via email. If needed meetings can be scheduled.

- {contactinformatie niet beschikbaar voor publieke versie Plan van Aanpak}

References

Amitrano, D., & Helmstetter, A. (2006). Brittle creep, damage, and time to failure in rocks. Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 111(B11).

Atkinson, B. K. (1984). Subcritical crack growth in geological materials. Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 89(B6), 4077-4114.

Brantut, N., Baud, P., Heap, M. J., & Meredith, P. G. (2012). Micromechanics of brittle creep in rocks. Journal of geophysical research: solid earth, 117(B8).

CCC 2024a: Abandonment of solution mining cavern field Zuidwending, The Netherlands. 11 April 2024, Lead authors: Schmatz, J., Brouard, B., Baumann, T. version 240411. available online via: https://cavernclosure.com/portfolio/ (last accessed 26/01/2026)

CCC 2024b: Abandonment of solution mining cavern field Heiligerlee, The Netherlands 20 september 2024, Lead authors: Schmatz, J., Brouard, B., Baumann, T. version 240920. available online via: https://cavernclosure.com/portfolio/ (last accessed 26/01/2026)

DeVries, Kerry L., Kirby D. Mellegard, Gary D. Callahan, and William M. Goodman. Cavern roof stability for natural gas storage in bedded salt. RESPEC, 2005.

Günther, R. M., & Salzer, K. (2012, April). Advanced strain-hardening approach: A powerful creep model for rock salt with dilatancy, strength and healing. In Proceedings of the 7th Conference on Mechanical Behavior of Salt, Paris, 16–19 April 2012 (pp. 13-22). Leiden: CRC Press/Balkema.

Herrmann, J., Schmatz, J., Bakker, R.R., Rolke, C., and Naumann, D.,The hydraulic properties of rock salt at elevated thermodynamic boundary conditions and its healing potential. The Mechanical Behavior of Salt XI, 107-118.

Peach, C. J., & Spiers, C. J. (1996). Influence of crystal plastic deformation on dilatancy and permeability development in synthetic salt rock. Tectonophysics, 256(1-4), 101-128.

Popp, T., Kern, H., & Schulze, O. (2001). Evolution of dilatancy and permeability in rock salt during hydrostatic compaction and triaxial deformation. Journal of geophysical research: Solid Earth, 106(B3), 4061-4078.

Rokahr, R.B., Hauck, R., Staudtmeister, K., Zander-Schiebenhöfer, D., Crotogino, F., and Rolfs, O., High Pressure Cavern Analysis, October 2002 SMRI research report RR2002-02

van Oosterhout, B. G. A., Hangx, S. J. T., & Spiers, C. J. (2022). Mechanisms of dilatancy in rock salt at the grain-scale and implications for the dilatancy boundary. In The Mechanical Behavior of Salt X (pp. 25-37). CRC Press.

Urai, J. L., & Spiers, C. J. (2007). The effect of grain boundary water on deformation mechanisms and rheology of rocksalt during long-term deformation. In M. Wallner, K.-H. Lux, W. Minkly, & H. R. Hardy (Eds.), The Mechanical Behaviour of Salt-Understanding of THMC processes in Salt Rocks: 6th Conference (SaltMech6), Hannover, Germany, 22-25 May 2007 Taylor & Francis

Chemistry
you can count on

NOBIAN