

Winningsplan Heiligerlee 2025 - 2035

Winningsvergunning Adolf van Nassau III

Datum: 08-07-2025

Versie: 2.1

Kenmerk: ND-20250708



Inhoudsopgave

1. Samenvatting	4
2. Inleiding	6
2.1. Historische zoutwinning in Heiligerlee	6
2.2. Huidig (geldend) winningsplan	8
2.3. Wettelijk kader	8
2.4. Veilige en verantwoorde zoutwinning	10
2.5. Maatschappelijk belang zoutwinning	11
3. Geologie	15
3.1. Opbouw van de ondergrond	15
3.2. Verwachte hoeveelheid winbaar zout / pekel	17
3.2.1. Volumes	17
3.2.2. Samenstelling	18
4. Geomechanica	19
4.1. Geometrie zoutcavernes	19
4.2. Rheologie (gesteente mechanica)	20
4.2.1. Kruipgedrag meten in het lab	20
4.2.2. Kruipgedrag terugrekenen via gemeten cavernedruk en de geologische geschiedenis	21
4.2.3. Bandbreedte in kruipgedrag	22
4.2.4. Bros gedrag (dilatatie)	23
4.3. Spanningstoestand in de zoutpilaar	23
4.4. Permeatiegedrag	24
4.5. De cavernedruk in evenwicht	26
5. Mijnbouwwerk	27
5.1. Beschrijving en ligging mijnbouwwerk	27
5.2. Aantal putten in het veld	28
5.3. Volgorde en tijdsbestek aanleg putten	28
5.4. Ligging, en opbouw van de putten	29
6. Wijze van winning	33
6.1. Aanvang en duur van de winning	33
6.2. Wijze van winning en daarmee verband houdende activiteiten	33
6.2.1. Reguliere pekelwinning	33
6.2.2. Naverzadiging	34
6.2.3. Overige pekelwinning	35
6.2.4. Monitoring tijdens winningsfase	36
6.3. Hoeveelheden jaarlijks te winnen delfstoffen	38
6.4. Hoeveelheden stoffen die jaarlijks bij winning worden geïnjecteerd	38
6.5. Wijze waarop de putten buiten gebruik gesteld worden	39
6.5.1. Post-uitloof fase	40
6.5.2. Isolatiestrategie en generieke wijze van abandonneren	42
6.5.3. Nazorg	43
6.5.4. Monitoring na de winningsfase	44
6.6. Secundair gebruik	44
6.6.1. Cavernes	44
6.6.2. Boorputten	44
6.6.3. Benodigde aanpassingen	44
7. Bodembeweging	45

7.1.	Verwachte bodemdaling	45
7.1.1.	Methode om bodemdaling te voorspellen	45
7.1.2.	Resultaten voorspellingen empirische methode	48
7.1.3.	Resultaten voorspellingen deterministische methode	57
7.1.4.	Mogelijke effecten van bodemdaling	60
7.2.	Maatregelen om bodembeweging te voorkomen of te beperken	60
7.3.	Risicoanalyse bodemtrilling (schade door micro-seismiciteit)	60
7.4.	Mogelijke omvang en verwachte aard van schade door bodembeweging	62
7.4.1.	Keuze bodemdalingsprognose voor effectstudies	62
7.4.2.	Geotechnische risico's	62
7.4.3.	Effecten op geohydrologie	64
7.4.4.	Effect op riolering	65
7.5.	Maatregelen om schade door bodembeweging te voorkomen of te beperken	65
8.	Effecten voor de omgeving	67
8.1.	Risico's voor omwonenden, gebouwen en infrastructuur	67
8.2.	Handelingsperspectief omwonenden in geval van vermoede schade	68
8.3.	Planmatig beheer van bodem en ondergrond	69
8.3.1.	Kansen overige mijnbouwactiviteiten in het gebied	69
8.3.2.	Drinkwater	69
8.4.	Gevolgen voor milieu en natuur	70
9.	Winningskosten	71
10.	Referenties	72
11.	Overzicht van Bijlagen	73

1. Samenvatting

Dit winningsplan beschrijft de verlenging van de bestaande zoutwinning in het caverneveld Heiligerlee na november 2025, binnen de winningsvergunning “Adolf van Nassau III”. Het betreft de boringen WSN-04 t/m -12, -14 en -15 en de daaraan gekoppelde cavernes, HL-A t/m -I, -L en -M. Het huidige winningsplan is geldig tot 19 november 2025.

Dit winningsplan heeft betrekking op de periode van 20 november 2025 tot 31 december 2035. Het winningsplan bevat naast de voorziene zoutwinning en productievolumes ook een lange termijn doorkijk naar de jaren na de winning. Daarnaast wordt beschreven hoe een start gemaakt zal worden met het afsluitingsproces van de cavernes. Hiervoor heeft Nobian onderzoek laten uitvoeren door een team van internationale experts: het Cavern Closure Consortium (CCC). Dit onderzoek bouwt verder op alle aanbevelingen uit het KEM-17 onderzoek. Daarnaast toont het aan dat de gevolgen van eventuele na-ijlende effecten, zoals bodemdaling, beperkt zijn.

Binnen het zoutvoorkomen (de Winschoten-zoutpijler) wint Nobian sinds 1957 op een veilige en verantwoorde wijze zout. Dit zout vormt een onmisbare grondstof voor opvolgende chemische processen en draagt bij aan de productie van essentiële chemicaliën en de strategische autonomie van Nederland. Een groot deel van de industriële activiteiten in de Chemieparken Delfzijl en Rotterdam zijn volledig afhankelijk van de zoutwinning in Groningen. Oplosmijnbouw in Nederland is de duurzaamste vorm¹ van zoutwinning om de beschikbaarheid van zuiver zout voor de chemie en industrie te garanderen. Binnen het zoutvoorkomen vindt ook andere activiteit plaats, namelijk de stikstofbuffer Heiligerlee vanaf 2010 (met dit stikstof wordt geïmporteerd hoogcalorisch gas bijgemengd, zodat het geschikt is voor CV- en kookapparatuur in Nederland).

Dit winningsplan voorziet niet in toekomstige opslag van energie in de betreffende cavernes bij Heiligerlee. De huidige cavernes spelen echter wel een belangrijke rol voor de beschikbaarheid van naverzadigingscapaciteit, wateen belangrijke voorwaarde is voor het tijdig kunnen realiseren van zowel pekel- als energieopslagcavernes, zoals bij Zuidwending of de voorgenomen zoutwinning bij Zuiderveen. Om op relatief korte tijdschaal (enkele jaren) energieopslagcavernes te kunnen ontwikkelen en deze in het juiste tempo rendabel en energie-efficiënt te kunnen uitlogen, is het essentieel dat onverzadigde pekel kan worden naverzadigd in bestaande cavernes. Om uit nieuwe cavernes (bedoeld voor opslag) verzadigde pekel te produceren is een veel langere uitloogperiode nodig. Het indampen van onverzadigde pekel in de zoutfabriek van Nobian in Delfzijl is niet energie-efficiënt en daarmee niet duurzaam. Ook zou het zorgen voor onrendabele productievolumes. Een gebrek aan naverzadigingscapaciteit zal de ontwikkeling van energieopslagcavernes daarom danig vertragen.

Vanuit veiligheids-, economisch, en chemisch-proces oogpunt is het noodzakelijk om een stabiele aanvoer van pekel te voorzien naar de zoutfabriek en opvolgende productieprocessen op het Chemie Park Delfzijl, het chloorcluster in Rotterdam en overige industriële clusters in Noordwest-Europa. Dit winningsplan beschrijft een hybride aanpak. Dit betekent dat er zowel flexibel kan worden geproduceerd op basis van de benodigde zoutproductie en vraag vanuit de industrie, maar ook kan worden voldaan aan de maatschappelijke behoefte aan ondergrondse opslagcapaciteit en de vastgestelde beleidsdoelen

¹https://cms.nobian.com/uploads/Roland%20Berger%20Rapport/Nobian%20Zout%20Impactstudie_Roland%20Berger_NL_vFinal2.pdf

In dit winningsplan is beschreven wat de effecten zijn van zowel de zoutwinning (pekeltcavernes) als van andere bestaande relevante activiteiten (zoals de stikstofbuffer en de effecten van gaswinning uit het Groningen gasveld).

Nobian hanteert een tijdshorizon tot 2250 voor het analyseren van de mijnbouwprocessen in een caveerne en de daaruit resulterende bodemdalingseffecten. Dit is een zeer lange periode omdat de processen, waaronder de bodemdaling door zoutwinning, in Heiligerlee op trage wijze verlopen. Nobian is de eerste operator die deze prognoses maakt over zo'n lange periode. Nobian heeft ervoor gekozen om de effecten van bodemdaling te laten analyseren in zowel het verwachte scenario als een conservatief scenario. Hiermee laat Nobian zien welke langetermijneffecten, zelfs in een conservatief scenario, er mogelijk optreden en hoe deze effecten kunnen worden geminimaliseerd door te nemen maatregelen.

Voor de onderbouwing van de in dit winningsplan beschreven langetermijneffecten steunt Nobian op het vooruitstrevende onderzoek door het Cavern Closure Consortium. Dit internationale consortium heeft op verzoek van Nobian als eerste in de wereld de langetermijneffecten van cavernes na afsluiting in kaart gebracht. Het Cavern Closure Consortium bestaat uit vooraanstaande experts op het gebied van oplosmijnbouw en gesteente mechanica en deze maken gebruik van de meest geavanceerde modellen.

Nobian hanteert in dit winningsplan een viertal criteria waarbij de winning gestopt zal worden:

- 1) het maximaal te winnen volume aan pekelt per caveerne binnen veiligheidslimieten (diameter en hoogte);
- 2) de maximale afmetingen van een caveerne
- 3) de maximale bodemdaling;
- 4) de begrenzing binnen de tijd van het geldende winningsplan (eind 2035).

2. Inleiding

2.1. Historische zoutwinning in Heiligerlee

Nobian wint pekels uit de Winschoten pijler (ten Zuidwesten van Winschoten) uit een aantal verschillende putten (zie figuur 1). De winning is in 1957 begonnen met put WSN-04 (caverne HL-A) en door de tijd heen geleidelijk uitgebreid. Nobian wint dit zout door oplosmijnbouw. Een caverne ontstaat door zoet water in een boorgat in het zoutvoorkomen te pompen, waardoor een deel van het aanwezige zout aan de rand van de caverne oplost. Het water met het opgeloste zout komt vervolgens als pekels weer naar het oppervlak door de injectiedruk. Vandaar wordt de pekels verpompt naar de zoutfabriek op het Chemiepark Delfzijl waar de pekels gezuiverd en ingedampt wordt waarbij zeer zuiver zout wordt geproduceerd.

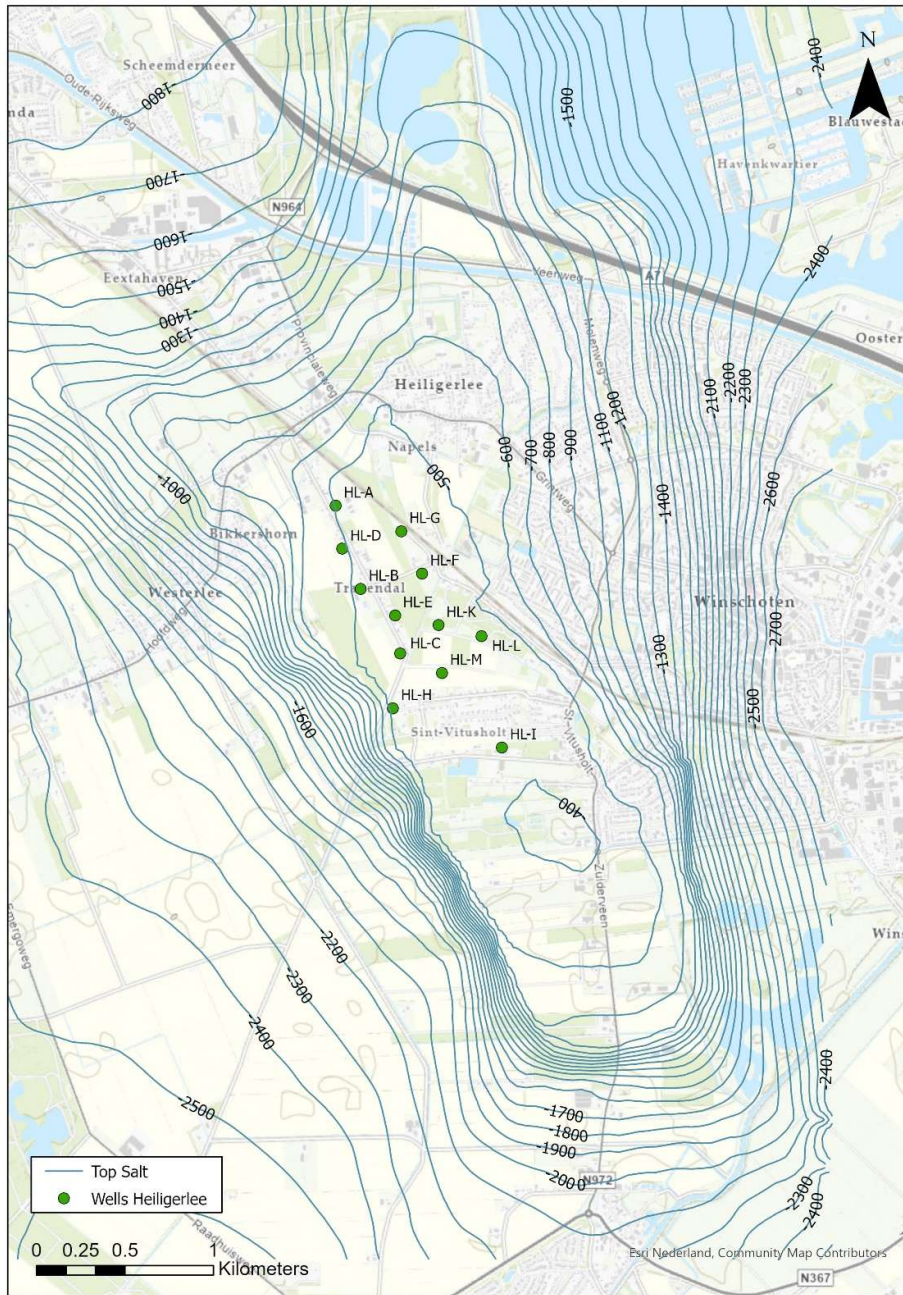
Het gebied bij Heiligerlee bestaat uit:

- 12 cavernes, waarvan 11 pekelscavernes en 1 stikstofcaverne.
- Van de 11 pekelscavernes zijn er binnen het huidige winningsplan nog 5 in bedrijf.
- Bij de overige pekelscavernes is de winning reeds gestopt.
- In dit plan worden 4 pekelscavernes aangemerkt voor verdere reguliere zoutwinning. Dit winningsplan beschrijft de laatste fase van uitloging van deze 4 cavernes.
- Uit de overige 7 pekelscavernes wordt niet meer gewonnen.

Voor al deze cavernes geldt dat ze in stabiele veilige stilstand gehouden worden. De 7 cavernes waar niet langer uit gewonnen wordt via reguliere zoutwinning zijn gevuld met verzadigde pekels. Er worden voorbereidingen getroffen om de cavernes permanent af te sluiten (hard insluiten). Tot die tijd is er sprake van “zacht insluiten”: uit deze cavernes wordt periodiek pekels afgelaten om de druk op een veilig niveau te houden.

In het Heiligerlee-veld heeft Nobian naast haar eigen zoutwinninglocaties ook een caverne ontwikkeld waar stikstofgas (N_2) opgeslagen wordt, caverne HL-K. Deze stikstofbuffer is in eigendom en beheer van GTS (Gas Transport Services B.V.). De cavernes in het Heiligerlee veld zijn in figuur 1 te zien. Hoewel de opslagcaverne geen onderdeel vormt van dit winningsplan, is het

vanwege de gezamenlijke effecten wel van belang om hier rekening mee te houden in de bodemdalingsprognoses en het veilig hard afsluiten van de putten na winning.



Figuur 1: Overzicht van de putten in het veld in combinatie met dieptecontouren voor het zoutvoorkomen

2.2. Huidig (geldend) winningsplan

Het huidige winningsplan is in 2008 geactualiseerd, in 2023 vond er een tweede actualisatie plaats. Met de aangevraagde actualisatie werd op 9 januari 2024 ingestemd met het kenmerk PDGGO-DTDO / V-35216. De instemming loopt af op 19 november 2025.

2.3. Wettelijk kader

Voor het winnen van zout is een winningsvergunning nodig en een door de minister van Economische Zaken en Klimaat goedgekeurd winningsplan. Instemming kan ook verleend worden door een staatssecretaris (Mijnbouw) als deze hier binnen het kabinet toe bevoegd is. Dit is te vinden in artikel 34 van de Mijnbouwwet. Hierin staat onder andere dat de winning moet plaatsvinden volgens het goedgekeurde winningsplan.

Op grond van artikel 34 van de Mijnbouwwet en de artikelen 24, eerste lid, c tot en met g en l tot en met s, en artikel 25 van het Mijnbouwbesluit moet voor ieder voorkomen in een vergunningsgebied een winningsplan ingediend worden. Winning kan pas plaatsvinden als de minister ingestemd heeft met het winningsplan, en er een instemmingsbesluit is.

Overzicht van de relevante wetsartikelen met verwijzingen naar stukken in dit winningsplan.

Wetsartikel:	Tekst:	Behandeld in:
Mijnbouwwet Artikel 35 1 ^e lid	Het winningsplan bevat voor elk voorkomen binnen het vergunningsgebied ten minste een beschrijving van:	
	a.de verwachte hoeveelheid aanwezige delfstoffen en de ligging ervan;	Hoofdstuk 3 en 5
	b.de duur van de winning;	Paragraaf 6.1 en 6.2
	c.de wijze van winning alsmede de daarmee verband houdende activiteiten;	Hoofdstuk 6
	d.een schatting van de verwachte hoeveelheid per jaar te winnen delfstoffen;	Paragraaf 3.2.1
	e.de kosten op jaarbasis van het winnen van de delfstoffen;	Hoofdstuk 9
	f.de bodembeweging ten gevolge van de winning alsmede de daarmee verband houdende activiteiten en de maatregelen ter voorkoming van schade door bodembeweging, voorzover het winnen van delfstoffen niet geschiedt in het continentaal plat, tenzij Onze Minister anders heeft bepaald;	Hoofdstuk 7
	g.de risico's voor omwonenden, gebouwen of infrastructurele werken of de functionaliteit daarvan met een risicobeoordeling, voor zover het winnen van delfstoffen niet geschiedt in het continentaal plat.	Hoofdstuk 7 en 8
Mijnbouwbesluit Artikel 25 1 ^e lid	1 Het winningsplan, bedoeld in artikel 34, eerste lid, van de wet, voor de winning van zout bevat:	
	a. een beschrijving van de structuur van de zoutlaag waaruit gewonnen wordt en de ligging van de zoutlaag ten opzichte van andere aardlagen, met bijbehorende geologische, geofysische en rheomorfologische studies en de daarbij gehanteerde onzekerheidsanalyses;	Hoofdstuk 4
	b. een opgaaf van de verwachte hoeveelheid te winnen pekels en zout en de samenstelling van het te winnen zout;	Hoofdstuk 3.
	c. een beschrijving van de ligging en de vorm van de holruimte tijdens en na de winning;	Hoofdstuk 4
	d. een opgaaf van de gesteentemechanische berekeningen van de stabiliteit van de holruimte tijdens en na de winning;	Hoofdstuk 4 en 6

	e. een opgaaf van de hoeveelheden stoffen die jaarlijks bij de winning worden geïnjecteerd, en	Paragraaf 6.4
	f. een beschrijving van de wijze waarop de holruimte na beëindiging van de winning buiten gebruik wordt gesteld.	Paragraaf 6.5
Mijnbouwbesluit Artikel 25 2 ^e lid	Artikel 24, eerste lid, onderdelen c tot en met g, en l tot en met s, en artikel 24, tweede lid, zijn van overeenkomstige toepassing	
Mijnbouwbesluit Artikel 24 1 ^e lid	c. een beschrijving van een wijze van winning die niet in strijd is met de bij of krachtens dit besluit geldende wettelijke voorschriften inzake winning van koolwaterstoffen;	Paragraaf 6.2
	d. een beschrijving van het mijnbouwwerk en de ligging ervan;	Hoofdstuk 5
	e. een opgaaf van het aantal boorgaten dat bij de winning wordt gebruikt;	Paragraaf 5.2
	f. een opgaaf van de volgorde en het tijdsbestek van het maken van de boorgaten;	n.v.t.
	g. een opgaaf van de ligging, lengte en diameter van de verbuizing van de boorgaten;	Paragraaf 5.4
	l. een opgaaf van de jaarlijkse kosten van de winning, onderverdeeld in kosten voor investeringen, onderhoud, bedrijfsvoering, en de kosten van het verlaten en verwijderen van mijnbouwwerken;	Hoofdstuk 9
	m. een kaart met daarop de contouren van de verwachte uiteindelijke mate van bodemdaling;	Paragraaf 7.1
	n. een overzicht met het verloop van de verwachte mate van bodemdaling in de tijd;	Paragraaf 7.1
	o. een opgaaf van de onzekerheid omtrent de verwachte mate van bodemdaling als bedoeld in de onderdelen m en n;	Paragraaf 7.1
	p. een risico-analyse omtrent bodemtrillingen als gevolg van de winning;	Paragraaf 7.3
	q. een beschrijving van de mogelijke omvang en verwachte aard van de schade door bodembeweging;	Paragraaf 7.4
	r. een beschrijving van de maatregelen die worden genomen om bodembeweging te voorkomen of te beperken, en	Paragraaf 7.5
	s. een beschrijving van de maatregelen die worden genomen om schade door bodembeweging te voorkomen of te beperken.	Paragraaf 7.5
Mijnbouwbesluit Artikel 24 2 ^e lid	In het winningsplan, bedoeld in het eerste lid, wordt per onderdeel toegelicht welke overwegingen bij de gemaakte keuze van belang zijn geweest, voor zover relevant.	Geheel WP
Mijnbouwregeling Artikel 3.1	Voor de opgave van hoeveelheden stoffen, bedoeld in de artikelen 24, 25, 26 en 27 van het besluit, worden de volgende eenheden gebruikt:	Geheel WP
	a.vaste stoffen: in m3 of tonnen;	Geheel WP
	b.vloeibare stoffen, anders dan pek: in tonnen en in m3 bij een absolute druk van 101,325 kPa en een temperatuur van 15 graden Celsius;	Geheel WP
	c.gasvormige stoffen: in 1000 m3 bij een absolute druk van 101,325 kPa en een temperatuur van 0 graden Celsius;	Geheel WP
	d.pekel: in m3	Geheel WP

In dit winningsplan komen ook enkele aspecten aan bod die betrekking hebben op het verwijderingsplan, dat dit winningsplan logisch opvolgt. Zo worden er voorbereidingen getroffen om permanent veilig afsluiten mogelijk te maken. Hierbij komt echter nog wel pek vrij, wat kan worden gezien als zoutwinning. Deze aspecten staan beschreven in paragrafen 6.2.3 en 6.5.1.

Bij dit winningsplan wordt ook de lange termijn bodemdalingsprognose in kaart gebracht, waarin de generieke wijze van afsluiten verwerkt is. Dit winningsplan beschrijft daarom ook een generieke wijze van afsluiten. In het verwijderingsplan wordt specifiek per caverne in detail beschreven hoe het mijnbouwwerk buiten werk gesteld wordt, in de zin van Artikel 44a van de mijnbouwwet.

2.4. Veilige en verantwoorde zoutwinning

Nobian wint al meer dan 100 jaar op veilige en verantwoorde wijze de strategische grondstof zout uit de Nederlandse bodem. Nobian wint dit zout door middel van oplosmijnbouw, de duurzaamste en veiligste vorm van zoutwinning. Oplosmijnbouw heeft in vergelijking met andere productiemethodes, een zeer geringe impact op de omgeving en milieu. Wel zijn er effecten die door Nobian gemonitord en beheerst worden.

Nobian beheert zijn zoutcavernes volgens het Cavern Stability and Integrity Management System (CSIMS, zie Nobian 2024a, bijlage 9). De uitgangspunten hierin zijn in lijn met het gestandaardiseerde managementsysteem voor putbeheer (Well Integrity Management System, WIMS).

Het CSIMS beschrijft de acties en werkwijzen die gevolgd moeten worden in alle fasen van de zoutwinning: van ontwerp, tot en met de nazorg nadat de winning gestopt is. Dit omvat onder andere het monitoren van de bodemdaling tijdens en na de winning, maar ook het meten van microseismiciteit, waarmee de stabiliteit van de cavernes wordt geborgd.

Detailbeschrijvingen van de acties die Nobian neemt per fase zijn te vinden in hoofdstuk 6. Schematisch zijn de fases weergegeven in de onderstaand figuur

.

Veilige en verantwoorde zoutwinning in alle fasen



◆ NOBIAN

Figuur 2: Overzicht van acties die Nobian neemt tijdens de verschillende fasen, van caverneontwikkeling tot afsluiting en nazorg

2.5. Maatschappelijk belang zoutwinning

Zout en zoutderivaten zijn strategische en onmisbare grondstoffen voor alledaagse producten en producten met duurzame toepassingen. Wereldwijd wordt per jaar meer dan 320 miljoen ton zout geproduceerd. Zoutwinning in Nederland draagt bij aan de strategische autonomie van noordwest Europa.

In West-Europa wordt jaarlijks zo'n 43 miljoen ton zout geproduceerd (13% van de wereldwijde productie). Slechts een klein gedeelte daarvan (ongeveer 8%) komt terecht in ons voedsel. Iets meer dan een vijfde wordt gebruikt als strooizout. Het grootste deel wordt gebruikt in industrie, landbouw en vooral chemie als industrieel zout.

Een deel van het zout vindt als natriumcarbonaat (soda) zijn weg naar onder meer de productie van glas, verf, textiel en zeep, het ontzwaren van ijzer en, opgelost in warm water, ontsmettingsmiddelen; een ander deel wordt verwerkt tot natriumchloraat, een oxidator en herbicide. De bulk van het zout (35% van het totaal aan zout en 85% van het zout dat door Nobian wordt geproduceerd) is een onmisbare grondstof voor het chloor-alkaliproces: de elektrolyse van een zoutoplossing voor de productie van chloor, natronloog en waterstof.

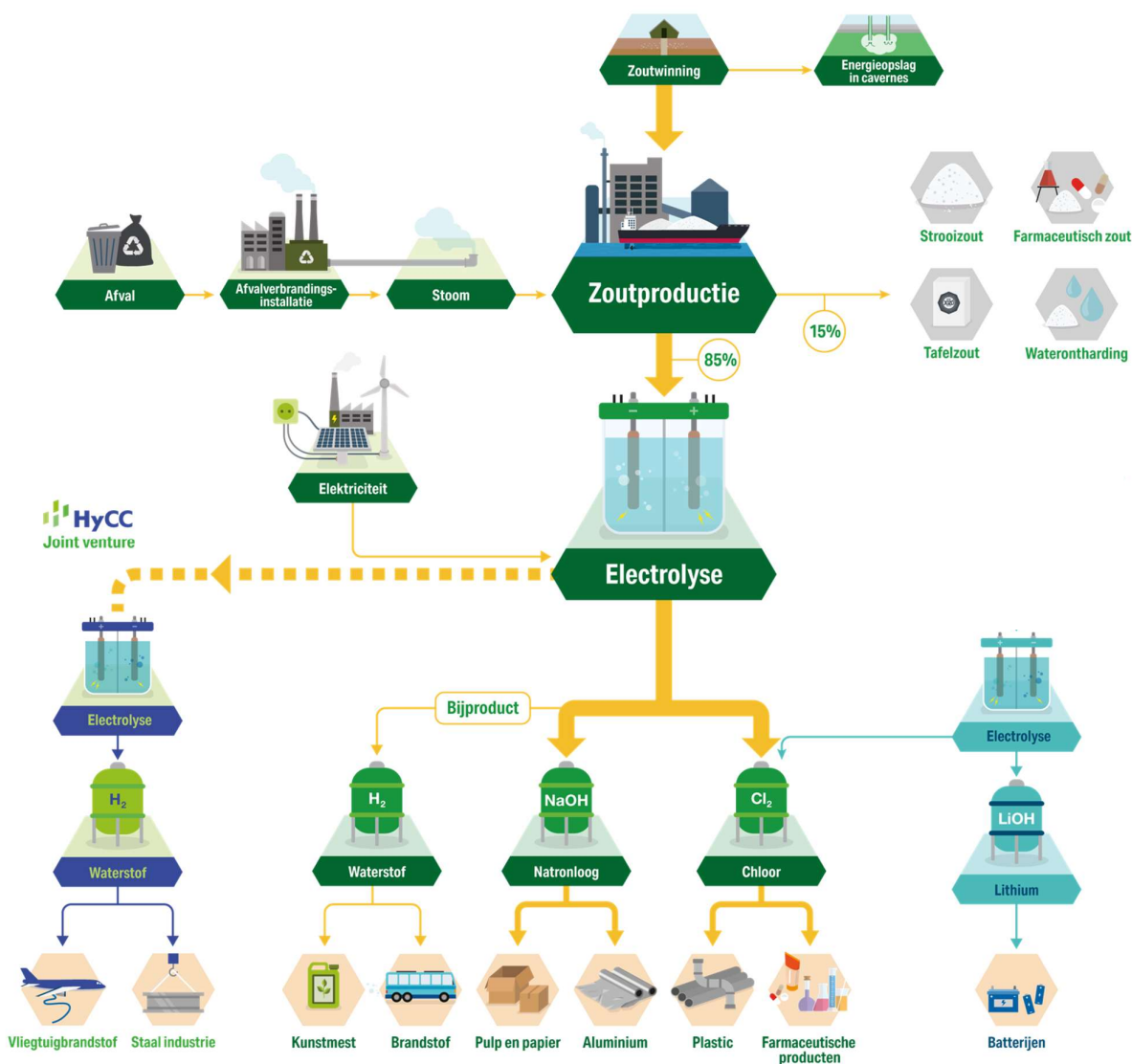
Via chloor en natronloog vindt zout zijn weg naar tal van essentiële producten die een grote rol spelen in ons dagelijks leven. Chloor en natronloog zijn basischemicaliën die worden gebruikt als

grond- en/of hulpstof voor de productie van tussen- en eindproducten. Vrijwel iedere eindmarkt – van bouw tot de landbouw, van energie en elektronica tot consumentengoederen en van autoproduktie tot geneesmiddelen – krijgt er mee te maken. Voorbeelden van eindproducten zijn bouwmaterialen, papier, geneesmiddelen, isolatiematerialen, aluminium, zeep en meer (zie Figuur 3, waardeketen van zout). Iedere Nederlander komt ze dagelijks tegen, op ieder moment van de dag en in iedere activiteit die hij of zij ontplooit.

Chloor speelt een rol in 40% van de organische chemie en zelfs in 50% van de polymeerproductie. Zo zit chloor in PVC (polyvinylchloride), met toepassingen als pijpen en profielen in de bouw, isolatie van kabels en bloedinfuuszakken, en spelen chloorverbindingen een rol als katalysator van chemische processen en in substitutiereacties. Denk daarbij aan polyethyleen, de meest gebruikte plastic voor alles van verpakkingen tot kabelisolatie, kinderspeelgoed en kogelvrije vesten; aan PUR en PET-flessen; en aan polystyreen dat als hard, vast plastic wordt gebruikt voor onder meer voedsel-verpakkingen, laboratoriumtoebereiden, auto-onderdelen en tuin-potten, en als (piep)schuim in isolatiematerialen, industriële verpakkingen voor kwetsbare producten en de grond-, weg- en waterbouw.

Meer dan 75% van alle farmaceutische producten is afhankelijk van chloor. In ongeveer 15% van alle geneesmiddelen is chloor direct aanwezig in de moleculaire structuur. Van kankermedicijnen bevat bijna de helft chloor en van medicijnen voor hart- en vaatziekten of aandoeningen van het zenuwstelsel bevat zelfs meer dan de helft chloor. Daarnaast is 60% van alle farmaceutische producten voor de productie afhankelijk van chloor, bijvoorbeeld als een voorlooppunt of in de vorm van zoutzuur. Natronloog wordt gebruikt voor de productie van materialen als aluminium, papier, zeep en wasmiddel, en speelt als sterke base een onvervangbare rol bij het regelen van de pH waarde (zuurgraad) in chemische processen.

De chlooralkaliproduktie draagt bij aan de energietransitie. Veel materialen die nodig zijn voor verduurzaming maken gebruik van chlooralkalitoepassingen. PVC heeft veel toepassingen in huizen en wordt bijvoorbeeld gebruikt voor duurzame en recyclebare pijpen en kozijnen. PUR is een van de best isolerende materialen, waarvan het gebruik voor bijvoorbeeld de isolatie van het dak, vloer of koelkast verder toe zal nemen. Groene elektriciteit voor licht en warmte wordt opgewekt door windmolens op land en op zee, waarvan de bladen bestaan uit epoxyhars – gemaakt met chloor. De geavanceerde magneten in de windmolens worden gemaakt van zeldzame aardmetalen die niet kunnen worden gewonnen of gerecycled zonder gebruik van chloor. Natronloog is nodig voor productie van energiebesparende LED-verlichting in huis en (hybride) batterijen voor de elektrische auto in de garage. Daarnaast zijn zout- en zoutderivaten nodig voor de productie van optische vezels en chips voor computers en smartphones, duurzame koelmiddelen voor de ijskast, dakbedekking en zonnepanelen.



Figuur 3: Schematische weergave van de waardeketen van zout

Tegenwoordig is Nobian de op één na grootste producent van zout in West-Europa (met ~12% van het totaal) en de grootste waar het gaat om zout van hoge zuiverheid (lees: oploszout). Bij Nobian zelf werken meer dan 1.600 mensen en de omzet ligt boven de EUR 1.5 miljard. Nobian belevert bijna een derde van de chlooralkalicconsumptie in West-Europa. Negen van de top 25 chlooralkalicclusters in West-Europa zijn sterk van Nobian afhankelijk voor de levering van zout. In totaal zijn er duizenden werknemers in de Nederlandse chemische industrie (in)direct afhankelijk van Nobian.

Zout is één van de natuurlijke hulpbronnen en strategische grondstoffen waarover Nederland beschikt – naast aardgas, aardolie, zand & grind en een laatste beetje mergel – en die Nederland en de Nederlandse en Europese industrie zelfvoorzienend maken en onafhankelijk van import uit andere, mogelijk minder stabiele landen. Zoutwinning in Nederland is daarnaast de duurzaamste vorm van winning.

Zoutwinning speelt een cruciale rol in het realiseren van de benodigde opslagcapaciteit van waterstof. Een grote uitdaging van de energietransitie is de opslag en transport van koolstofvrije energie uit hernieuwbare bronnen en het creëren van een duurzaam energiesysteem met voldoende buffers. Afhankelijk van het toekomstscenario heeft Nederland in 2050 waterstofopslagcapaciteit nodig voor 10-36 TWh aan energie. Opslag in bovengrondse tanks lijkt slechts zeer beperkt haalbaar (de opslagvolumes hiervan zijn zeer beperkt). De andere opties zijn opslag in lege zoutcavernes of lege gasvelden. Opslag in gasvelden is echter technisch en economisch nog niet haalbaar en bovendien nog niet bewezen veilig voor de benodigde opslagcapaciteit op de middellang termijn. Daarnaast doet opslag in oude gasvelden mogelijk afbreuk aan de zuiverheid van de waterstof. De veiligheid en technische haalbaarheid van de opslag van grote volumes waterstof in gasvorm, in daarvoor speciaal ontwikkelde zoutcavernes op land is al wél bewezen en in de praktijk toegepast (zie Wallace et al., 2021). Daarnaast is een belangrijk voordeel van zoutcavernes dat ze zowel geschikt zijn voor lange-termijnopslag (zoals seizoensopslag of het aanhouden van buffers) als voor het (korte termijn) balanceren tussen verschillen tussen energievraag en -aanbod. Zout-cavernes worden dan ook door experts gezien als een belangrijk onderdeel van de benodigde opslagcapaciteit van waterstof (zie ook whitepaper energieopslag, TNO/EBN 2021).

In Nederland is er al decennia ervaring met de opslag van gasen in daartoe specifiek aangelegde zoutcavernes. Daarnaast is er een strikt vergunningsproces waarin wordt toegezien op de veilige inrichting van cavernes voor de opslag van waterstof. Zoutcavernes zullen een essentieel onderdeel zijn van een breder scala aan opslagmethodieken voor groene waterstof en spelen daarmee een belangrijke rol in het helpen realiseren van de waterstofambities van Nederland.

Zowel vanwege de rol van zoutcavernes in de energietransitie, als de producten die starten met zout, wordt zoutwinning door de overheid gezien als een belangrijke economische activiteit. De ministeries van EZK en van I&W geven dit ook aan in de recente Joint Letter of Intent tussen Nobian en de Nederlandse Staat.

Daarnaast wordt momenteel onderzocht of zoutwinning van nationaal belang moet worden verklaard, zo blijkt uit de Contourennota aanpassing Mijnbouwwet van de staatssecretaris Mijnbouw (januari 2023, kamerstuk 32849²).

Brief van de staatssecretaris van EZK over contourennota herziening mijnbouwstelsel, link: zoek.officielebekendmakingen.nl/kst-32849-A.html ²

3. Geologie

3.1. Opbouw van de ondergrond

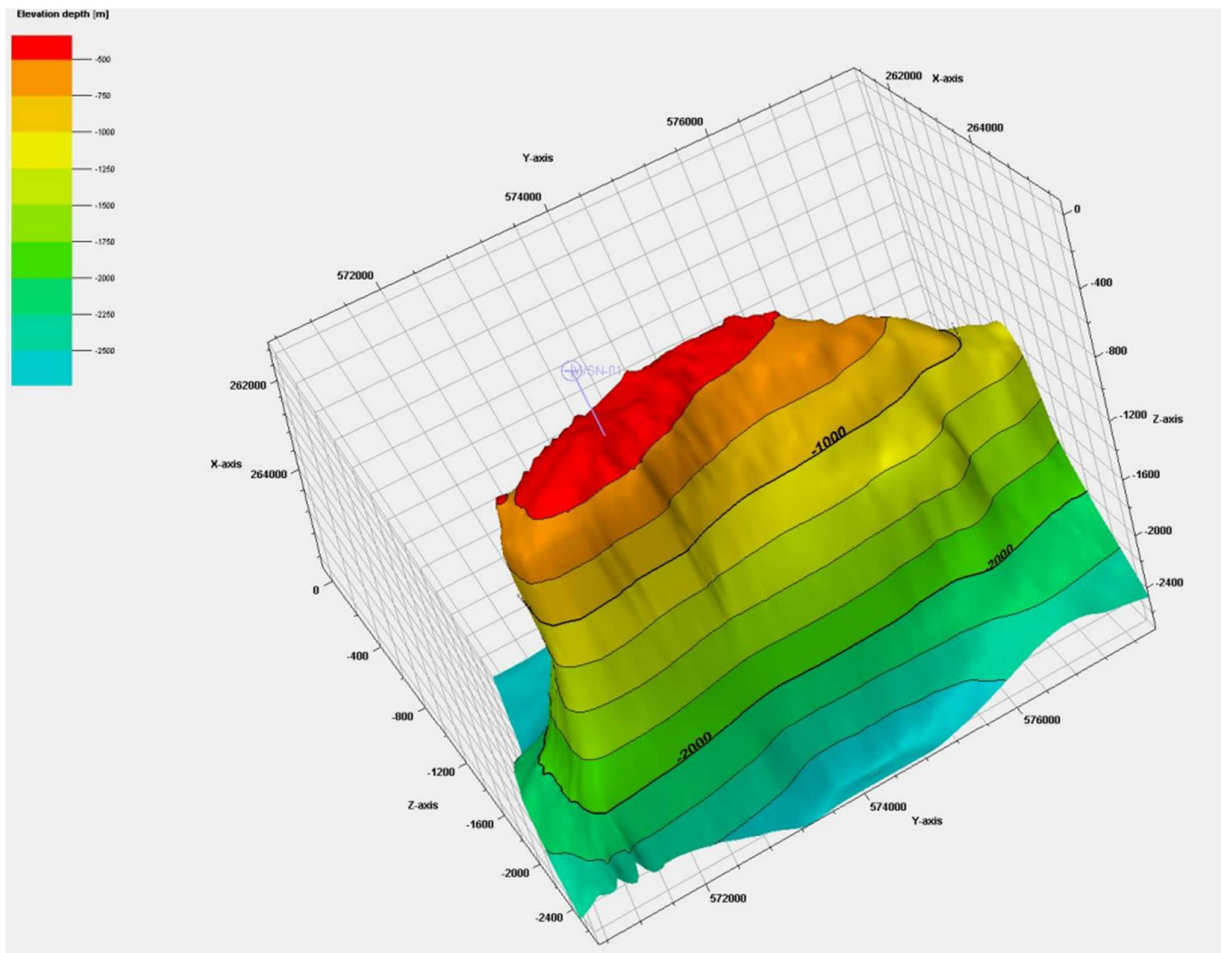
Artikel 25, lid 1, onderdeel a, van het Mijnbouwbesluit verlangt dat het winningsplan, bedoeld in artikel 34, eerste lid, van de wet, voor de winning van zout bevat: een beschrijving van de structuur van de zoutlaag waaruit gewonnen wordt en de ligging van de zoutlaag ten opzichte van andere aardlagen, met bijbehorende geologische, geofysische en rheomorfologische studies en de daarbij gehanteerde onzekerheidsanalyses.

Onder het maaiveld bevinden zich meerdere gesteentelagen. Door gebruik te maken van seismiek, een geofysische methode om een beeld te krijgen van de ondergrond met behulp van geluidsgolven, kan de opbouw van de lagen onder onze voeten in beeld gebracht worden.

Het zoutvoorkomen is in de geologische geschiedenis ontstaan doordat er tijdens het Perm (zo'n 260 miljoen jaar geleden) een zee was. Deze zee raakte als gevolg van natuurlijke processen ingesloten, ongeveer de situatie zoals met de Middellandse zee als de straat van Gibraltar gesloten zou zijn, en het mogelijk zou zijn om over land van Spanje naar Marokko te lopen. Nederland lag toen een stuk zuidelijker, waardoor het zeewater dusdanig warm was dat de verdamping sneller verliep dan dat rivieren het water weer konden aanvullen. Daardoor bleef er uiteindelijk een zoutvlakte over. Een hedendaags voorbeeld hiervan is de Bonneville Salt Flat in Utah, VS.

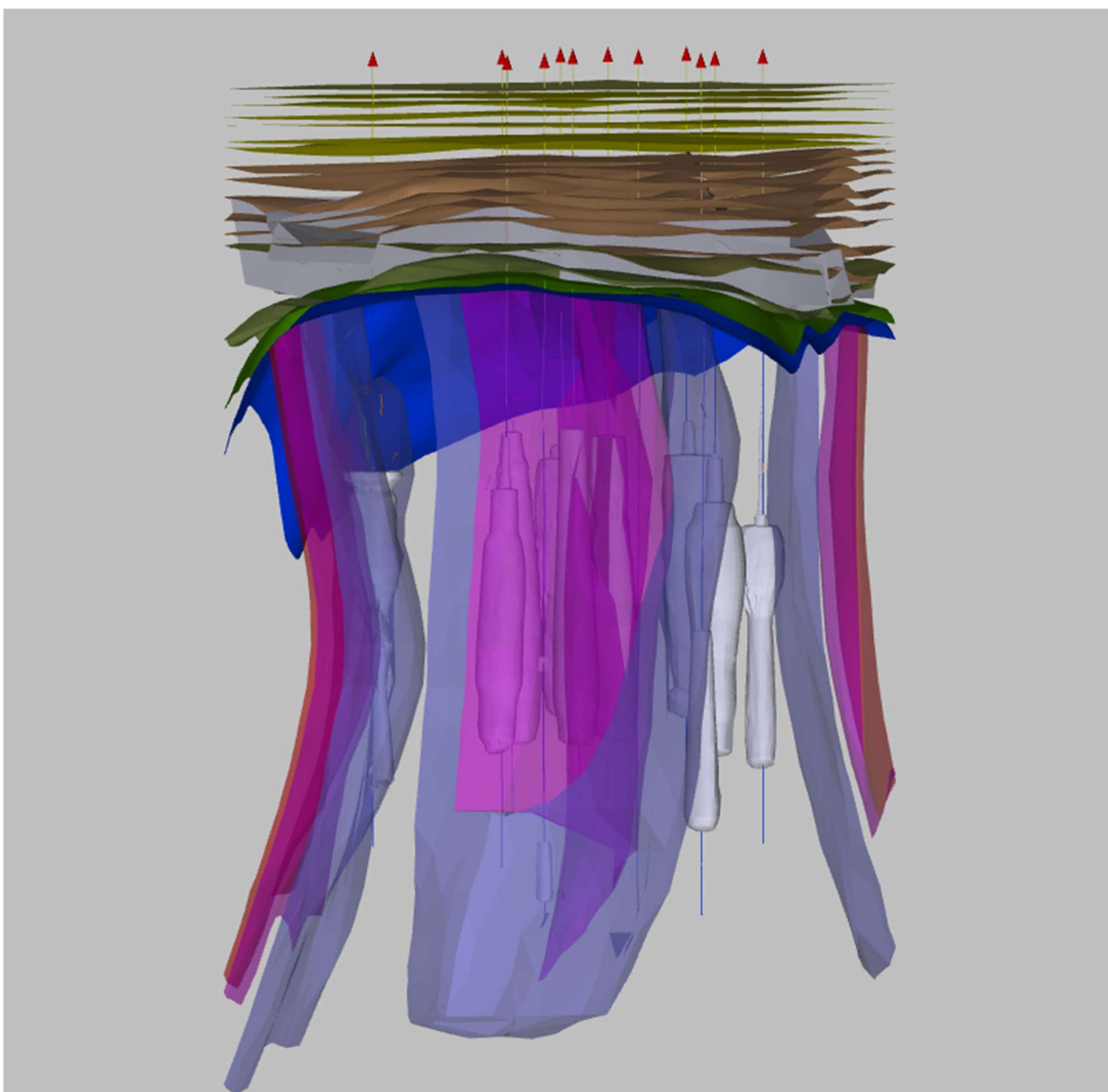
Boven op de zoutlaag kwamen later andere sedimenten te liggen waardoor het zout begraven werd. Deze lagen raakten versteend tot zandsteen-, schalie- en kalksteenlagen. Naarmate de zoutlaag verder begraven raakte, kwam deze dieper te liggen. Dit laagpakket raakte verstoord en vervormd in de geologische geschiedenis. Door tektonische spanningen kan de aardkorst vervormen, bijvoorbeeld bij gebergtevorming. Voor de ondergrond in Groningen had dit de volgende gevolgen: De zoutlaag met de lagen daarboven werd eerst uit elkaar getrokken, waardoor er breuken (afschuivingen) in het laagpakket ontstonden. Daarna werden in een fase van compressie de lagen weer in elkaar geduwd, en werden de eerder gevormde breuken gebruikt om langs te bewegen.

Door de warmte vanuit de aardkorst heeft de zoutlaag een hogere temperatuur dan die aan het aardoppervlak. Bij die temperatuur heeft steenzout de eigenschap dat het plastisch kan vervormen, als een soort zeer stroperige vloeistof. Daarnaast heeft steenzout een lagere dichtheid dan de bovenliggende gesteentelagen. Vergelijkbaar met olie dat bovenop water gaat drijven, heeft het zout daarom de neiging om z'n weg naar boven te vinden. De eerder gevormde breuken waren een zwakke plek in de bovenliggende lagen waarlangs het plastische zout zich een weg naar boven werkte. Maar naarmate het zout ondieper kwam te liggen, koelde het zout weer af en kon het minder makkelijk naar boven vloeien. Het zout stagneerde in een soort "zoutberg": een zoutpijl. Dit proces vond in meerdere fasen plaats, waarvan de laatste in het Laat-Krijt / vroeg tertiair (zie ook van Gent et al., 2010). Een zoutpijl kan in een paar miljoen jaar tot tientallen miljoenen jaren ontstaan (zie Chemia et al., 2018). Er zijn een aantal zoutpijlers in Nederland, met elk andere vormen. De zoutpijl bij Heiligerlee ziet er grofweg uit als onderstaand figuur.



Figuur 4: 3D-weergave van de zoutpijl bij Heiligerlee. Bron: TNO (via nlog.nl/steen-zout)

Doordat er binnen het zout verschillende lagen zitten die meegevoerd zijn naar boven kan de interne structuur complex zijn. De inwendige structuur is niet met zekerheid in z'n geheel in kaart te brengen, maar boringen leveren waardevolle informatie op. Met name nabij de boortrajecten is er informatie, die samen kan worden gevoegd in een 3D geologisch model.



Figuur 5: Voorbeeld uit het 3D geologisch model waarin ook de interne structuur (te zien aan de paarse en blauwe vlakken) van het zoutvoorkomen is weergegeven naast de bestaande cavernes in het veld. Elke nieuwe boring geeft nieuwe informatie over de interne structuur en kan leiden tot aanpassingen van het model. Doorkijk is grofweg naar het Noordwesten

3.2. Verwachte hoeveelheid winbaar zout / pekels

Artikel 25, lid 1, onderdeel b, van het Mijnbouwbesluit verlangt dat het winningsplan, bedoeld in artikel 34, eerste lid, van de wet, voor de winning van zout bevat: een opgave van de verwachte hoeveelheid te winnen pekels en zout en de samenstelling van het zout.

3.2.1. Volumes

[niet beschikbaar in publieke versie i.v.m. gevoelige informatie bedrijfsvoering]

3.2.2. Samenstelling

Het zout bevat tot 96% haliet. Verder worden er restanten van anhydriet, polyhaliet, kieseriet en sylviet (< 1%) in de pekel teruggevonden.

Representatieve waarden voor de gemiddelde samenstelling van de ruwe pekel zijn in tabel 2 opgenomen.

Stof	eenheid	Gemiddelde concentratie
NaCl	g/l	311,2
Kalium	mg/l	1.014
Calcium	mg/l	1.060
Magnesium	mg/l	216
Sulfaat	mg/l	4.224

Tabel 1: Gemiddelde samenstelling van de pekel.

4. Geomechanica

4.1. Geometrie zoutcavernes

Artikel 25, lid 1, onderdeel c, van het Mijnbouwbesluit verlangt dat het winningsplan, bedoeld in artikel 34, eerste lid, van de wet, voor de winning van zout bevat: een beschrijving van de ligging en de vorm van de holruimte (caverne) tijdens en na de winning.

Op basis van simulaties van het uitlogingsproces kan de hoeveelheid te winnen zout vooraf ingeschat worden. Daarmee kan ook het eindvolume van de caverne bepaald worden, binnen een onzekerheidsbandbreedte. Zo kan de geologie in het cavernebereik mogelijk niet overal steenzout zijn en kunnen er anhydriet-banken zitten. Deze lossen zelf niet in het water op en kunnen de plek waar uitloging wel plaatsvindt, beïnvloeden. Ook kan het zout op sommige plekken een iets andere samenstelling hebben waardoor het makkelijker of moeilijker oplost. Daardoor kan de exacte vorm van de daadwerkelijke zoutcaverne afwijken van het geïdealiseerde model. Tijdens de winningsfase zijn er reguliere sonarmetingen om dit tijdig vast te stellen, zodat de winning wel binnen een veiligheidsmarge blijft. De termijn voor sonarmetingen is elke 5 jaar. Dit kan korter zijn als daar aanleiding toe is vanuit het monitoringssysteem (druk/productiedata, microseismiciteit etc.). Dit staat nader in CSIMS beschreven. CSIMS staat voor Nobian's Cavern Stability and Integrity Management system, wat bijgevoegd is aan dit winningsplan. Dit document beschrijft hoe en waarom Nobian de caverne stabiliteit en -integriteit monitort en welke acties er genomen worden als dat nodig is. Tevens worden sonar metingen ook vastgelegd via het meetplan.

Ten opzichte van het winningsplan van 2003 en 2008 worden de cavernes nu beperkt in de hoogte en diameters voortvloeiend uit nieuwe inzichten met betrekking tot het gedrag van cavernes na afsluiting (ref KEM-17). Het uitgangspunt daarbij is dat het risicoprofiel van de cavernes voor de nazorgfase niet groter wordt bij verdere winning uit de cavernes. De maximale cavernediameters zijn voor Heiligerlee beperkt tot een maximaal gemiddelde diameter van 110 m (zie bijlage 14) in het dieptebereik waar dit nog niet bereikt is. De cavernes worden niet hoger worden gemaakt. Tevens heeft het Cavern Closure Consortium (CCC) in de afgelopen jaren wetenschappelijk onderzoek gedaan waarbij alle aanbevelingen uit KEM-17 opgevolgd zijn, toegespitst op het Heiligerlee veld. Het CCC-team laat daarmee zien hoe hard afsluiten op verantwoorde wijze kan plaatsvinden.

Het principe dat de verdere winning niet leidt tot substantieel andere risico's wordt ook gehanteerd voor de toekomstige winning. Nobian is van mening dat verdere winning niet leidt tot een ander risicoprofiel. Daarmee bedoelt Nobian dat het risico binnen dezelfde klasse blijft. Met grotere cavernevolumes zullen er marginale verschillen zijn, maar deze leiden niet tot een andere classificatie van de risico's, zoals dat beschreven is in het CSIMS.

De verwachte eindvolumes van de cavernes zijn in onderstaande tabel weergegeven:

Caverne	Verwachte volume start winningsplan (20 nov 2025) in m ³	Verwacht volume einde winning (in m ³)
HL-A*	4.622.588	4.622.588
HL-B*	4.263.531	4.263.531
HL-C*	4.784.179	4.784.179
HL-D*	3.216.753	3.216.753
HL-E*	2.957.507	2.957.507
HL-F	4.378.387	4.908.646
HL-G*	1.846.305	1.846.305
HL-H*	2.325.675	2.325.675
HL-I	2.965.736	4.337.899

HL-L	1.720.347	2.767.843
HL-M	847.604	2.553.328

*Tabel 2: Overzichtstabel verwachte cavernevolumes aan het einde van de winning. *HL-[A B C D E G H] worden niet langer gebruikt voor reguliere pekelpductie.*

Hoewel cavernes HL-[A B C D E G H] niet meer voor reguliere zoutwinning in aanmerking komen, wordt hieruit strikt genomen nog wel een geringe hoeveelheid zout gewonnen. Dit heeft te maken met beheersing van de drukopbouw in de caveerne en de voorbereiding tot permanent afsluiten (zie ook sectie 6.2.3 en 6.5.1). Om de druk voorafgaand aan de permanente afsluiting van de caveerne niet te hoog te laten worden, wordt op jaarbasis ongeveer 100 m³ pekelp per jaar afgelaten per caveerne (verschilt vanwege cavernevolumen). Ter vergelijking met normale zoutwinning (in de orde van tientallen m³ per uur), wordt deze hoeveelheid in de uitloofase binnen 2 uur al gewonnen. Deze pekelp wordt eveneens tot zout verwerkt en wordt daarom ook gezien als (passieve) zoutwinning.

In vergelijking met andere zoutwinning in Nederland blijven er grotere cavernes achter dan elders het geval is. Dat heeft ermee te maken dat de oplosmijnbouw op andere plekken meer toe beweegt naar “squeeze mining” waar er sprake is van relatief hoge caverneconvergentie ten opzichte van “cavern mining” zoals Nobian dat al jaren veilig uitvoert in diverse velden. De cavernes van Nobian liggen een stuk ondieper waardoor er minder caveerne convergentie is. Daardoor blijft er meer holruimte over. Een diepere caveerne zal tijdens de winningsfase (door kruip) al sneller kleiner worden, wat weer tot meer bodemdaling leidt. Echter wordt dit volume door uitloging weer gewonnen.

Het verwachte volume ten tijde van hard afsluiten ligt tussen twee grenzen, omdat dit sterk afhangt van de andere ontwikkelingen in het veld (zie hoofdstuk 6). In dit winningsplan zijn de verwachte volumes opgegeven in het geval van volledige zoutwinning (zie sectie 3.2.2). In dat scenario wordt geen rekening gehouden met het naverzadigings-scenario: het scenario waardoor Nobian op relatief korte termijn elders in het veld opslagcavernes kan realiseren zonder de noodzaak tot pekelplozingen. De verwachte eindvolumes voor de bestaande cavernes (beschreven in het winningsplan) is lager in het naverzadigingsscenario. Het verwachte volume ten tijde van hard afsluiten is niet eenduidig te geven, maar zal minder zijn dan het volume aan het einde van de winningsfase. De verwachting is dat de cavernes ongeveer 50.000 m³ in volume afnemen in de post-uitloofingsfase voorafgaand aan hard afsluiten.

4.2. Rheologie (gesteente mechanica)

Artikel 25, lid 1, onderdeel d, van het Mijnbouwbesluit verlangt dat het winningsplan, bedoeld in artikel 34, eerste lid, van de wet, voor de winning van zout bevat: een opgaaf van de gesteentemechanische berekeningen van de stabiliteit van de holruimte (caverne) tijdens en na de winning.

4.2.1. Kruipgedrag meten in het lab

Om de lange en zeer langetermijneffecten van zoutwinning in het gebied verder te onderzoeken, heeft Nobian de kruipeigenschappen van het steenzout opnieuw laten bepalen, volgens de laatste wetenschappelijke inzichten. Dit is gebaseerd op het wetenschappelijk onderzoek van het “Cavern Closure Consortium” (CCC). Deze groep experts is ook verantwoordelijk voor de KEM-17 studie (Kennis Effecten Mijnbouw). Hierin kwam nadrukkelijk naar voren dat de wijze waarop het zout zich gedraagt in de ondergrond beter bepaald moet worden, om zo goede voorspellingen te kunnen maken over de effecten van zoutwinning nadat de winning gestopt is. Het belangrijkste hierin is dat er rekening wordt gehouden met verschillende manieren waarop zout kan vervormen.

Voorheen was de standaard in de industrie om alleen “*dislocation creep*” te hanteren. Dit is een mechanisme dat beschrijft hoe snel zout kan vervormen onder een bepaalde belasting en temperatuur. Het mechanisme is niet afhankelijk van hoe groot de individuele zoutkristallen in het steenzout zijn. Daarnaast bestaat er een ander mechanisme namelijk “*pressure solution creep*”. Dit mechanisme is afhankelijk van zeer dunne laagjes water tussen zoutkristallen in. Als het zout onder spanning staat, kan er op sommige plekken zout oplossen in deze dunne waterlaag. Iets verderop, waar de spanning minder hoog, kan dit weer precipiteren (neerslaan). Dit tweede mechanisme werd voor lang tijd onvoldoende onderkent. Het mechanisme is namelijk factoren (veel) langzamer ten opzichte van “*dislocation creep*” onder de spanningstoestand en temperatuur in/ rondom cavernes tijdens zoutwinning. Echter, als de cavernes op den duur permanent afgesloten worden kan de spanningstoestand veranderen dat “*pressure solution creep*” wel een rol speelt. Dit effect moet daarom goed gekwantificeerd worden.

Het CCC heeft de kruipeigenschappen van het steenzout bepaald op basis van diverse informatiebronnen. Allereerst zijn gesteentemonsters (boorkern materiaal) opnieuw geanalyseerd om de opbouw van de zoutkristallen, die samen het steenzout vormen, beter in kaart te brengen. Hieruit volgt informatie over hoe groot de kristallen zijn voordat er een caverne gevormd werd. Vanuit deze boorkernen zijn er gesteentemonsters gekozen en getest in het lab van het “Institut für Gebergsmechanik” (IfG) in Leipzig. Een tweede set monsters is getest in een ander lab, dat in de “Altaussee mine” in dezelfde opstelling werkt als die uit het werk van Berest et al., (2019, 2023). Deze nieuwe testen zijn specifiek ontworpen om het mechanische gedrag van steenzout te onderzoeken in de spanningstoestand wanneer de cavernes afgesloten zijn: een lage verschilspanning. Een derde dataset zijn resultaten van eerdere testen uit het verleden, die gebruikt waren om “*dislocation creep*” te kalibreren (ijken).

Omdat binnen het steenzout kleine en grote kristallen zitten (“megagrains”) die enkele centimeters of meer in afmeting zijn, spelen deze grote kristallen een zeer beperkte rol in “*pressure solution creep*”. Er zijn immers relatief weinig korrelgrenzen waarlangs een waterlaagje bestaat. Afhankelijk van hoeveel grote korrels er aanwezig zijn, kan het effectieve “*pressure solution*” gedrag veranderen. Deze kristallen zijn ook te groot om het effect goed in het lab te onderzoeken. Bovendien is de diameter van kernmateriaal (doorgaans ~10 cm in diameter) soms al niet groot genoeg om een heel kristal te bevatten. Om deze redenen is er gekozen om dit effect te onderzoeken via computersimulaties. Hierin kunnen digitale gesteentemonsters van enkele meters vervormd worden, met daarin een verdeling van grote en kleinere kristallen zoals deze ook in de boorkernen gezien is.

De gecombineerde dataset bevat voor elk punt een (representatieve) kristalgrootte, temperatuur van het experiment, verschilspanning en de gemeten vervormingssnelheid (of kruipsnelheid), dus vier dimensies. In twee dimensies (bijvoorbeeld alleen kruipsnelheid en verschilspanning) is het goed voor te stellen hoe een lijn door datapunten heen te trekken is. Het CCC doet dit in vier dimensies volgens een statistisch model. Hiermee wordt een set parameters uitgerekend waarmee het gezamenlijke kruipgedrag als gevolg van “*dislocation creep*” en “*pressure solution creep*” voor elke kristalgrootte, temperatuur en spanningstoestand berekend kan worden.

4.2.2. Kruipgedrag terugrekenen via gemeten caverndruk en de geologische geschiedenis

Om te controleren of de kruipeigenschappen op basis van de labtesten accuraat zijn, worden de kruipeigenschappen ook bepaald door middel van andere technieken. Dit gebeurt op basis van geobserveerde drukopbouw in enkele cavernes die enige tijd stil hebben gestaan om diverse redenen. De drukopbouw kan nagebootst worden in een computer, waarbij de kruipparameters systematisch gevarieerd worden totdat de gesimuleerde drukopbouw goed overeenkomt met wat er gemeten is in het veld. Deze methode werkt goed voor de spanningstoestand in de cavernewand

tijdens winning, maar biedt minder houvast voor de toestand die verwacht wordt na het afsluiten van de cavernes. Een andere methode is op basis van computermodellen die berekenen hoe de zoutpijler in de ondergrond ontstaan is. Om de 3D-geologische structuur te kunnen verklaren, moet het steenzout een bepaalde viscositeit (stroperigheid) gehad hebben. Als het te stroperig was, kon de structuur niet ontstaan. En als het te vloeibaar was, zou het zout mogelijk nog ondieper zijn gekomen. De stroperigheid kan vertaald worden naar een bereik in kruipeigenschappen. Dit levert een bandbreedte op voor het kruipgedrag na het afsluiten van de grotte.

4.2.3. Bandbreedte in kruipgedrag

Kruipeigenschappen zullen in de ondergrond alsnog variëren als gevolg van korrelgrootte verdelingen en de hoeveelheid niet kruipende resten die er in het steenzout vastzitten. Deze variatie zorgt inherent voor onzekerheidsbandbreedtes in rekenmodellen. Om dit effect zo goed mogelijk te vatten heeft het CCC twee sets kruipeigenschappen opgeleverd: de verwachte kruip en de kruip in het snelste geval. De verwachte kruip is gedefinieerd als het beste gewogen gemiddelde van de beschikbare data. Voor de tweede variant (snelste geval) wordt uitgegaan dat alle kruip in het steenzout bepaald wordt door de kleine korrels, en dus dat de grotere korrels geen invloed hebben. Deze set kruipeigenschappen wordt gezien als conservatief, omdat dit meer nadelige mijnbouweffecten oplevert. Hierbij moet worden opgemerkt dat beide sets kruipeigenschappen inherent al aan de conservatieve kant zijn. Er is immers een lijn getrokken door alle beschikbare datapunten. Echter waren er in het laboratorium ook enkele kruiptests waar de vervorming bij lage verschillingsspanningen niet (significant) gemeten kon worden. Daarvan is de daadwerkelijke vervormingssnelheid dus lager dan meetbaar in het lab over een periode van ca. 50 dagen. Deze datapunten zijn niet meegenomen in de statistische analyse. De statistische analyse is daardoor gevoed met data van relatief snel kruipende experimenten en daardoor conservatief omdat de werkelijke kruip dus minder snel zal zijn. De inschattingen kunnen daardoor ook geen onderschatting van de kruipsnelheid zijn, omdat hogere kruipsnelheden binnen het meetbereik van de lab-testen hadden gelegen.

In de werkwijze van CCC is het mogelijk om op statistische wijzen een P50 en P90 etc. te bepalen als alleen de lab-testen worden meegenomen. Daarbij kan ook aan elk punt een bepaalde mate van zekerheid worden meegegeven, waarbij datapunten met een grotere onzekerheid een minder hoog gewicht hebben in de analyse, en daardoor relatief minder de richting van de kruip-curve beïnvloeden. Maar als ook andere informatie wordt meegenomen (beschreven in 4.2.2), is dit niet langer een optie. Als de kruipeigenschappen die indirect in het veld gemeten zijn (aan de hand van drukopbouw-curves) levert dit een kruip-curve op zichzelf op, met de onzekerheden die daarbij passen. Dit is niet samen te vatten in een enkel punt (+ gewicht) of enkele punten wat in de statistische analyse kan vallen, omdat daarmee willekeurigheid aan de analyse toegevoegd wordt. Er is daarom alsnog gekozen voor de “expert judgement” van CCC voor een verwacht en een conservatief scenario, waarbij zoveel mogelijk is aangesloten bij de beschikbare data.

Het klopt dat daarmee de mogelijkheid blijft bestaan dat de kruipsnelheid hoger is. Dit heeft echter ook als gevolg dat de grotte naar verwachting beter bestand is tegen drukopbouw boven lithostatisch, omdat spanningsverschillen sneller opgevangen worden door vervorming van de grotte. Veldtesten in dit drukbereik zullen nodig zijn om de kruipwetten beter te verifiëren.

Nadat de kruipwetten zijn vastgesteld, worden deze vervolgens gebruikt in verschillende computersimulaties, om zo de mijnbouweffecten te kunnen voorspellen. Hierbij wordt gekeken naar de drukopbouw in de cavernes na afsluiten, of dit naar verwachting binnen veilige limieten blijft, en of er interventies nodig zijn om het risico te verlagen (zie hoofdstuk 6.5). De kruipeigenschappen worden ook gebruikt voor verbeterde inschattingen van de bodemdaling. Dit is in detail beschreven in hoofdstuk 7.

4.2.4. Bros gedrag (dilatatie)

Als een spanningsverschil in het steenzout relatief snel ontstaat, kan het steenzout mogelijk niet snel genoeg vervormen via de plastische eigenschappen. Met andere woorden: kruip heeft tijd nodig. Als de plastische vervorming niet snel genoeg is, kan het gesteente op andere wijzen vervormen: door microcracks (haarscheurtjes) te vormen. Dit proces staat ook bekend als “dilatatie” in de gesteentemechanica. Het proces komt eerder voor als de temperatuur laag is, als de verschilspanning relatief hoog is en als de vervormingssnelheid relatief hoog is. Als er voldoende microcracks zijn ontstaan en ze dicht genoeg op elkaar zitten, kunnen ze samen een grotere crack vormen. Daardoor kan het gesteente uiteindelijk breken. Breuken kunnen grofweg op twee manieren ontstaan: 1) als openende (micro)crack, of 2) als een schuifvlak waarbij weerszijden van het schuifvlak langs elkaar bewegen. De openende crack kan op zichzelf een pad vormen waardoor vloeistoffen in het gesteente kunnen binnendringen (hydraulic fracturing).

Beide manieren kunnen leiden tot seismiteit (bodemtrillingen), maar bij een schuifvlak is er doorgaans meer energie aanwezig waardoor dit makkelijker te meten is. Voor beide type cracks speelt de vloeistofdruk tussen de zoutkristallen een belangrijke rol. Dit kan namelijk als een soort tegendruk de spanning in het gesteente verlagen. De zoutkristallen worden dan als het ware minder goed bij elkaar gehouden waardoor dilatatie makkelijker is. Echter heeft steenzout van nature een zeer lage doorlaatbaarheid (permeabiliteit) waardoor een hoge vloeistofdruk op de ene plek, bijvoorbeeld bij de cavernewand niet makkelijk doorwerkt naar een andere plek verder weg van de cavernewand. Meer hierover onder paragraaf 4.4.

De rekenmodellen van het CCC hebben op basis van verschillende methoden laten zien dat de dilatatiegrens niet overschreden wordt als uitgegaan wordt dat de vloeistofdruk niet doorwerkt tussen de zoutkorrels. Als dit wel wordt aangenomen (als conservatieve aanname) ontstaat er een beperkte zone boven het cavernedak waar er mogelijk wel dilatatie kan ontstaan. Het CCC geeft aan dat er meer onderzoek nodig is om precies te berekenen waar en wanneer dilatatie boven het cavernedak kan plaatsvinden, als dit überhaupt al het geval is. Daarbij moeten er mogelijk andere rekenmethoden ingezet worden om dit nader te bepalen, en zullen de testen in het veld dit “brosse” gedrag van zout verder in kaart te brengen.

4.3. Spanningstoestand in de zoutpilaar

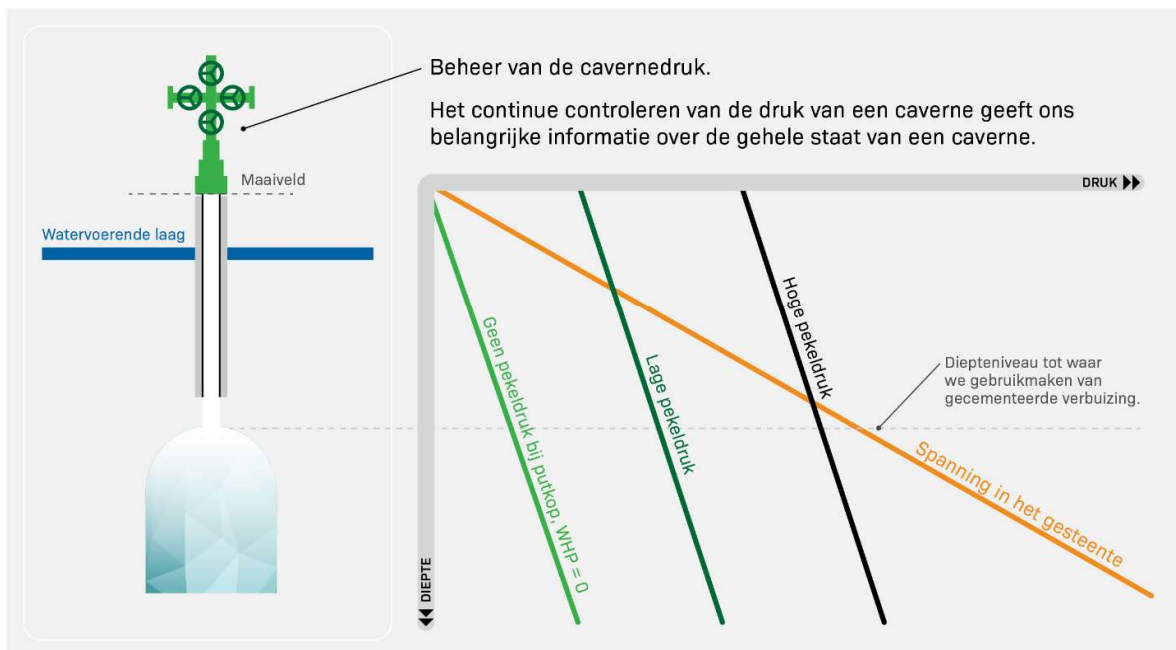
De kruipwetten beschrijven via een formule hoe snel het zout vervormt bij een bepaalde temperatuur, korrelgrootte en het spanningsverschil. Dit verschil is gedefinieerd als de spanningstoestand in het onverstoorde zout minus de pekeldruk. Dit verschil neemt toe met de diepte. Hoe groter het verschil, hoe sneller de kruip. Het is daarom van belang voor modelvoorspellingen om de startsituatie en de spanning in het steenzout goed in kaart te brengen.

In de onverstoorde situatie is de spanningstoestand in het steenzout in Heiligerlee het resultaat van het gewicht van de bovenliggende lagen. Omdat zout zich plastisch gedraagt in de ondergrond is de spanning in alle richtingen nagenoeg gelijk. De spanning neemt toe met de diepte met ongeveer 0.22 bar per meter binnen de zoutpilaar. Binnen de zoutpilaar kunnen er kleine verschillen zijn en kan de spanning in bepaalde richtingen iets hoger of iets lager zijn. Steenzout is immers nog steeds een vaste stof en geen vloeistof (waar dit soort verschillen niet kunnen bestaan). Als gevolg van deze kleine verschillen is de zoutdome ook in de geologische historie naar boven gekomen (onder andere). Aan de randen van de zoutpilaar is de spanningstoestand meer complex, en zijn de verschillen groter. Hier kan niet langer van dezelfde spanningsgradiënt in alle richtingen worden uitgegaan. Om die reden worden de zoutcavernes ook op voldoende afstand van de flanken ontwikkeld.

De druk in de pekeldruk neemt ook toe met de diepte, met ongeveer 0,12 bar per meter. Als er geen druk op de pekeldruk aan het maaiveld staat, betekent dit voor een cavernewand op 1 km diepte een drukverschil van 100 bar tussen de druk van het pekeldruk en de spanning in de cavernewand. Als er een druk op de wellhead van 40 bar zou staan, is dit verschil op 1 km diepte nog 60 bar.

Bovenstaande beschrijving is een versimpelde wijze om het drukverschil te bepalen. Zoals eerder beschreven kan de exacte spanningstoestand rondom de caveerne afwijken van de 0,22 bar per meter. Daarnaast kan de geometrie van de caveerne zelf ook zorgen dat er plekken zijn waar de spanningstoestand hoger of lager is. Nobian heeft al deze effecten ook laten meerekenen in de modellen van CCC. Op deze wijze wordt caveerne-specifiek de spanningstoestand berekend en worden de kruipeffecten in 3D in kaart gebracht, van winnings- tot en met de nazorgfase.

Eigenschappen en gedrag van cavernes



Figuur 6: schematische weergave van pekeldruk in een caveerne in relatie tot de druk die gemeten wordt aan het maaiveld. Spanning in het gesteente is indicatief voor de onverstoorde situatie zonder dat er een caveerne is, ofwel het "far field" spanningsveld. Door de aanwezigheid van de caveerne zelf zal de lijn anders lopen in de buurt van de caveerne, en kan ook veranderen als gevolg van de druk in de caveerne zelf.

4.4. Permeatiegedrag

Cavernes in steenzout worden al jaren gebruikt als betrouwbare, grootschalige opslagruimte van stoffen. Zo worden cavernes in Twente gebruikt als strategische olievoorraad. In Heiligerlee is er een stikstofopslag gerealiseerd. In de Heiligerlee-zoutpilaar wordt aardgas opgeslagen, als buffer voor de fluctuerende gasvraag door het jaar heen. Omdat de gasdruk in de cavernes niet afneemt in periodes dat er geen gas in- of uitgepompt wordt, laat dit zien dat het zout ondoorlaatbaar is binnen het drukbereik van het opgeslagen gas. Hetzelfde geldt voor pekeldruk, ook dit blijft langdurig op druk in zoutcavernes.

Laboratoriumtesten op natuurlijk steenzout laten ook zien dat het een zeer lage permeabiliteit heeft. Dit heeft onder andere te maken met het mechanische gedrag: als er überhaupt ergens pekeldruk of gas

in het zout zou binnendringen, kan het omringende zout dit weer afsluiten door het kruipgedrag. Dit kan echter veranderen als de vloeistofdruk in de buurt komt van de spanningstoestand in het gesteente. Het binnendringen van vloeistof in normaalgesproken ondoordringbaar steenzout wordt permeatie genoemd. Deze situatie komt niet voor tijdens de winningsfase, en kan pas voorkomen als de cavernes permanent afgesloten zijn. In het voorbeeld van de vorige paragraaf (een stuk cavernewand op 1 km diepte) zou dit gebeuren als de pekeldruk op het maaiveld richting de 100 bar gaat. Als er dan een kleine opening in het steenzout ontstaat, is de pekeldruk daarbinnen hoog genoeg om het kruipgedrag van het steenzout tegen te gaan (bij een te lage druk kan de opening weer dicht kruipen). Er kan dan een situatie ontstaan dat het steenzout lichtelijk doorlatend wordt, waarbij pekkel kan binnendringen via een netwerk van kleine openingen tussen zoutkristallen, maar ook tussen zoutkristallen en onoplosbaar (niet-steenzout) materiaal (bijvoorbeeld anhydriet). Ten slotte kan het onoplosbare materiaal zelf ook nog (lichtelijk) doorlaatbaar zijn. Er is een bandbreedte hoe dit permeatie-netwerk eruit kan zien. Deze bandbreedte ligt tussen een fijnmazig en verspreid netwerk een meer geconcentreerde permeatie als gevolg van een “lokalisatie”-effect.

Nobian heeft binnen het CCC-onderzoek ook onderzoek laten doen naar het permeatiegedrag van Heiligerlee zout. Er zijn meerdere metingen gedaan in een laboratoriumomgeving, maar de resultaten lopen te ver uiteen om hier eenduidige betrouwbare voorspellingen op te baseren (zie CCC 2024, bijlage 1). Dit geldt zowel voor de manier waarop pekkel in het zout binnendringt als het verschil tussen de druk in de caveerne en de spanningstoestand in de cavernewand wanneer dit plaatsvindt. Bovendien zijn resultaten uit het lab gebaseerd op gesteentemonsters van enkele centimeters, terwijl de caveerne enkele tientallen meters breed tot honderden meters hoog is. De invloed van grotere geologische structuren binnen het zout, bijvoorbeeld een anhydriet-rijke laag, kan niet vooraf bepaald worden.

Op basis van de labtesten en ervaring van de experts uit het CCC vanuit andere projecten zijn er diverse manieren waarop permeatiegedrag mogelijk zou kunnen werken getest. Hierin wordt zowel de ondergrens vanaf wanneer het permeatieproces kan plaatsvinden veranderd als de mate waarin de permeabiliteit verhoogt. De verwachting is dat hiermee de bandbreedte in permeatiegedrag voldoende afgedekt is, maar het bewijs moet volgen uit veldtesten.

Permeatie bij hogere pekeldruk kan een manier zijn waarop pekkel, dat eerst in de caveerne zit, binnendringt in het zoutgesteente van de cavernewand en het cavernedak en daar voor een gedeelte achterblijft. Dit vindt met name boven in de caveerne plaats, nabij de laatst gecementeerde casingschoen en het cavernedak. Omdat daar de spanning in het steenzout het laagste is, komt de pekeldruk daar als eerste boven een dergelijke ondergrens voor permeatie, (uitgaande van de verwachte situatie dat de pekeldruk geleidelijk toeneemt). Als de pekkel binnendringt in het steenzout, zorgt dit effectief voor een natuurlijk drukaflaatmechanisme waardoor de druk minder snel toeneemt, en uiteindelijk constant blijft, de evenwichtsdruk.

De modellen van het CCC hebben laten zien dat de bandbreedte van het permeatiegedrag een licht effect kan hebben op de evenwichtsdruk die ontstaat na permanent afsluiten van de cavernes. Voor het moment van afsluiten, speelt permeatie geen rol omdat de druk dan door middel van monitoring en aflaten wordt gecontroleerd. De bandbreedtes in kruipgedrag hebben een groter effect op de drukopbouw na afsluiting dan de bandbreedtes in permeatiegedrag. Het is mogelijk om deze verder af te perken (zie 4.2). Met betrekking tot het kleiner maken van de bandbreedte bij permeatiegedrag blijft Nobian zich inzetten om meer onderzoek te doen in het veld. Nobian ontwikkelt methoden in samenwerking met wetenschappelijke instituten om permeatiegedrag in boorgaten te meten. Daarbij is ook van belang dat er meerdere posities in de zoutdome getest worden om zo een kaartbeeld van het permeatiegedrag inzichtelijk te krijgen.

Tevens wordt onderzocht of via veldtesten de drukopbouw kan worden gemeten, op waarden boven de gebruikte limieten voor de productiefase. Op die wijze kan het permanent afsluiten van de cavernes getest worden, maar mogelijk brengt dit risico's met zich mee voor de putintegriteit. Hiervoor zal Nobian via de internationale organisatie die zich richt op cavernemijnbouw (Solution Mining Research Institute, SMRI) onderzoek uitvoeren, en dit met deze organisatie delen. Nobian is voornemens de resultaten internationaal te publiceren.

4.5. De cavernedruk in evenwicht

Zoals in de vorige paragraaf vermeld, speelt permeatie pas een rol als de cavernes permanent afgesloten zijn en er geen handmatige aanpassingen in druk meer mogelijk zijn. De verwachting is dat de druk zal toenemen. Allereerst met name door thermische effecten (zie 6.1) die later zullen afzakken waardoor de kruipeffecten van het steenzout de overhand krijgen. Na verloop van tijd zal er een evenwicht ontstaan tussen de afname van cavernevolume door kruipeffecten, en het volume van wat er uit de caverne stroomt door permeatie. Als deze evenwichtsdruk met voldoende zekerheid voorspeld kan worden en niet boven vooraf gestelde acceptabele limieten komt, kan de caverne permanent afgesloten worden.

Het CCC-onderzoek heeft laten zien dat het permanent afsluiten van de cavernes mogelijk is. Na de post-uitlooffase en hard-afsluiten loopt de druk op en wordt permeatie effectiever. Dat kan dan op zichzelf weer zorgen voor druk verlaging. Deze twee mechanismen zorgen voor een evenwicht wat binnen een bandbreedte valt. Binnen een 3D model kan het dan zijn dat het afsluiten van de ene caverne al zorgt voor een verandering in waar er permeatie plaatsvindt, wat mogelijk een andere caverne kan beïnvloeden. Het exacte evenwicht tussen de twee mechanismen is nog niet eenduidig te berekenen en vraagt veldtesten om de rekenresultaten te valideren en de bandbreedte van de modelvoorspellingen te verfijnen. Echter is het op basis van de snelheid van drukopbouw en de maximale druk die behaald wordt zo dat vanuit de computersimulaties gezien is het inzetten van mitigerende maatregelen niet nodig is. Een uitzondering hierop is de wachtfase waarin thermisch evenwicht benaderd wordt, wat al in de generieke wijze van afsluiten opgenomen zit.

De geavanceerde computermodellen van het CCC worden gebruikt om het gedrag van het caverneveld zo goed mogelijk te kunnen voorspellen. Het CCC-rapport is ook gereviewed door prof. Em. Chris Spiers (Spiers 2024, bijlage 2). Over de technische werking van deze modellen, en hoe Nobian de resultaten van de modellen gebruikt is een additionele memo opgesteld (Nobian 2024b, zie bijlage 13).

Nobian blijft zich inzetten om het cavernegedrag op lange termijn goed te kunnen voorspellen. Daarnaast onderzoekt Nobian de mogelijkheden tot mitigerende maatregelen, mocht het zo zijn dat deze nodig zijn om eventueel nadelige mijnbouweffecten verder te minimaliseren. Hiervoor vormen veld-metingen een belangrijk middel, zoals het CCC-rapport ook aanbeveelt.

Het werk van CCC heeft laten zien dat er mitigerende maatregelen mogelijk zijn om de opbouw van cavernedruk vooraf naar een bepaalde evenwichtswaarde te sturen, of om de drukopbouw door bijvoorbeeld thermische effecten te dempen. Hierbij kan mogelijk worden gedacht aan het injecteren van stoffen in de cavernes. Als hierbij pekel vrijkomt, wordt dit gezien als een vorm van winning, en moet daarom in dit winningsplan ondervangen worden. In het verwijderingsplan gaat Nobian nader in op de exacte wijze waarop dergelijke methoden ingezet kunnen worden.

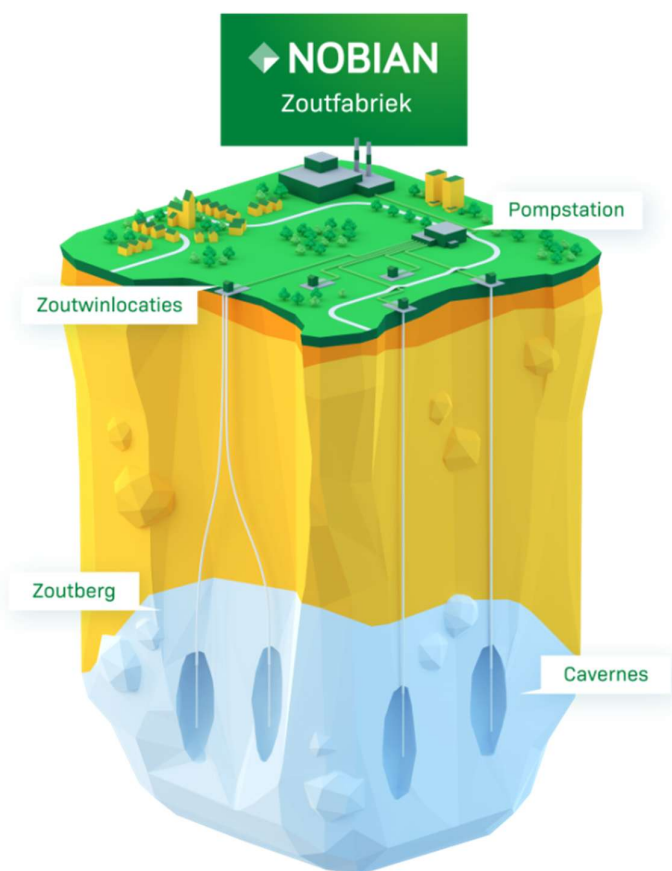
5. Mijnbouwwerk

5.1. Beschrijving en ligging mijnbouwwerk

Artikel 25, lid 2, van het Mijnbouwbesluit verklaart dat: Artikel 24 eerste lid, onderdelen c tot en met g, en l tot en met s, en Artikel 24, tweede lid, van het Mijnbouwbesluit van overeenkomstige toepassing zijn voor de winning van zout.

Artikel 24, lid 1, onderdeel d, van het Mijnbouwbesluit verlangt dat het winningsplan, bedoeld in artikel 34, eerste lid, van de wet, voor de winning van koolwaterstoffen bevat: een beschrijving van het mijnbouwwerk en de ligging ervan.

De putten in dit winningsplan bevinden zich nabij de Tranendallaan te Westerlee, ten zuiden van de spoorlijn Groningen-Bad Nieuweschans, in de Provincie Groningen en binnen het waterschap Hunze en Aa's. De putten zijn via ondergronds leidingwerk verbonden met het pompstation, gelegen aan de Tranendallaan 17, 9678 PB, te Westerlee. Vanuit dit pompstation is er een verbinding met de fabriek in Delfzijl, waar de ruwe pekkel verwerkt wordt tot hoogwaardige zoutproducten (Chemiepark Delfzijl, Oosterhoorn 4, 9936 HD, Farsum). Tevens zijn er verbindingen naar Zuidwending, waar Nobian ook zout wint. Hieronder volgt een schematische weergave van het mijnbouwwerk.



Figuur 7: Illustratie waarin de koppeling tussen caveerne en bovengrondse installatie schematisch wordt weergegeven

5.2. Aantal putten in het veld

Artikel 25, lid 2, van het Mijnbouwbesluit verklaart dat: Artikel 24 eerste lid, onderdelen c tot en met g, en l tot en met s, en Artikel 24, tweede lid, van het Mijnbouwbesluit van overeenkomstige toepassing zijn voor de winning van zout.

Artikel 24, lid 1, onderdeel e, van het Mijnbouwbesluit verlangt dat het winningsplan, bedoeld in artikel 34, eerste lid, van de wet, voor de winning van koolwaterstoffen bevat: een opgave van het aantal boorgaten (putten) dat bij de winning wordt gebruikt.

Dit winningsplan beschrijft de zoutwinning uit 4 putten: HL-[F I L M]. Daarnaast worden in dit plan ook de overige cavernes [A B C D E G & H] beschreven. Hoewel deze cavernes niet meer voor reguliere (actieve) zoutwinning in aanmerking komen, wordt hieruit strikt genomen nog wel een geringe hoeveelheid zout gewonnen. Dit heeft te maken met beheersing van de drukopbouw in de caveerne en de voorbereiding tot permanent afsluiten (zie ook sectie 6.2.3 en 6.5.1). Om de druk voorafgaand aan de permanente afsluiting van de caveerne niet te hoog te laten worden, wordt op jaarbasis ongeveer 100 m³ pekkel per jaar afgelaten per caveerne (verschilt vanwege caveernevolume). Deze pekkel wordt eveneens tot zout verwerkt en wordt daarom ook gezien als (passieve) zoutwinning. Het betreft hier echter acties die als doel hebben om de locaties veilig achter te laten na afronding van de mijnbouw.

5.3. Volgorde en tijdsbestek aanleg putten

Artikel 25, lid 2, van het Mijnbouwbesluit verklaart dat: Artikel 24 eerste lid, onderdelen c tot en met g, en l tot en met s, en Artikel 24, tweede lid, van het Mijnbouwbesluit van overeenkomstige toepassing zijn voor de winning van zout.

Artikel 24, lid 1, onderdeel f, van het Mijnbouwbesluit verlangt dat het winningsplan, bedoeld in artikel 34, eerste lid, van de wet, voor de winning van koolwaterstoffen bevat: een opgave van de volgorde en het tijdsbestek van het maken van de boorgaten (putten).

Niet van toepassing, putten zijn reeds aangelegd. Het is echter wel mogelijk dat er onderhoudswerkzaamheden plaatsvinden waarbij het verbuizingsschema kan worden aangepast voor put-integriteit.

5.4. Ligging, en opbouw van de putten

Artikel 25, lid 2, van het Mijnbouwbesluit verklaart dat: Artikel 24 eerste lid, onderdelen c tot en met g, en l tot en met s, en Artikel 24, tweede lid, van het Mijnbouwbesluit van overeenkomstige toepassing zijn voor de winning van zout.

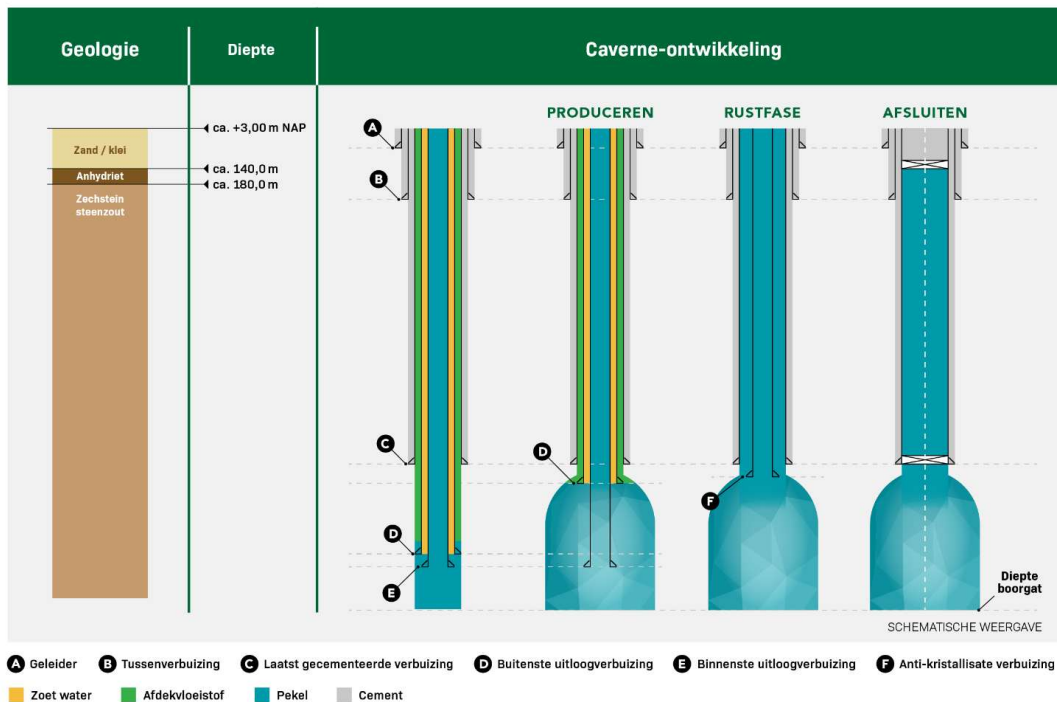
Artikel 24, lid 1, onderdeel g, van het Mijnbouwbesluit verlangt dat het winningsplan, bedoeld in artikel 34, eerste lid, van de wet, voor de winning van koolwaterstoffen bevat: een opgave van de ligging, lengte en diameter van de verbuizing van de boorgaten (putten).

Een overzicht van de locaties van de putten is te vinden in onderstaande tabel.

Boring		Coördinaten (RD-systeem)		Start winning
Afk.	Putcode op nlog.nl	x	y	jaar
HL-A	WSN-04	262.994,47	574.992,84	1957
HL-B	WSN-05	263.135,23	574.523,14	1957
HL-C	WSN-06	263.356,59	574.158,30	1958
HL-D	WSN-07	263.029,84	574.749,56	1958
HL-E	WSN-08	263.329,05	574.373,56	1958
HL-F	WSN-09	263.481,74	574.610,06	1962
HL-G	WSN-10	263.363,74	574.849,12	1964
HL-H	WSN-11	263.317,16	573.849,11	1964
HL-I	WSN-12	263.934,38	573.626,68	1966
HL-L	WSN-14	263.817,00	574.256,00	1999
HL-M	WSN-15	263.593,70	574.047,59	2005

Tabel 3: Overzicht van de boorputten in dit winningsplan.

Generiek verbuizingschema



Figuur 8: Generiek verbuizingschema tijdens verschillende fases van caverneoperatie

Onderstaande tabel geeft de status eind 2023 weer (tabel 5). Afhankelijk van de caverne-specifieke uitlogingsstrategie kunnen dieptes van de verbuizingen veranderen. Daarnaast zijn cavernes HL-[A B C D E G H] al uit productie en zijn de putten ingericht met enkel een “inner string” om daarmee de pekeldruk af te laten en de mogelijkheid te hebben om periodiek met zoet water te spoelen. Daarmee wordt kristalvorming in de verbuizing verholpen, waarmee het risico op drukopbouw gelimiteerd is.

Boring	Diameter					
	Schoendiepte m -mV					
	Conductor	Intermediate casing	Laatst gecementeerde casing	Productie buizenserie I Outer string	Productie buizenserie II Inner string	Buizenserie verdunningswater Injection string
HL-A	18"	-	13 3/8"	-	7"	-
	24,3	-	501,8	-	718,4	-
HL-B	18"	-	13 3/8"	10 3/4"	-	-
	24,8	-	480,6	780,3	-	-
HL-C	18"	-	13 3/8"	10 3/4"	7"	1,66"
	28,1	-	447,6	1.213,7	1.274,0	1.203,6
HL-D	19"	13 3/8"	9 5/8"	7"	4 1/2"	-
	32,5	438,5	722	1.112	1.145	-
HL-E	19"	13 3/8"	9 5/8"	-	-	1,66"
	31	280,7	745,1	-	-	711,0
HL-F	18 5/8"	-	13 3/8"	10 3/4"	7"	1,66"
	25,6	-	514,8	824,9	865,7	800,0
HL-G	20"	-	13 3/8"	-	6 5/8"	-
	39,75	-	516,4	-	921,8	-
HL-H	510 mm	-	13 3/8"	-	6 5/8"	-
	39,5	-	506,7	-	833,4	-
HL-I	20"	-	13 3/8"	10 3/4"	7"	1,66"
	34,7	-	467,3	1.188,0	1.209,0	1.182,0
HL-L	32"	18 5/8"	13 3/8"	10 3/4"	7"	1,66"
	31	442,5	639,6	1.414,4	1.452,6	1.381,3
HL-M	28"	18 5/8"	13 3/8"	10 3/4"	7"	1,66"
	55	431	654,2	1.559,8	1.598,3	1.550,0

Tabel 4: Verbuizingsschema's voor de putten HL-A t/m I en HL-L, M. Laatste status ten tijde van indiening winningsplan. Als gevolg van verdere winning kan de actuele stand voor de productieverbuizing en verdunningswater bij het ingaan van dit winningsplan anders zijn.

6. Wijze van winning

6.1. Aanvang en duur van de winning

Artikel 35, lid 1, onderdeel b, van de Mijnbouwwet verlangt dat het winningsplan ten minste een beschrijving bevat van: het aanvangstijdstip en de duur van de winning.

Dit winningsplan beschrijft de verlenging van een huidig winningsplan. Dit plan beschrijft de periode vanaf 20 november 2025 tot en met 31 december 2035 met betrekking tot de fase: de winning van zout. Na deze fase blijft Nobian actief in het veld om de cavernes veilig af te sluiten. Afhankelijk van hoe de specifieke winning per caveerne plaatsvindt, kan het zijn dat de maximale winbare hoeveelheid steenzout eerder dan 2035 bereikt is, of überhaupt niet bereikt wordt aan het eind van 2035. Dit heeft te maken met de gewenste uitloogsnelheid waarmee andere cavernes in het veld ontwikkeld zullen worden, bijvoorbeeld voor waterstofopslag. Als deze opslagruimte snel beschikbaar moet zijn, is het nodig om de cavernes in dit winningsplan te gebruiken als naverzadigingscaverne. Als dit echter niet tot uitvoering komt, verwacht Nobian de cavernes te blijven gebruiken voor “reguliere zoutwinning” zoals dat sinds 1967 in het veld gebeurt, totdat de cavernes het ontworpen maximum bereikt hebben.

Nobian stopt de actieve uitlogging per caveerne als aan één van de volgende grenzen bereikt is:

- 1) het maximaal te winnen volume aan pekkel per caveerne binnen veiligheidslimieten (diameter en hoogte);
- 2) maximale afmetingen van een caveerne
- 3) de maximale bodemdaling;
- 4) de begrenzing binnen de tijd van het geldende winningsplan (eind 2035).

Na het beëindigen van de actieve uitlogging vindt technisch gezien nog zeer beperkte winning plaats als gevolg van de drukbeheersing van de cavernes. Deze bedraagt per caveerne circa 100 m³ pekkel per jaar.

6.2. Wijze van winning en daarmee verband houdende activiteiten

Artikel 35, lid 1, onderdeel c, van de Mijnbouwwet verlangt dat het winningsplan ten minste een beschrijving bevat van: de wijze van winning alsmede de daarmee verband houdende activiteiten.

Artikel 25, lid 2, van het Mijnbouwbesluit verklaart dat: Artikel 24 eerste lid, onderdelen c tot en met g, en l tot en met s, en Artikel 24, tweede lid, van het Mijnbouwbesluit van overeenkomstige toepassing zijn voor de winning van zout.

Artikel 24, lid 1, onderdeel c, van het Mijnbouwbesluit verlangt dat het winningsplan, bedoeld in artikel 34, eerste lid, van de wet, voor de winning van koolwaterstoffen bevat: een beschrijving van de wijze van de winning.

Nobian wint zout door middel van oplosmijnbouw. Door zoet water in een boorgat in het zoutvoorkomen te pompen, lost een deel van het aanwezige zout aan de rand van de caveerne op. Het water met het opgeloste zout wordt vervolgens als pekkel (met volledige verzadiging) weer naar de oppervlakte gepompt, waarna de pekkel gezuiverd en ingedampt kan worden (installatie binnen Chemie Park Delfzijl).

6.2.1. Reguliere pekkelwinning

Cavernes worden qua diepte gefaseerd uitgelooagd, van onder naar boven. Na het maken van een boorgat blijft het diepste gedeelte van het boorgat zonder verbuizing achter, het zogeheten “open hole”. Dit is het dieptebereik waar een caveerne gevormd kan worden. Hierin worden drie

cavernes in volume toenemen. Met onverzadigde pekkel blijft de concentratie te laag om efficiënt door de fabriek verwerkt te worden tot zoutproducten. Bij de maximale indampingscapaciteit kan dan immers minder zout uit de pekkelvolumes worden geproduceerd, wat tot hoge kosten en een lage energie-efficiëntie leidt. Om de concentratie van de “slappe pekkel” te verhogen kan dit in de huidige cavernes geïnjecteerd worden. Dit is in de plaats van zoet water en dit proces heet naverzadigen. De hoeveelheid uitloging uit de huidige cavernes neemt dan af omdat er licht zout water de caveerne in gaat. Het zout dat al in de oplossing zit, hoeft dan niet meer uit de naverzadigings caveerne gewonnen te worden.

6.2.3. Overige pekkelwinning

Voor cavernes waar niet langer actief uit geproduceerd wordt, is het noodzakelijk om de druk niet te hoog te laten oplopen om de caveerne- en putintegriteit te behouden. De druk kan beheerst worden door periodiek druk af te laten. Hierbij kunnen er enkele tientallen tot honderden kubieke meters aan pekkel vrijkomen, wat verwerkt wordt via het bestaande leidingwerk in de fabriekslocatie. Deze pekkel wordt eveneens tot zout verwerkt en wordt daarom ook gezien als (passieve) zoutwinning.

Ten slotte kan pekkelwinning plaatsvinden als er andere stoffen in de cavernes gepompt worden die de aanwezige pekkel verdrijven. Dit kan voorkomen als er mitigerende maatregelen nodig blijken te zijn om de opbouw van cavernedruk te beperken.

Nobian voornemens om middels een veldtest te verifiëren welke drukopbouw er optreedt bij het vullen van cavernes (zie paragraaf 6.5.1). Het CCC-onderzoek laat immers zien dat er een vertragend effect zichtbaar is door middel van bijvoorbeeld een beperkte hoeveelheid inert gas wat geen reactie veroorzaakt achter te laten in de cavernes, of door de caveerne gedeeltelijk op te vullen met een vaste granulaire stof. Ook hierbij is het nodig om een beperkte hoeveelheid pekkel uit de cavernes te halen en te verwerken via de bestaande installatie. Omdat er geen reguliere (actieve) pekkelwinning meer zal plaatsvinden uit HL-H, wil Nobian deze caveerne gebruiken als veldtest om de effecten van opvullen op veldschaal te bestuderen.

Beschrijving mogelijke vulstoffen en eigenschappen

Het CCC-rapport laat via modelering zien dat hard-afsluiten haalbaar is. Het rapport geeft tevens aan dat de modeleringen gevalideerd moeten worden met veldtesten om de bandbreedte van de modellen te verfijnen. De veldtesten bestaan uit twee componenten (zie paragraaf 4.5) namelijk:

- validatie van numerieke model resultaten door veldmetingen en
- het effect op de drukopbouw door het partieel opvullen van cavernes.

Voor het partieel opvullen van een caveerne, met als doel de snelheid van drukopbouw te verminderen en de uiteindelijke evenwichtsdruk na hard afsluiten te verlagen, is een vaste stof nodig. Als mogelijke vulstof onderzoekt Nobian momenteel zandig materiaal dat veilig is voor mens en milieu. De evaluatie van de vulstof moet voldoen aan de technische- en duurzaamheidscriteria van de gehele keten. Hierbij zijn de factoren als beschikbare hoeveelheid, logistiek & infrastructuur en de technische installatie om het vulmateriaal te verpompen naar de cavernes van belang. Ook zal het erosieve gedrag en mate van integriteitsbeheersing op bovengrondse leidingen zorgvuldig moeten worden uitgewerkt.

Deze vaste stof zal aan een aantal eigenschappen moeten voldoen. Zo moet de stof via de huidige verbuizing in de caveerne gebracht kunnen worden. De ingebrachte granulaire (zandige) vaste stof zal neerdalen op de bodem van de caveerne. Eenmaal op de caveernebodem zal de vaste stof onder het eigen gewicht tot een tegendruk van de zoutkruip leiden, boven op de tegendruk die de

pekeldruk daar al biedt. Dit leidt tot een lagere verschilspanning aan de cavernewand. Hierdoor stopt de kruip niet in z'n geheel maar neemt in snelheid af. Een gasbuffer (de andere door CCC voorgestelde methode) zou dit effect niet hebben. Daarom onderzoekt Nobian een vaste stof als vulmiddel. Bijkomend voordeel is dat de bodemdaling verder beperkt zal worden doordat het caveerne volume dat kan convergeren minder is, doordat de pekkel vervangen is door een vast materiaal.

Afhankelijk van de effectiviteit van permeatie bij het cavernedak kan de uiteindelijke evenwichtsdruk ook lager zijn. Hiervoor is het van belang wat de dichtheid van het materiaal is wanneer het neergedaald is op de caveerne bodem (vaste stof + pekkel in de tussenruimte). Daarbij is ook belangrijk om in kaart te brengen hoe dit verandert naar mate het materiaal verder in elkaar gedrukt wordt door caveerne-convergentie. Daarnaast bepaalt het vervormingsgedrag van het granulaire vaste materiaal als bulk in hoeverre het gevulde deel van de caveerne nog kan convergeren (en daarmee tot drukopbouw en bodemdaling kan leiden). Het materiaal zal chemisch stabiel moeten zijn onder de omstandigheden om ook op de lange termijn van de mechanische eigenschappen uit te kunnen gaan. Bovendien kan chemische instabiliteit leiden tot contaminatie van de pekkel. Bij het injecteren van de vaste stof wordt pekkel verdreven, de verdrongen pekkel wordt gezien als een vorm van (passieve) winning. Ten slotte heeft het mengsel van vaste stof met pekkel zeer waarschijnlijk een lagere thermische capaciteit ten opzichte van pekkel. Als gevolg daarvan is er minder warmte nodig om het mengsel op te warmen. Bij gelijke warmteflux vanuit het omringende gesteente zal de caveerne daardoor sneller opwarmen, wat de fase om thermische evenwicht te benaderen zal verkorten.

Voor de veldtest veronderstellen we het gebruik van een zandig materiaal. De eigenschappen van dit zandige materiaal zijn getest en uit de korrelverdeling is dit geclassificeerd als fijn ophoog zand met een lage industriële en bouw toepassing. Dit zandig materiaal verstoort niet de gangbare afzetmarkten.

6.2.4. Monitoring tijdens winningsfase

Nobian borgt de stabiliteit en integriteit van de cavernes middels het Cavern Stability and Integrity Management System (CSIMS). Om te beginnen is er de continue monitoring van procesgegevens, zoals de druk (afdekvloeistofdruk, waterdruk, pekeldruk) en debieten (volume in/uit cavernes). Via deze gegevens aan het aardoppervlak (putkop) is de druk in de caveerne indirect te bepalen tijdens productie. Voor de cavernes in Heiligerlee zijn alle metingen digitaal met een frequentie van eens per 10 seconden of vaker.

Cavernevorm controleren

Periodiek wordt de productie uit cavernes stilgelegd om de cavernevorm te controleren. Dit wordt gedaan met sonarmetingen. Speciaal ontworpen meetapparatuur wordt via de verbuizing binnenin de caveerne gebracht. Hier laat het apparaat een akoestische puls los in een bepaalde richting die door de cavernewand gereflecteerd wordt om vervolgens weer opgevangen te worden door de meetapparatuur. Vanuit hoe lang het signaal onderweg was, wordt de afstand tot de cavernewand in die specifieke richting bepaald. Door het apparaat te draaien kan een 2D-doorsnede bepaald worden, en door het apparaat ook op andere diepten te laten meten kunnen de 2D-doorsnedes aan elkaar gekoppeld worden tot een 3D-weergave. Met de 3D-weergave van de caveerne wordt gecontroleerd of de uitloging volgens plan plaatsvindt. Indien nodig wordt bijgestuurd om de caveerne in de gewenste vorm te blijven ontwikkelen.

Microseismisch meetnet

Nobian heeft sinds 2019 een microseismisch meetnet in het gebied actief. Deze gegevens worden gedeeld met het KNMI. De sensoren staan dicht bij elkaar waardoor het systeem van Nobian lagere magnitude microseismische trillingen opvangen. De ervaring is dat het meetnet van Nobian op alle plekken binnen het meetnet (dus tussen de stations in) een magnitude vanaf -0.7 altijd kan detecteren. Daarnaast kan de locatie van deze trilling bepaald worden, zodat bekeken kan worden of er een verband is met de activiteiten bij een bepaalde caverne. Ter vergelijking, voor heel Nederland is deze ondergrens tussen de $M=1.5$ en $M=2.0$, en in Groningen (waar het landelijke meetnet vanwege de voormalige gaswinning sterk verdicht is) $M=0.5$. Het meetnet van Nobian heeft dan ook niet als doel om uitspraken te kunnen doen in gevallen van schade door seismiciteit, maar is ingericht om de stabiliteit van de cavernes te monitoren. Echter, zwaardere trillingen worden natuurlijk wel gemeten. Nobian deelt de ruwe, onverwerkte metingen met het KNMI zodat het KNMI onafhankelijk de data kan verwerken als daar een aanleiding voor is. Sinds het meetnet actief is, zijn er geen trillingen waargenomen waarbij er schade vermoed zou kunnen worden. Meer hierover in paragraaf 7.3.

Monitoring bodemdaling & waterpassing

Bodemdaling wordt gemonitord door middel van waterpas hoogtemeting campagnes in het veld. Nobian laat dit minstens elke 5 jaar doen, mogelijk vaker als daar aanleiding voor is. De data hiervan wordt gedeeld met TNO-AGE en is terug te vinden op www.nlog.nl. Deze bodemdalingsmetingen geven het verschil in hoogte ten opzichte van eerdere referentiejaaren. De bodemdaling zelf kan meerdere oorzaken hebben, zoals zoutwinning, maar ook opslag van gas in zoutcavernes en voormalige gaswinning uit de lagen onder het steenzout spelen een rol. Hierin wordt in deze metingen geen onderscheid gemaakt. Bodemdalingsmetingen worden gebruikt om bijvoorbeeld te monitoren of de daling geleidelijk verloopt, zowel in de tijd als in de vorm van de bodemdalingskom die ontstaat. Nobian gebruikt de bodemdalingsmetingen om de bodemdalingsprognose te verbeteren.

Satellietmeting

Naast “klassieke” bodemdalingsmetingen in het veld houdt Nobian parallel de bodemdaling in de gaten via satellietmetingen, een techniek die “INSAR” heet. Er wordt onderzocht of INSAR een alternatief kan zijn op waterpassingsmetingen. Bij INSAR maakt een satelliet radarbeelden van het aardoppervlak.

Grondwatermonsters

In het veld worden er periodiek ook monsters van het grondwater genomen via peilbuizen. Deze worden vervolgens gecontroleerd op het zoutgehalte. Op die wijze kan een mogelijke lekkage die niet op andere wijze gedetecteerd is aan het licht komen voor zover dit nog niet via het Pipeline Integrity Management System aan bod is gekomen. De details hierover zijn opgenomen binnen de omgevingsvergunning voor het bovengrondse gedeelte en vormen geen onderwerp in dit winningsplan wat over de ondergrond gaat. Hoewel de peilbuis metingen met name betrekking op het bovengrondse leidingwerk hebben kunnen de metingen kunnen ook gebruikt worden om mogelijke lekkages uit cavernes of de verbuizing te detecteren. Dit gaat dan met name over ondiepe gedeelte van de verbuizing (nabij het maaiveld). De verwachting is dat dit een dergelijke lekkage al eerder uit bijvoorbeeld de productiegegevens duidelijk zou zijn geworden, bijvoorbeeld door een geobserveerd drukverlies.

6.3. Hoeveelheden jaarlijks te winnen delfstoffen

Artikel 35, lid 1, onderdeel d, van de Mijnbouwwet verlangt dat het winningsplan ten minste een beschrijving bevat van: de hoeveelheden jaarlijks te winnen delfstoffen.

Om de jaarlijkse hoeveelheden te bepalen gaat Nobian uit van een tweetal scenario's: maximale veilige winning vanuit de huidige cavernes zonder andere ontwikkelingen in het veld, en een met andere ontwikkelingen in het veld. Hiermee is er binnen dit winningsplan voldoende speling om rekening te houden met de tijdlijn van (eventuele) andere cavernes in de regio.

Scenario 1

Dit scenario is gebaseerd op zoutwinning vanuit de huidige cavernes (zie 6.2.1), en binnen gestelde grenzen met betrekking tot de veiligheid. In dit scenario is uitgegaan dat er geen nieuwe (opslag)cavernes ontwikkeld worden en er dus geen naverzadiging plaatsvindt. Voor dit scenario is er maximaal 600 m³ per uur nodig aan pekkel uit Heiligerlee (uit cavernes F I L en M).

[informatie niet beschikbaar in publieke versie i.v.m. gevoelige informatie bedrijfsvoering]

Hierbij moet uitdrukkelijk vermeld worden dat dit een maximale hoeveelheid is. De daadwerkelijke hoeveelheid gewonnen zout kan minder zijn, als gevolg van bijvoorbeeld verminderde marktvraag, of geplande onderhoudswerkzaamheden waardoor de mijnbouwinstallatie tijdelijk stil staat.

Scenario 2

Voor scenario 2 is uitgegaan van het feit dat de huidige cavernes gebruikt zullen worden voor naverzadigingscapaciteit (zie 6.2.2). De daadwerkelijke winning per caverne is daardoor verminderd. Er stroomt immers al onverzadigde pekkel de caverne binnen in plaats van zoet water. De hoeveelheid zout die dan nog kan oplossen in elke m³ water is dan lager. De hoeveelheid m³ per uur is dus sterk afhankelijk van of er op dat moment andere cavernes uitgeloozd kunnen worden, en de concentratie opgelost zout die er vanuit die cavernes in de bestaande cavernes stroomt.

[informatie niet beschikbaar in publieke versie i.v.m. gevoelige informatie bedrijfsvoering]

6.4. Hoeveelheden stoffen die jaarlijks bij winning worden geïnjecteerd

Artikel 25, lid 1, onderdeel e, van het Mijnbouwbesluit verlangt dat het winningsplan, bedoeld in artikel 34, eerste lid, van de wet, voor de winning van zout bevat: een opgave van de hoeveelheden stoffen die jaarlijks bij de winning worden geïnjecteerd.

Bij de ontwikkeling van de holruimte wordt als mijnbouwhulpstof zogenoemde afdekvloeistof toegepast. Hiervoor wordt AP/E CORE 100 (Chemical Safety Report – CSR in bijlage 10) en B0 (diesel, Chemical Safety Report – CSR in bijlage 11) gebruikt dat bovenop de ruwe pekkel drijft. De afdekvloeistof mengt zich niet met water of pekkel en lost evenmin zout op. Hierdoor worden het onverbuisde deel van het boorgat en het dak van de holruimte afgeschermd en wordt de oplossing van steenzout in verticale richting vermeden. Tegelijkertijd wordt de oplossing van steenzout in horizontale richting bevorderd.

Het niveau van de afdekvloeistof – en dus de positie van het dak van de caverne – wordt regelmatig gecontroleerd door middel van drukmetingen. Op deze indirecte wijze kan de positie van het pekkel-/afdekvloeistofniveau indirect worden berekend. Daarnaast kunnen er directe metingen via meetinstrumentatie in het boorgat plaatsvinden, wat periodiek ingezet wordt.

De hoeveelheid afdekvloeistof per boorgat varieert gedurende de verschillende uitloofphasen van een holruimte. De veiligheidsrapporten voor de gebruikte afdekvloeistoffen zijn bijgevoegd aan dit winningsplan (engelstalig: "Chemical Safety Reports"). Tabel 6 bevat een representatief overzicht voor het boorterrein Heiligerlee.

Boring	Type afdekvloeistof	Hoeveelheid afdekvloeistof in m ³
HL-A	n.v.t.	0*
HL-B	n.v.t.	0*
HL-C	Diesel B0**	146
HL-D	n.v.t.	0*
HL-E	n.v.t.	0*
HL-F	AP/E CORE 100	90
HL-G	n.v.t.	0*
HL-H	n.v.t.	0*
HL-I	AP/E CORE 100	90
HL-L	AP/E CORE 100	96
HL-M	AP/E CORE 100	101

Tabel 5: Hoeveelheid gebruikte afdekvloeistof; status juni 2024.

**In principe is alle afdekvloeistof uit de caveerne gehaald. Echter kunnen er kleine resthoeveelheden achterblijven in de caveerne.*

*** op termijn wordt de B0 (diesel) vervangen voor AP/E CORE 100, echter is deze caveerne ten tijde van de start van dit winningsplan niet langer voorzien voor winning.*

6.5. Wijze waarop de putten buiten gebruik gesteld worden

Artikel 25, lid 1, onderdeel f, van het Mijnbouwbesluit verlangt dat het winningsplan, bedoeld in artikel 34, eerste lid, van de wet, voor de winning van zout bevat: een beschrijving van de wijze waarop de holruimte (caverne) na beëindiging van de winning buiten gebruik wordt gesteld.

Nobian blijft na afronding van de winning voor lange periode verantwoordelijk voor de cavernes en de mijnbouweffecten die deze mogelijk kunnen veroorzaken. Een gedetailleerde beschrijving van de monitoring, mogelijke risico's en hoe hiermee omgegaan wordt (mitigatie) is beschreven in het overkoepelende "Cavern Stability and Integrity Management System". Indien daar aanleiding toe is, wordt het CSIMS aangepast op basis van nieuw beschikbare kennis, inzichten en methoden.

Samenvattend komt het erop neer dat het CCC-onderzoek heeft laten zien dat het permanent afsluiten van de cavernes mogelijk is. In dit winningsplan wordt daarom ook van dat scenario uitgegaan.

Hieronder volgt een beschrijving van de acties die Nobian neemt in de verschillende fasen na de zoutwinning.

- Als Nobian de cavernes niet langer gebruikt voor zoutproductie blijft er een caveerne (holruimte) gevuld met pekels achter in de ondergrond, met een boorgat.
- Dit boorgat zal niet direct permanent ontoegankelijk worden gemaakt (abandonment of “hard afsluiten”). Voordat dit gebeurt, dient het thermisch evenwicht tussen pekels en omliggend gesteente voldoende benaderd te zijn.
- Nobian sluit de boorgaten en cavernes pas permanent af als de cavernes veilig afgesloten kunnen worden voor de lange termijn.
- Om de beste wijze van afsluiten vast te stellen, heeft Nobian onderzoek laten uitvoeren door het “Cavern Closure Consortium” (CCC). Het streven is om de cavernes na gebruik permanent af te sluiten. Hierdoor worden mijnbouweffecten zoveel mogelijk beperkt.
- Het recente CCC-onderzoek laat zien dat hard afsluiten mogelijk is. Er vindt inderdaad een drukopbouw plaats waarbij de evenwichtsdruk bij het cavernedak boven de lithostatische spanning (oorspronkelijke spanningstoestand) uit komt. Doordat de drukopbouw relatief langzaam verloopt, heeft het steenzout nabij het cavernedak de tijd om te vervormen, waardoor lokaal de spanningstoestand toeneemt tot boven de onverstoorde waarde. De druk in de caveerne duwt als het ware tegen het cavernedak aan, waardoor de spanning in het cavernedak oploopt. Tevens kan dit mogelijk een beperkende werking op de bodemdaling, en zelfs een vertraagd terugverend effect hebben (zie CCC 2024).
- Het CCC-resultaat geeft aan dat er bewijs uit het veld nodig is om hun bevindingen uit de computersimulaties te verifiëren. Daarnaast is het mogelijk dat er mitigerende maatregelen nodig zijn om de drukopbouw na hard afsluiten te vertragen, en mogelijk ook te verlagen. Nobian zal de validatie van gedeeltelijk opvullen (als mitigerende maatregel) uitvoeren door middel van een veldtest in caveerne HL-H tijdens de looptijd van dit winningsplan. De uitvoering van de veldtest wordt gebaseerd op het projectplan (Nobian 2024c, NA20240410PP). Van de andere putten bevinden HL-[F I L M] zich in de productiefase en hebben daarna nog enkele decennia nodig om op temperatuur te komen (zie volgende paragraaf). Voor HL-[A B C D E G] is dit reeds gestart bij aanvang van dit winningsplan, maar ook hiervoor zijn meerdere jaren nodig om thermisch evenwicht voldoende te benaderen. In deze periode zullen de testresultaten van HL-H meegenomen worden in de detaillering van het verwijderingsplan.

Om de onderzoeksresultaten van het CCC in het veld te toetsen, zullen de eerdergenoemde veldtesten worden uitgevoerd. Tijdens deze testen zal onder andere gekeken worden of de drukopbouw verloopt zoals berekend. Of dat er eventueel nog extra ondersteunende maatregelen nodig zijn voor het veilig afsluiten van de caveerne.

In de periode na de winningsfase en tussen de harde afsluiting houdt Nobian de cavernes in de “zachte insluiting”-modus en daarmee in de post-uitlooffase. Caveerne HL-H bevindt zich nu in de thermisch evenwicht fase. Hierbij is de caveerne nog niet permanent afgesloten, maar wordt de caveerne op hogere druk gehouden dan tijdens productie. Daarmee wordt de bodemdaling zo veel als mogelijk beperkt, maar blijft de mogelijkheid bestaan om de pekeldruk in de caveerne te veranderen.

Volgens de huidige inzichten beheert Nobian de cavernes na winning in drie fasen:

1. de post-uitlooffase
2. de abandoneringsfase;
3. de nazorgfase.

Hieronder volgen de gedetailleerde beschrijvingen per fase.

6.5.1. Post-uitlooffase

Vlak na de winningsfase worden de binnenste en buitenste uitloogverbuizing uit de caveerne en put gehaald, en wordt een enkele buis teruggehangen. Dit is bij de putten HL-[A B D E G en H] al het

geval, en mogelijk ook al bij caverne C. Hiermee blijft de mogelijkheid bestaan om via de binnenbuis zoet water te injecteren om de kristallisatie van zout in de put tegen te gaan. Hiermee blijft het mogelijk om de druk in de caverne onder controle te houden. De specifieke acties om kristallisatie te voorkomen staan vermeld in het WIMS en CSIMS.

Tijdens de winningsfase wordt er zoet water (of slappe pekkel) geïnjecteerd met een lagere temperatuur dan dat van het onverstoorde steenzout. De exacte temperatuur van het water verschilt door de seizoenen, maar is gemiddeld zo'n 12 °C. Binnenin de verbuizing, onderweg naar de caverne, warmt dit water lichtelijk op. In de situatie voorafgaand aan de zoutwinning nam de temperatuur met diepte toe, met ongeveer 30 °C per kilometer diepte. Omdat het water/de pekkel in de caverne niet snel genoeg opwarmt door warmte vanuit het omringende zout, ontstaat er een situatie waarbij de cavernetemperatuur lager is dan het omringende gesteente. Bovendien koelt ook een zone in het steenzout rondom de caverne af. Doordat de warmtestroom vanuit de diepere aarde door blijft gaan, zal de pekkel in de caverne opwarmen. Dit proces vindt voornamelijk plaats via de geleiding van warmte in het steenzout en pekkel, en in mindere mate door convectie (stroming) van pekkel binnen de caverne. Warmtegeleiding verloopt sneller als het temperatuurverschil groter is. Naarmate de pekkel in de caverne qua temperatuur dichterbij de oorspronkelijke temperatuur van het steenzout komt, neemt de warmtestroom af. Als de temperatuur gelijk is, stopt de warmtestroom.

Als pekkel opwarmt zal het lichtelijk uitzetten en in volume toenemen, met ongeveer 440 ml voor elke 1 m³ aan pekkel die 1 °C warmer wordt (Bérest 2019). Maar omdat het volume van de caverne niet groter wordt, zal daardoor de pekeldruk toenemen. De mate waarin de druk toeneemt als gevolg van dit thermische effect neemt in de tijd af, omdat de warmtestroom in de caverne afneemt.

Als in de tussentijd de druk te hoog wordt, zal Nobian de druk verlagen door een geringe hoeveelheid pekkel uit de caverne te laten. Afhankelijk van het cavernevolume en de -vorm is dit in de orde van 30-120 m³ per bar, en dit zal naar verwachting één of twee keer per jaar nodig zijn. Er wordt dan gewerkt met een drukverlaging van ca. 10 bar. Voor cavernes waar de winning net gestopt is, zal het mogelijk vaker nodig zijn, omdat het thermische effect dan nog een snel proces is door het grote temperatuurverschil. Deze wijze van insluiten wordt "soft shut-in" genoemd. De maximale druk wordt bepaald op basis van het diepste punt van de gecementeerde verbuizing ("last cemented casing shoe" of LCCS). Doorgaans wordt gewerkt met een maximale druk-gradiënt van 0.18 bar per meter, voorafgaand aan deze fase is aangetoond via een "Mechanical Integrity Test" dat de put dit zonder problemen aankan.

Na verloop van tijd zal dit thermische effect dus zeer beperkt aanwezig zijn. De temperatuur in de caverne heeft dan nagenoeg de oorspronkelijke temperatuur in het steenzout voldoende benaderd dat er (zo goed als) sprake is van een thermisch evenwicht. Voor die tijd al kan het zo zijn dat de thermische effecten voldoende afgezwakt zijn dat het openhouden van de caverne (soft shut-in) niet langer nodig is. Effectief komt dit neer op een termijn van ca. 75 jaar voor een temperatuurverschil van 5 °C, en ca. 130 jaar voor een temperatuurverschil van 3 °C. Dit is gebaseerd op simulaties van voor caverne HL-B (CCC), waarvan wordt aangenomen dat het temperatuurverloop bij andere cavernes vergelijkbaar zal zijn. De exacte hoeveelheid tijd die nodig is om de andere cavernes voldoende op temperatuur te laten komen verschilt mogelijk lichtelijk (een jaar meer of minder). In de 3D-rekenmodellen van het CCC-onderzoek is uitgegaan van een wachtperiode van 30 jaar als voldoende marge. De resultaten laten zien dat de drukopbouw hiermee voldoende afgezwakt is. Hier houdt "voldoende" in dat de caverne wellicht nog niet exact in thermisch evenwicht is, maar dit wel voldoende benaderd heeft. Het effect is dusdanig afgezwakt dat de drukopbouw door dit effect een geringe invloed heeft. De drukopbouw als combinatie van caverne convergentie en het

thermische effect tezamen is beheersbaar in termen van genoeg tijd voor plastische vervorming van het steenzout.

Om het verloop van de cavernedruk goed in te schatten wordt de drukopbouw bijgehouden zoals dat ook in de winningsfase gebruikelijk is tijdens deze fase. Vanuit de drukopbouw trend kunnen het thermische effect, alsmede de drukopbouw door kruip, afgeleid worden. Ook kan deze vervolgens worden gebruikt om lange termijn voorspellingen (CCC) waar nodig bij te stellen. Bovendien kunnen er nog steeds sonarmetingen plaatsvinden om de cavernevorm te bepalen en de kruip op caverneschaal te bepalen.

Ten slotte is het ook mogelijk in deze fase om mitigerende maatregelen te treffen om de verwachte drukopbouw na afsluiten te beïnvloeden. Hieronder vallen bijvoorbeeld het opvullen van de caveerne (zie ook 6.2.3).

6.5.2. Isolatiestrategie en generieke wijze van abandonneren

Nobian heeft al decennia ervaring met het veilig afsluiten van putten en cavernes. Voor elke put en caveerne gelden echter locatie-specifieke factoren, zodat elke abandonnering om een eigen plan vraagt. Nadat Nobian voor de desbetreffende caveerne en put in detail heeft vastgesteld hoe deze veilig en verantwoord permanent afgesloten kunnen worden, zal Nobian overgaan tot de abandonneringsfase. Deze wijze van afsluiten staat ook als “hard shut-in” bekend. Hierbij is er geen mogelijkheid meer om de druk in de caveerne te beïnvloeden, en daarom moet onderzoek (en metingen) in de vorige fasen (met name thermisch evenwicht) hebben aangetoond dat de verwachte toekomstige evenwichtsdruk in de caveerne veilig is. Omdat nu de druk niet langer periodiek afgelaten wordt, zal de druk in de caveerne toenemen. Dit is verder beschreven in paragraaf 6.5.3 en 4.4.

Nobian zal de cavernes permanent afsluiten volgens de bepalingen in de mijnbouwwet (en onderliggend -besluit en -regeling). Dit houdt kort in dat alle verplaatsbare verbuizingen die nog in de put hangen (de verbuizing om te spoelen tegen kristallisatie) uit de put gehaald worden. Vervolgens wordt er in de laatst gecementeerde verbuizing een permanente afsluiting geplaatst door middel van een “mechanische plug” met minimaal 50 meter cement er boven. Dit cement zit ter hoogte van een ondoordringbare (sluit)laag met voldoende sterkte zodat de afsluiting in de ondergrond zich uitstrekt over de volledige doorsnede van de put en alle annulaire ruimten. Bovenin de boorput (dichtbij het maaiveld) zal een top afsluiting door middel van cement worden geplaatst en zal de put >3 meter onder het maaiveld worden verwijderd.

De geologische structuur van de zoutpijler in Heiligerlee (ook bekend als de Winschoten zoutpijler) laat zien dat de overgang van steenzout en de bovenliggende lagen zich relatief ondiep in de ondergrond (<500 m, zie figuur 1) bevindt. Buiten de zoutdome zit dit contact op 1800 m diepte of meer, en vormt de zoutlaag de sluitlaag voor het groningen gasveld. Het pakket aan bovenliggende lagen boven de zoutpijler bestaat uit de Rijnland groep, Krijtkalk groep en de Noordzee groep (van onder naar maaiveld gezien). Dit pakket, alsmede de individuele lagen is boven de zoutpijler dunner dan buiten de pijler. Zie [Dinoloket](#) voor meer informatie over de individuele lagen.

Er is bekend dat er breuken aanwezig zijn boven de zoutpijler. Hoewel er geen bevingen op deze breuken gelokaliseerd zijn via de microseismische metingen, kan niet met zekerheid worden vastgesteld dat de breuken inactief zijn. Mogelijk kunnen de breuken fungeren als een lekpad. De breuken lijken niet door te lopen tot in de jongste gesteente lagen (boven Noordzee groep). Echter zijn deze bovenste lagen voor geologische begrippen relatief jong. Daardoor hebben deze lagen niet voldoende de tijd gehad om sterke gesteentelagen te vormen. Daarom acht Nobian het bovenliggende pakket boven het steenzout ongeschikt als sluitlaag.

In dit bovenliggende pakket zijn enkele poreuze lagen aanwezig, met name de Brussel zandsteen waarin reeds zout water aanwezig is. In het onwaarschijnlijke geval dat er lekkage van pekels uit het zoutvoorkomen zou kunnen ontstaan via scheurvorming, kan deze doorlaatbare laag de scheurvorming stoppen, omdat in deze laag de pekeldruk binnen de scheur snel kan afleken.

Bovenin het zoutvoorkomen zit er een “cap-rock”. Ook deze formatie wordt ongeschikt geacht als ondoorlaatbare laag. Een cap-rock binnen een zoutdome ontstaat als gevolg van onoplosbaar materiaal wat achterblijft terwijl bij bovenste gedeelte van de zoutdome het haliet (en andere oplosbare zouten) oplossen in grondwater. De cap-rock is daarom niet te interpreteren als een continue laag. Hoewel niet het geval binnen het Heiligerlee veld (en de putten in dit winningsplan), is er tijdens de aanleg van de putten bij andere zoutpilaren geobserveerd dat er boorspoeling verliezen waren ter hoogte van de cap-rock. Mede daarom kan er niet met zekerheid worden uitgegaan dat dit een goede sluitlaag vormt. De voorkeur is daarom om de afsluiting binnen het steenzout te plaatsen.

Om het verwachte drukverschil na afsluiten zo klein mogelijk te houden (en daarmee ook de risico's na permanent afsluiten) zal Nobian de afsluitende plug zo diep mogelijk plaatsen. Dit houdt in dat de plug onder de diepste gecementeerde verbuizing, in het “open hole”-sectie tegen het steenzout gezet zal worden.

6.5.3. Nazorg

Wanneer de cavernes niet langer toegankelijk zijn, is Nobian minder zichtbaar in het veld, maar nog wel actief aan het monitoren op de mijnbouweffecten. De geologische processen in de ondergrond zullen immers verder blijven gaan, waardoor de cavernes in de ondergrond langzaam kleiner worden. Daardoor zal na afsluiten van de cavernes nog steeds bodemvervorming optreden, maar omdat de cavernedruk relatief hoog is, zijn de kruipsnelheden laag.

Als de cavernes in dit stadium beland zijn, dan is binnen een acceptabele risicoclassificering bepaald dat de cavernes veilig afgesloten kunnen worden. Dat wil zeggen dat de druk in de caverne onder een veilig niveau blijft, en de snelheid van drukopbouw beperkt is. Uitgangspunt daarvoor is dat er geen substantiële lekkage kan ontstaan van pekels naar bovenliggende lagen, waardoor de kwaliteit van het grondwater bedreigd kan worden. Wel kan er pekels tussen zoutkristallen in het steenzout binnendringen (bekend als “Permeatie”, zie 4.4). Wanneer er sprake is van een evenwichtsdruk, is de afname van het cavernevolumen gelijk aan de hoeveelheid pekels die het steenzout binnendringt via permeatie.

De verwachting uit het CCC-onderzoek is dat de pekeldruk na het hard-afsluiten in een periode van 30-50 jaar nog zal oplopen. Drukopbouw door opwarming van de pekels speelt op het moment van hard-afsluiten nog nauwelijks een rol, de pekels is in de post-uitlooffase al opgewarmd. De drukopbouw wordt na hard-afsluiten met name nog veroorzaakt door kruip van het steenzout. Dit effect neemt af naarmate de cavernedruk opbouwt. Daardoor loopt de druk ook na 30-50 jaar nog lichtelijk op, maar veel langzamer dan daarvoor. Er kan worden gesteld dat er sprake is van een stabiele situatie omdat de evenwichtsdruk voldoende benaderd is, zo'n 30-50 jaar na hard afsluiten Nobian blijft voor de monitoring van de bodemdaling na afsluiten een termijn van minimaal 30 jaar hanteren, zoals ook uit de mijnbouwwet volgt. Samen met de verwachte 30 jaar na einde winning (voor thermisch evenwicht) duurt het monitoren van de bodemdaling dan 60 jaar na het einde van de winning.

Uit het CCC-onderzoek komt naar voren dat de cavernedruk oploopt tot waarden die boven de oorspronkelijke spanningstoestand in het steenzout liggen. Het werk laat echter zien dat dit geen probleem is, omdat de spanningstoestand nabij de cavernewand ook toeneemt als gevolg van de

drukopbouw. Met andere woorden, nabij het cavernedak zal de druk hoger zal zijn dan de oorspronkelijke spanning. Maar doordat er in de caveerne druk opbouwt na afsluiten, duwt de pekkel tegen de cavernewand (en -dak) waardoor binnenin de cavernewand (en -dak) de spanning ook toeneemt. Dit vindt langzaam genoeg plaats waardoor er geen hoge schuifspanningen ontstaan. Zoals het CCC-werk laat zien zal er in dat geval ook geen / zeer beperkte mate van dilatatie kunnen plaatsvinden, zelfs als wordt uitgegaan dat er tussen de kristallen in het steenzout een poriedruk ontstaat via permeatie die de effectieve (normaal-)spanning verlaagt.

6.5.4. Monitoring na de winningsfase

Alle monitoring die beschreven is in paragraaf 6.2.4 is ook van toepassing nadat de winning gestopt is, voor zover mogelijk en tot een bepaalde tijd nadat de cavernes permanent afgesloten zijn. Zo is monitoring van de cavernedruk niet langer mogelijk als de cavernes permanent afgesloten zijn, en hetzelfde geldt voor het uitvoeren van sonarmetingen. Exacte plannen worden gemaakt op basis van actuele risico-inventarisaties, en zullen in de meetplannen opgenomen worden. Deze worden geüpdatet op basis van onderzoek waar bijvoorbeeld ook de laatste gegevens qua drukopbouw in cavernes kan worden meegenomen.

6.6. Secundair gebruik

Artikel 36, lid 1, onderdeel b, van de Mijnbouwwet bepaalt dat de Minister de instemming met het winningsplan kan weigeren in het belang van het planmatig gebruik of beheer van (onder meer) mogelijkheden tot het opslaan van stoffen.

6.6.1. Cavernes

De cavernes in dit winningsplan zijn te ondiep en te hoog om effectief gebruikt te worden voor gasopslag. De maximale druk zou te laag zijn om de cavernes effectief te benutten. Bovendien is er door het grote volume te veel “kussengas” nodig om de druk te bufferen. Opslag van andere stoffen wordt niet voorzien in dit winningsplan. Vanuit de techniek gezien zijn er mogelijkheden om andere vloeistoffen of via suspensie vaste stoffen (deeltjes) permanent in de caveerne op te slaan. Realistisch gezien is het niet mogelijk om de bestaande pekkelcavernes bij Heiligerlee in te zetten voor gasopslag.

6.6.2. Boorputten

De boorputten zijn op dit moment niet geschikt om veilig gas te kunnen opslaan. Een secundair gebruik van de putten is niet voorzien. In de huidige strategie waarbij de cavernes permanent afgesloten worden, zal de boorput permanent ontoegankelijk gemaakt worden, om zo het risico op eventuele toekomstige integriteitsproblemen te minimaliseren.

6.6.3. Benodigde aanpassingen

Niet van toepassing.

7. Bodembeweging

7.1. Verwachte bodemdaling

Artikel 35, lid 1, onderdeel f van de Mijnbouwwet verlangt dat het winningsplan ten minste een beschrijving bevat van ‘de bodembeweging ten gevolge van de winning en de maatregelen ter voorkoming van schade door bodembeweging, voor zover het winnen van delfstoffen niet geschiedt in het continentaal plat of onder de territoriale zee vanuit een voorkomen dat is gelegen aan de zeezijde van de in de bijlage bij deze wet vastgelegde lijn, tenzij Onze Minister anders heeft bepaald’.

Artikel 25, lid 2, van het Mijnbouwbesluit verklaart dat: Artikel 24 eerste lid, onderdelen c tot en met g, en l tot en met s, en Artikel 24, tweede lid, van het Mijnbouwbesluit van overeenkomstige toepassing zijn voor de winning van zout.

Artikel 24, lid 1, onderdeel m, van het Mijnbouwbesluit verlangt dat het winningsplan, bedoeld in artikel 34, eerste lid, van de wet, voor de winning van koolwaterstoffen bevat: een kaart met daarop de contouren van de verwachte uiteindelijke mate van bodemdaling.

Artikel 24, lid 1, onderdeel n, van het Mijnbouwbesluit verlangt dat het winningsplan, bedoeld in artikel 34, eerste lid, van de wet, voor de winning van koolwaterstoffen bevat: een overzicht met het verloop van de verwachte mate van bodemdaling in de tijd.

Artikel 24, lid 1, onderdeel o, van het Mijnbouwbesluit verlangt dat het winningsplan, bedoeld in artikel 34, eerste lid, van de wet, voor de winning van koolwaterstoffen bevat: een opgave van de onzekerheid omtrent de verwachte mate van bodemdaling in de tijd, als bedoeld in de onderdelen m en n.

7.1.1. Methode om bodemdaling te voorspellen

De zoutwinning door Nobian leidt over lange periodes tot een langzame en zeer gelijkmatige bodemdaling. Door het winnen van zout uit de ondergrond ontstaat een holte (ofwel caverne). Door zoutkruip ontstaat er een geleidelijke bodemdalingskom. De exacte relatie tussen hoeveel er onttrokken is op diepte en hoe dit uiteindelijk doorwerkt naar bodemdaling is lastig exact te bepalen. Dit heeft te maken met de onzekerheid in de geologische opbouw en de geomechanische eigenschappen. Zowel van het zoutvoorkomen zelf maar met name dat van bovenliggende lagen. Ter illustratie, als er in de lagen boven het zout een zeer sterke laag zou zitten, zou deze als een brug kunnen fungeren en de bovenliggende lagen op hun plek houden waardoor er geen bodemdaling zou zijn. Maar dit is niet het geval, er is namelijk al bodemdaling gemeten. De bovenliggende lagen kunnen iets doorbuigen waardoor er uiteindelijk een hele geleidelijke bodemdalingskom ontstaat. De exacte structuur en de geomechanische eigenschappen bepalen uiteindelijk hoeveel bodemdaling er zal zijn, en hoe deze kom er uit ziet.

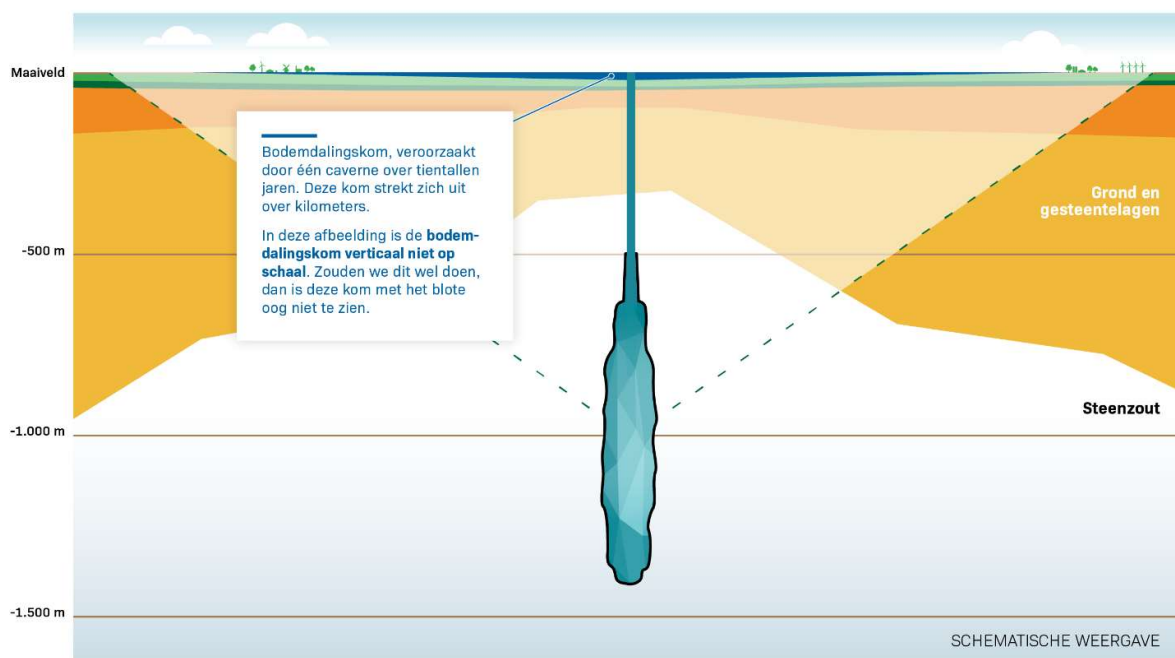
Geomechanisch model

De bodemdalingskom kan voorspeld worden met een geomechanisch model (een deterministisch model) zoals het CCC ook gedaan heeft. Hierin worden ook effecten als gevolg van verschillen binnen het steenzout meegenomen. Echter gebruiken de 3D-modellen veel rekentijd omdat er met veel punten (miljoenen) tegelijkertijd gerekend wordt. Er is daardoor mogelijk niet voldoende resolutie om exact van meter tot meter de bodemdaling te berekenen. Een 3D-model geeft echter wel de mogelijkheid om de bodemdalingssnelheid direct te koppelen aan de opbouw van de caverne druk. Enkele resultaten van CCC laten zien dat er sprake kan zijn van bodemstijging na het permanent afsluiten van de cavernes, omdat de relatief hoge druk die ontstaat het caverne dak als het ware omhoog duwt. Het CCC-onderzoek geeft een best mogelijke benadering van de

bodemdaling gegeven de stand van de techniek, maar is beperkt in resolutie. De bodemdaling kan mogelijk in werkelijkheid afwijken van het model omdat bijvoorbeeld de afstand tussen rekenpunten te groot geweest is.

Empirische methode

Een andere methode is om gebruik te maken van bodemdalingsmetingen en op basis daarvan voorspellingen te doen: een empirische methode. Op basis van de waargenomen bodemdalingskom, kennis van de posities van de cavernes en hoeveel zout er gewonnen is, kan een empirische relatie bepaald worden tussen cavernevolumen/-diepte en de bodemdalingskom plus de snelheid waarmee deze ontstaat. Deze methode is sneller omdat de convergentie per caverne berekend wordt, en daarmee rechtstreeks de bodemdaling aan maaiveld zonder de vervorming van alle tussenliggende lagen te berekenen. Daardoor kan deze methode ook op hogere resolutie data opleveren.



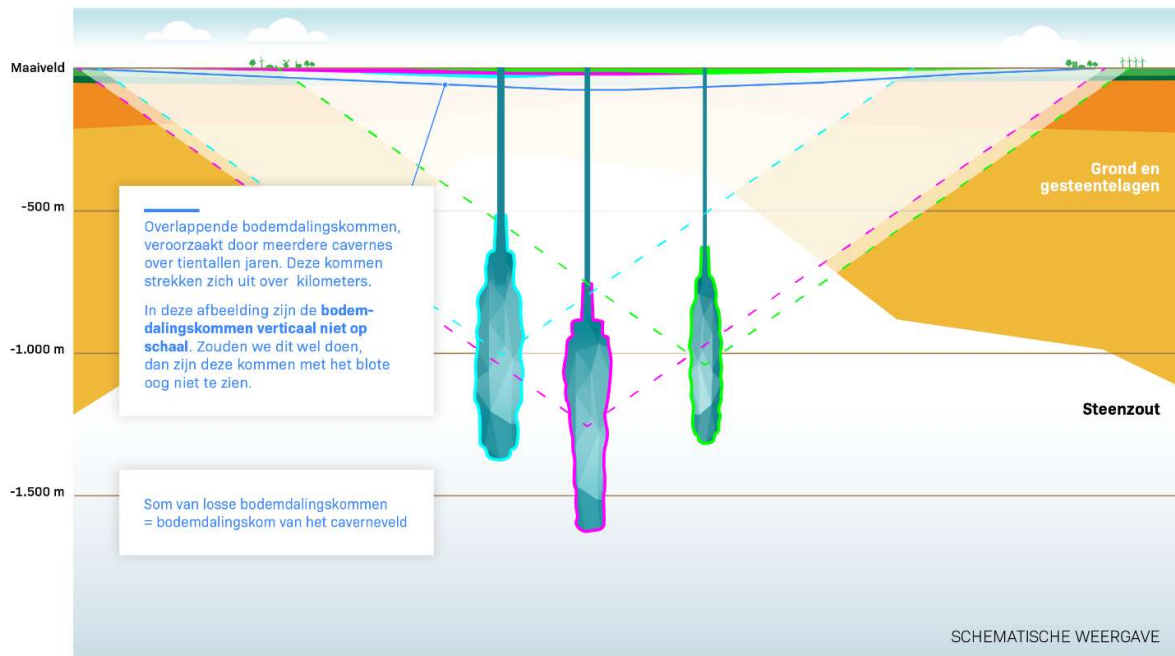
Figuur 11: Schematische weergave van de bodemdalingskom voor een enkele caverne waarin de bodemdaling uitvergroet is

Nobian werkt met een vijfjaarlijkse cyclus om de bodemdaling te meten in het veld (zie 6.2.4). De resultaten worden vergeleken met eerdere prognoses waardoor het model beter afgestemd kan worden. De metingen bestaan uit grootschalige waterpassingcampagnes. Hierbij wordt uitgegaan van aansluitingspunten waarvan wordt aangenomen dat deze ver genoeg buiten de invloedssfeer van bodemdaling door zoutwinning (en gasopslag) liggen. Vervolgens worden de punten binnen de invloedssfeer met de stabiele punten vergeleken. Zo wordt het relatieve verschil gemeten, en kan worden gecorreleerd aan het landelijke Nieuw Amsterdams Peil (NAP).

Empirische bodemdalingsprognoses gebruiken de gemeten bodemdaling om toekomstige bodemdaling te voorspellen. Op basis van de geobserveerde trends in het veld wordt per caverne een inschatting gemaakt van de eigenschappen (o.a. kruipmechanisme) van het steenzout. Per caverne wordt er een bodemdalingskom berekend. Ruwweg is dit in horizontale zin een straal gelijk aan de diepte tot het middelpunt van de caverne, met het diepste punt recht boven de caverne (zie

figuur 11). Bij cavernes die dicht genoeg op elkaar zitten is er sprake van overlap van de individuele bodemdalingscontouren (zie figuur 12). Het gevolg hiervan is dat in het gebied waar er sprake is van overlap beide cavernes bijdragen aan de totale bodemdaling. Zo kan een samengestelde bodemdalingskaart worden ontwikkeld. Het diepste punt van deze samengestelde bodemdaling hoeft niet direct boven een specifieke caverne te liggen.

De druk in de caverne wordt echter hoger zodra een caverne aan het einde van zijn productieduur komt / het volume een vooraf bepaald maximum bereikt heeft, de zogenaamde post-uitlooffase of soft shut-in. Daardoor is de snelheid waarmee de caverne afneemt in volume lager.



Figuur 12: Schematische weergave van bodemdaling als gevolg van meerdere cavernes in hetzelfde veld

Keuze voor empirische methode

Nobian heeft ervoor gekozen om de data uit het empirische model te gebruiken en op basis daarvan de eventuele effecten te laten bepalen. Het empirische model is echter wel aangepast om de kruipeigenschappen van het zout te implementeren zoals bepaald is door het CCC (zie hoofdstuk 4). Het kruipgedrag is daarmee volgens de laatste wetenschappelijke inzichten, maar de exacte doorwerking van cavernekrimp door zoutkruip naar bodemdaling blijft empirisch bepaald. Echter heeft Nobian ook de deterministische methode (CCC-rekenmodellen) gebruikt om de resultaten uit de empirische methode te vergelijken (zie 7.1.2).

De bodemdalingsprognose heeft Nobian laten bepalen door DEEP.KBB (2024a, bijlage 3) op basis van de meest recente waterpassingsdata (2020 campagne). Een exacte beschrijving van de methode is te vinden in DEEP.KBB 2024a. In het kort komt de methode neer op dat elke caverne als een punt beschouwd wordt, waar rondom de bodemdaling vormt. De hoeveelheid bodemdaling en bodemdalingssnelheid hangt af van de afmeting van de caverne, maar ook wat de caverne druk is. De bodemdaling van elke individuele caverne kan bij elkaar opgeteld worden, zoals weergegeven in figuur 12.

In het model van DEEP.KBB voor Heiligerlee (DEEP.KBB 2024b, bijlage 4) is uitgegaan van een lage cavernedruk overeenkomstig met de winningsfase tot 2035 plus 5 jaar uitloop (dus 2040). De 5 jaar is ingebouwd als conservatieve aanname (hogere bodemdalingssnelheid in deze periode), maar kan ook worden gezien als een periode waarin de caveerne eventueel gevuld kan worden, waar een lagere cavernedruk meer praktisch voor is. Vervolgens wordt uitgegaan van een periode van 30 jaar om thermisch evenwicht voldoende te naderen. In deze periode zit de caveerne in de “soft shut-in” modus. De cavernedruk wordt gesimuleerd op 0,18 bar/m op de diepte van de LCCS – 5 bar, om fluctuaties als gevolg van periodiek drukaf laten mee te nemen. Daarna volgt abandonment (ca. 2070), waarna de cavernedruk gesimuleerd is op 0,21 bar/m (als gemiddelde voor de hele caveerne). Dit gaat uit van een evenwichtsdruk die lager is dan de lithostatische spanning (0,22 bar/m) en levert daarmee ook weer een conservatieve benadering op. Met deze methode is het momenteel niet mogelijk om een gemiddelde cavernedruk te simuleren die hoger wordt dan de lithostatische spanning.

In de bodemdalingsprognose zijn de aandelen bodemdaling door gaswinning en gasopslag in het gebied meegenomen, naast dat van zoutwinning. In het Heiligerlee veld betreft de gasopslag alleen de stikstofopslag (N₂) in caveerne HL-K, zoals in hoofdstuk 2 beschreven. Bodemdaling door gasopslag in zoutcavernes en bodemdaling door zoutwinning is meetbaar tot enkele kilometers vanaf het punt direct boven een caveerne. Voor gaswinning is dit grootschaliger en afhankelijk van het gasveld. Naast de relatieve aandelen is ook het samengestelde effect van zoutwinning en gasopslag in het veld weergegeven.

Hierbij moet worden opgemerkt dat een simpele optelling van de bodemdaling bij het diepste punt door zoutwinning plus het diepste punt door gasopslag niet exact overeenkomt met de waarde van het diepste punt samengestelde bodemdaling (zoutwinning + gasopslag). Dit komt omdat de diepste punten van beide bodemdalingssommen niet samenvallen. De bodemdalingssommen van zoutwinning en gasopslag overlappen wel grotendeels.

De maximale waarden (diepste punt in de kom) zijn in tabel 7 t/m 14. Hierbij is uitgegaan van verschil in kruipeigenschappen en drukopbouw in de put. Voor de kruipeigenschappen gelden de volgende twee datasets:

- De verwachte kruipsnelheid (CCC, zie hoofdstuk 4), waarbij is uitgegaan van een gemiddelde korrelgrootte van 4.83 mm, genaamd “verwachte kruip”;
- Een conservatief scenario met een aangenomen hogere kruipsnelheid, waarbij ervan is uitgegaan dat de grote zoutkristallen niet actief bijdragen en het zout een gemiddelde korrelgrootte van 3.27 mm heeft.

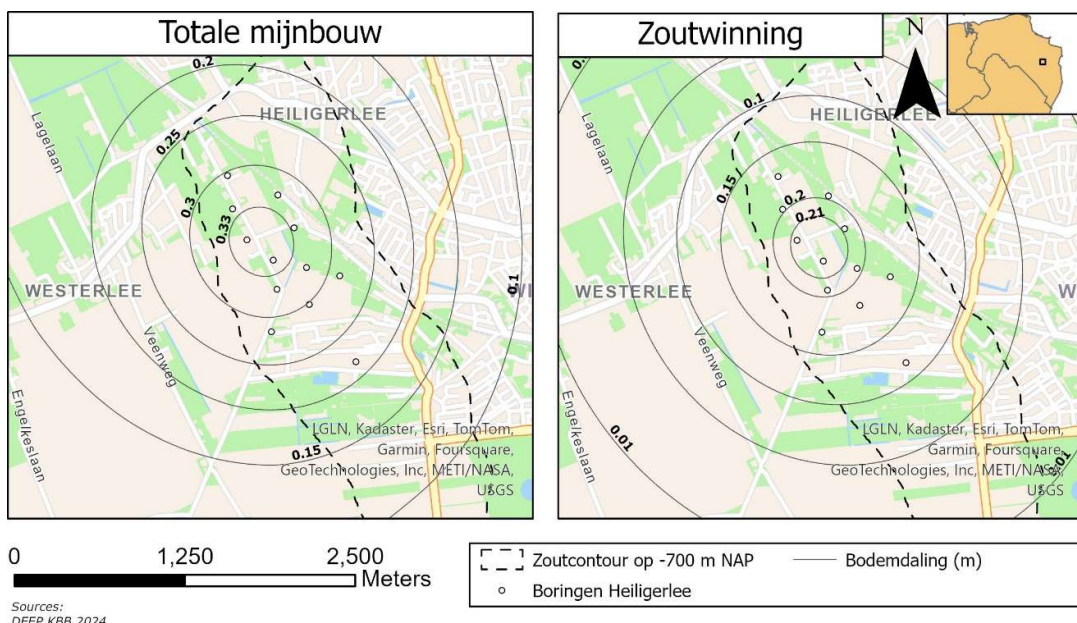
7.1.2. Resultaten voorspellingen empirische methode

Op basis van het model van DEEP.KBB 2023 is de inschatting van de bodemdaling in het diepste punt van de kom (vanaf start winning in het veld 1967) voor de zichtjaren 2050, 2075, 2100, 2125, 2150, 2200 en 2250 berekend. Om de bandbreedtes in kruipeigenschappen mee te nemen is uitgegaan van twee scenario's: het verwachte bodemdalingsscenario en een conservatief scenario (zoals beschreven in hoofdstuk 4.2). De getallen zijn weergegeven in onderstaande tabellen en figuren.

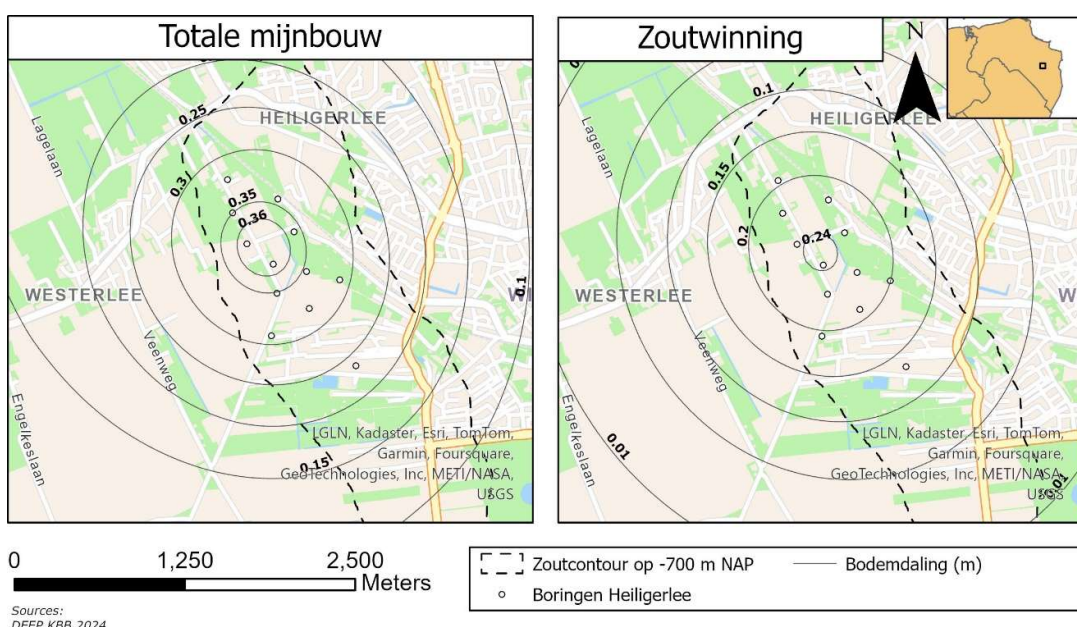
De prognose voor 2025 wijkt lichtelijk af van de waarden die in de laatste actualisatie van 2023 (het vigerende winningsplan) vermeld zijn. Dit heeft te maken met dat de kruipeigenschappen voor *pressure solution creep* nu beter bepaald zijn (en enigszins minder conservatief, zie ook hoofdstuk 4). Tevens is er minder pekkel geproduceerd dan voorzien werd in de periode tussen de indiening van de actualisatie en de indiening van dit winningsplan, waardoor er ook minder bodemdaling is.

Bodemdalingsprognose 2025 componenten	Verwacht	Conservatief
Zoutwinning	21,7	24,3
Gasopslag	1,0	1,2
Zoutwinning + gasopslag (totale caverne-effecten)*	22,6	25,4
Gaswinning	18,9	18,9
Totale bodemdaling (inclusief gaswinning)	33,9	36,7
Bodemdalingsnelheid door gasopslag + zoutwinning in mm/jaar	3,89	9,63
Bodemdalingsnelheid door alleen zoutwinning in mm/jaar	3,70	9,07

Tabel 6: Bodemdalingsprognose voor het jaar 2025 voor het diepste punt vanaf start winning. Alle bodemdalingswaarden in cm, bodemdalingssnelheid in mm/jaar.



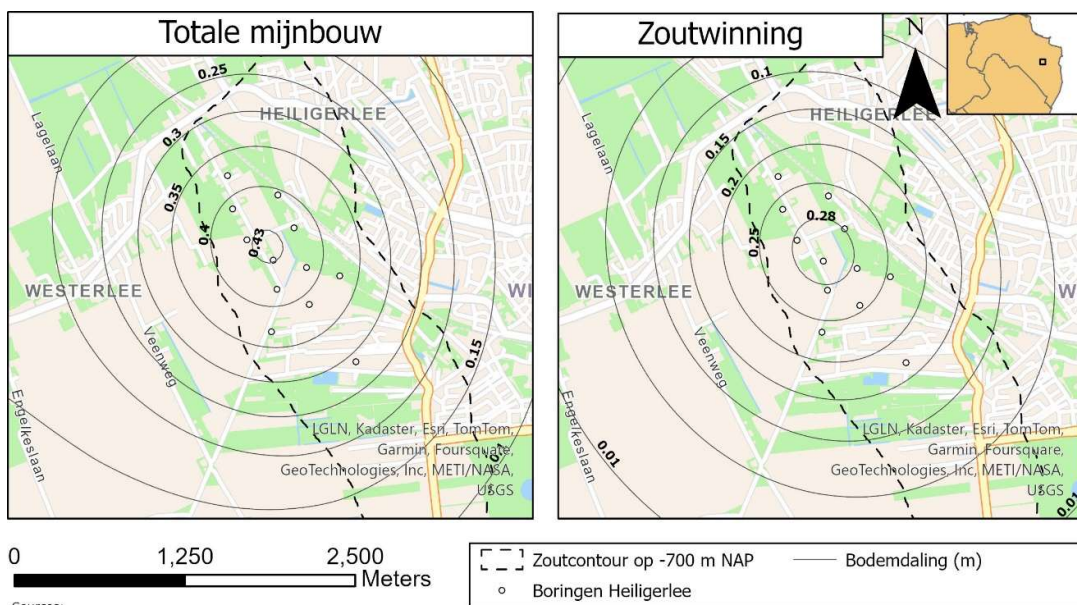
Figuur 13: Bodemdalingsprognose 2025; verwacht scenario.



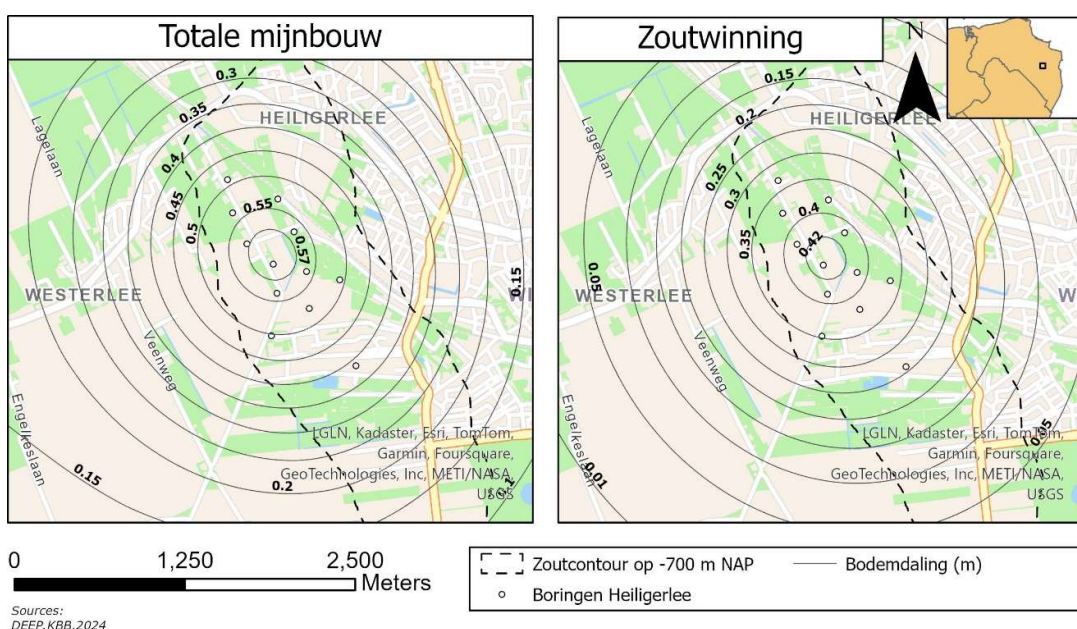
Figuur 14: Bodemdaling 2025; conservatief scenario.

Bodemdalingsprognose 2050 componenten	Verwacht	Conservatief
Zoutwinning	29,0	42,6
Gasopslag	2,0	3,1
Zoutwinning + gasopslag (totale caverne-effecten)*	30,9	45,6
Gaswinning	20,5	20,5
Totale bodemdaling (inclusief gaswinning)	43,3	57,9
Bodemdalingsnelheid door gasopslag + zoutwinning in mm/jaar	2,63	6,47
Bodemdalingsnelheid door alleen zoutwinning in mm/jaar	2,23	5,77

Tabel 7: Bodemdalingsprognose voor het jaar 2050 voor het diepste punt vanaf start winning. Alle bodemdalingswaarden in cm, bodemdalingssnelheid in mm/jaar.



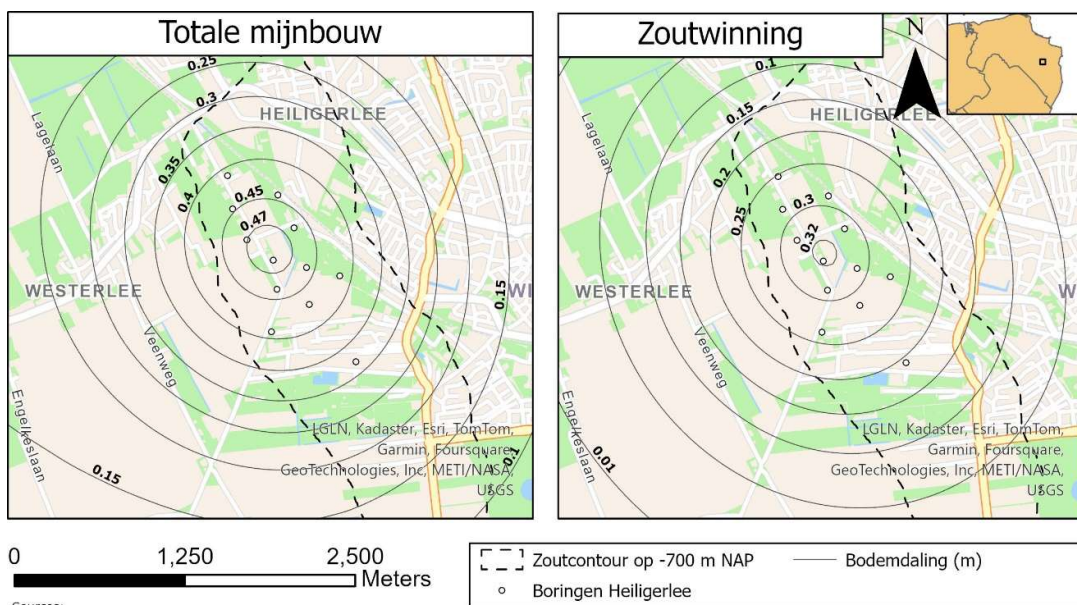
Figuur 15: Bodemdalingsprognose 2050; verwacht scenario.



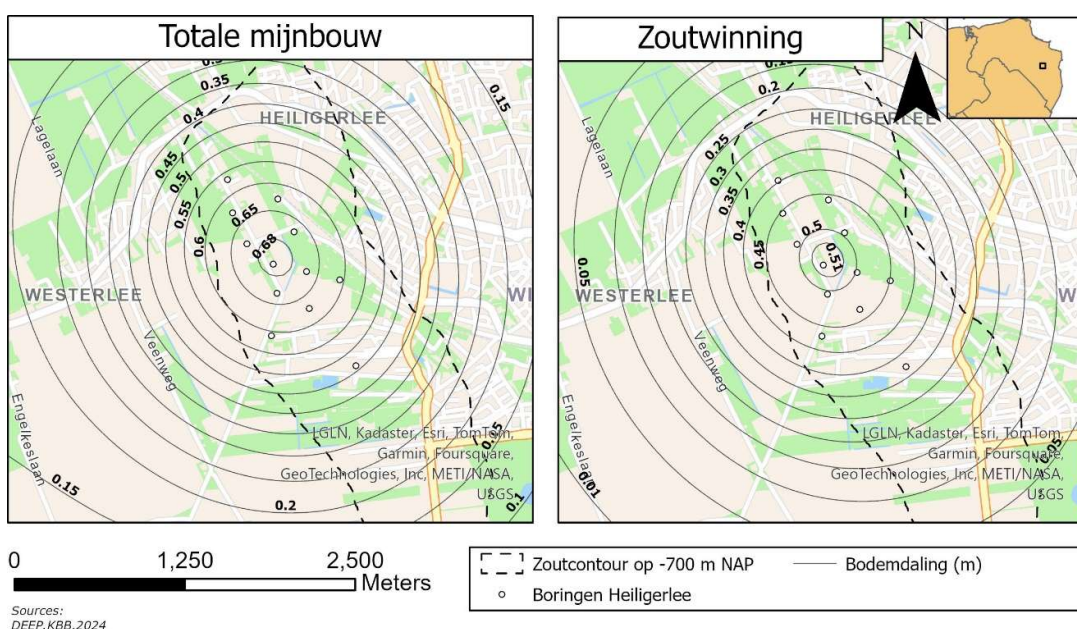
Figuur 16: Bodemdalingsprognose 2050; conservatief scenario.

Bodemdalingsprognose 2075 componenten	Verwacht	Conservatief
Zoutwinning	32,2	51,5
Gasopslag	3,0	4,7
Zoutwinning + gasopslag (totale caverne-effecten)*	35,0	56,1
Gaswinning	20,8	20,8
Totale bodemdaling (inclusief gaswinning)	47,6	68,6
Bodemdalingsnelheid door gasopslag + zoutwinning in mm/jaar	1,15	3,01
Bodemdalingsnelheid door alleen zoutwinning in mm/jaar	0,79	2,43

Tabel 8: Bodemdalingsprognose voor het jaar 2075 voor het diepste punt vanaf start winning. Alle bodemdaling waarden in cm, bodemdalingssnelheid in mm/jaar.



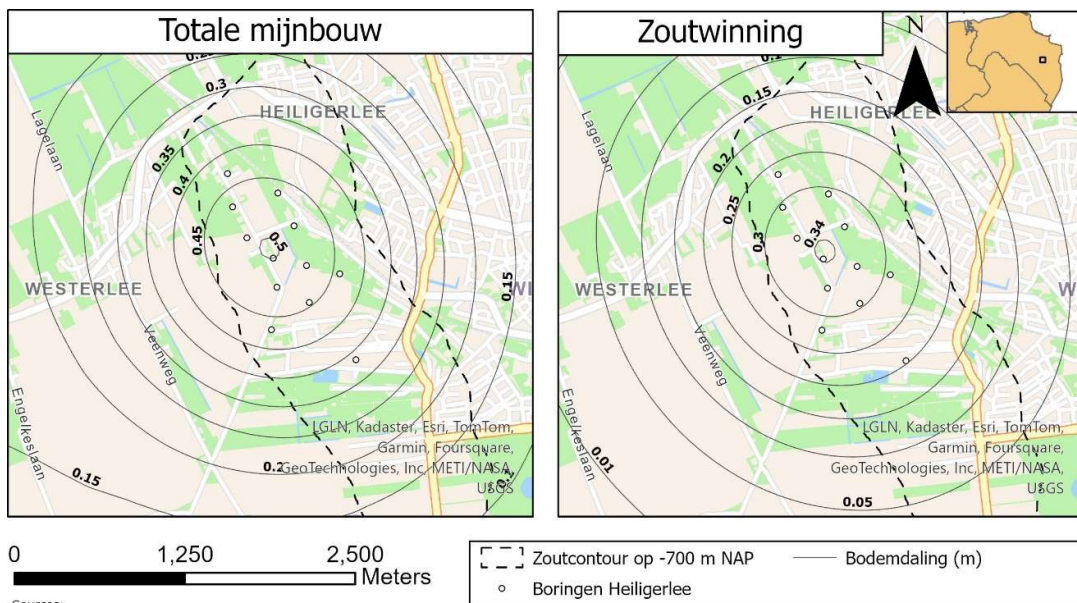
Figuur 17: Bodemdalingsprognose 2075; verwacht scenario.



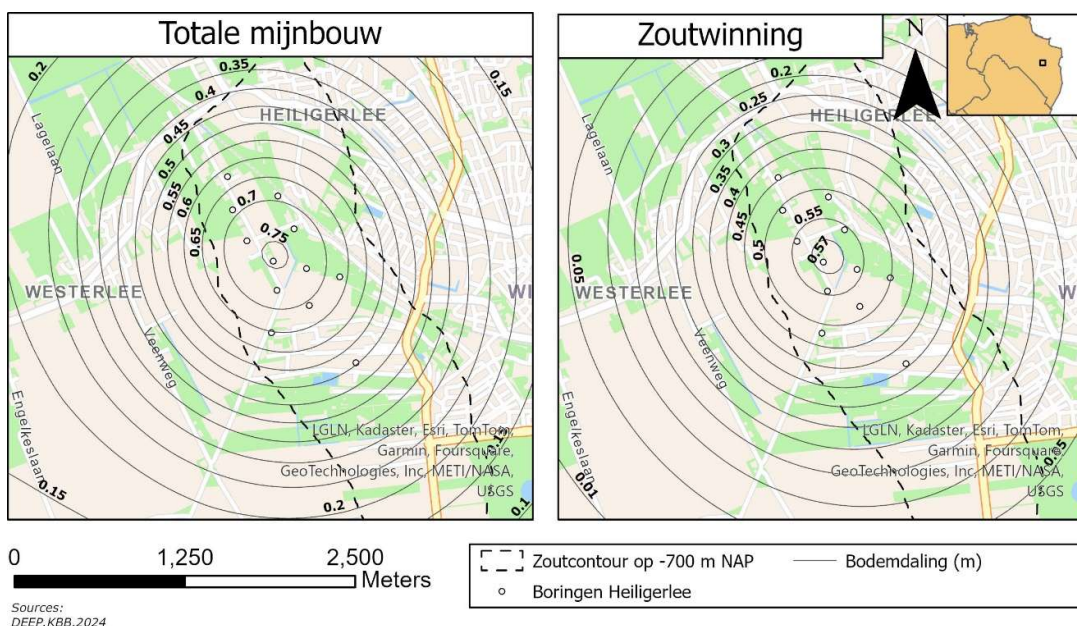
Figuur 18: Bodemdalingsprognose 2075; conservatief scenario.

Bodemdalingsprognose 2100 componenten	Verwacht	Conservatief
Zoutwinning	34,1	57,5
Gasopslag	3,2	5,2
Zoutwinning + gasopslag (totale caverne-effecten)*	37,3	62,6
Gaswinning	21,2	21,2
Totale bodemdaling (inclusief gaswinning)	50,1	75,4
Bodemdalingsnelheid door gasopslag + zoutwinning in mm/jaar	0,80	2,44
Bodemdalingsnelheid door alleen zoutwinning in mm/jaar	0,78	2,41

Tabel 9: Bodemdalingsprognose voor het jaar 2100 voor het diepste punt vanaf start winning. Alle bodemdalingswaarden in cm, bodemdalingssnelheid in mm/jaar.



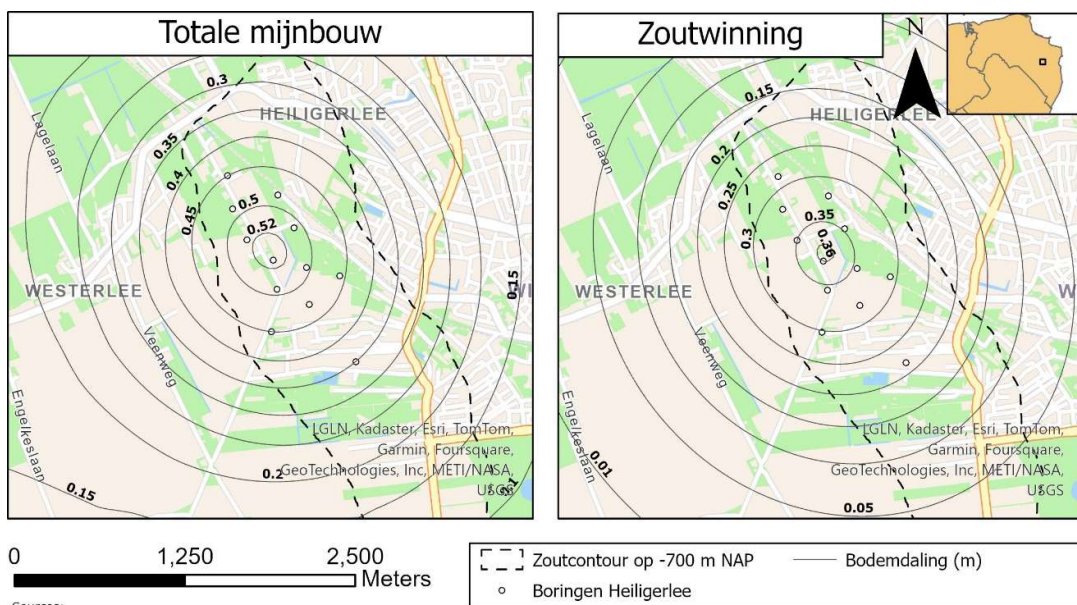
Figuur 19: Bodemdalingsprognose 2100; verwacht scenario.



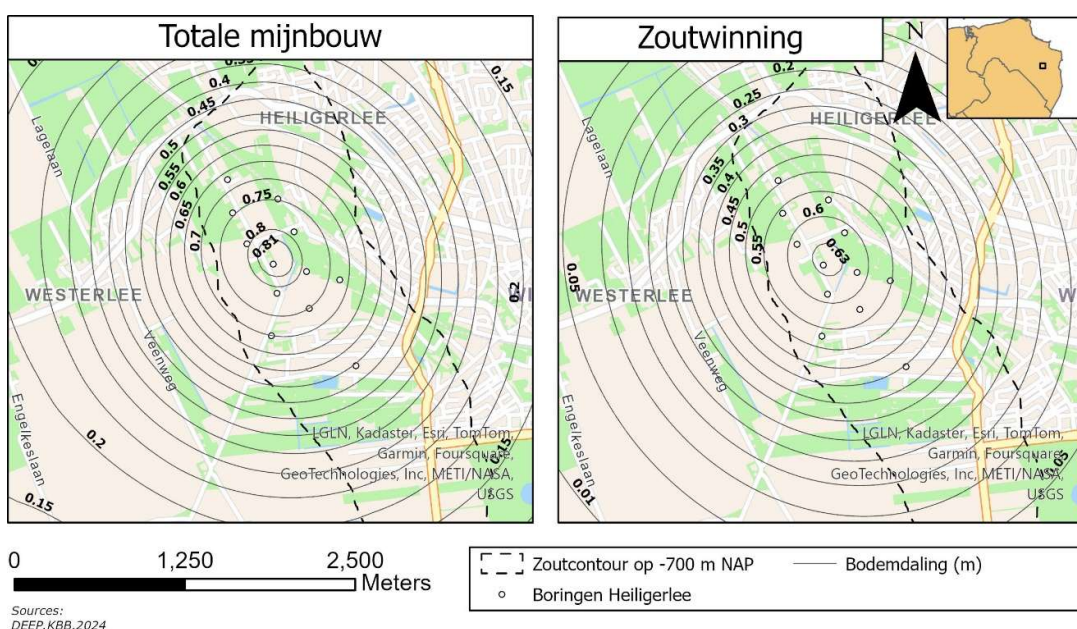
Figuur 20: Bodemdalingsprognose 2100; conservatief scenario.

Bodemdalingsprognose 2125 componenten	Verwacht	Conservatief
Zoutwinning	36,1	63,5
Gasopslag	3,2	5,3
Zoutwinning + gasopslag (totale caverne-effecten)*	39,2	68,7
Gaswinning	21,5	21,5
Totale bodemdaling (inclusief gaswinning)	52,4	81,8
Bodemdalingsnelheid door gasopslag + zoutwinning in mm/jaar	0,80	2,42
Bodemdalingsnelheid door alleen zoutwinning in mm/jaar	0,78	2,39

Tabel 10: Bodemdalingsprognose voor het jaar 2125 voor het diepste punt vanaf start winning. Alle bodemdalingsswaarden in cm, bodemdalingssnelheid in mm/jaar.



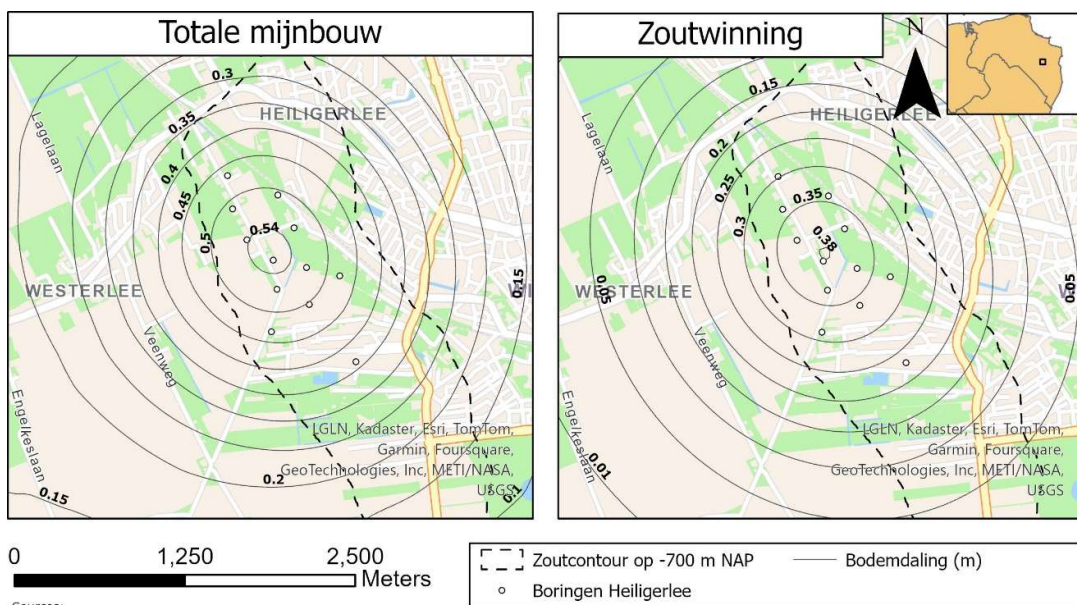
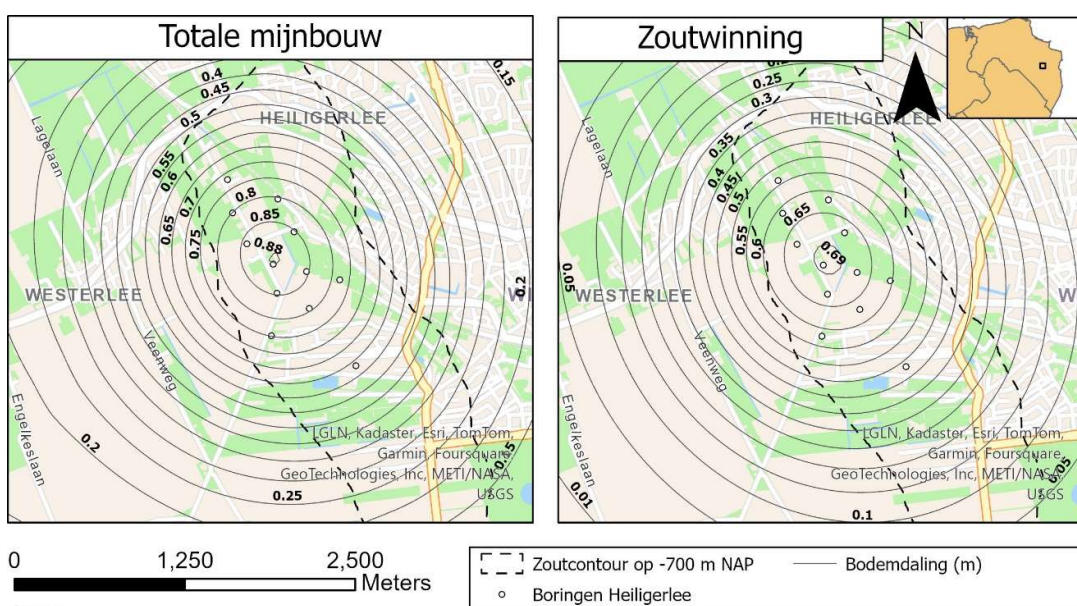
Figuur 21: Bodemdalingsprognose 2125; verwacht scenario.



Figuur 22: Bodemdalingsprognose 2125 conservatief scenario

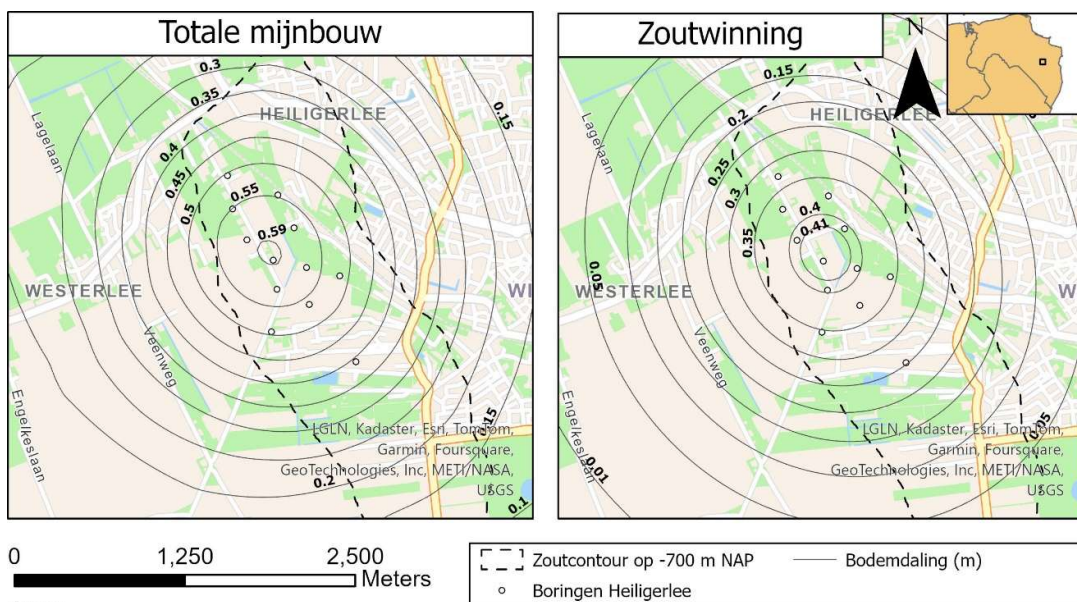
Bodemdalingsprognose 2150 componenten	Verwacht	Conservatief
Zoutwinning	38,0	69,5
Gasopslag	3,3	5,3
Zoutwinning + gasopslag (totale caverne-effecten)*	41,2	74,7
Gaswinning	21,9	21,9
Totale bodemdaling (inclusief gaswinning)	54,7	88,1
Bodemdalingsnelheid door gasopslag + zoutwinning in mm/jaar	0,79	2,40
Bodemdalingsnelheid door alleen zoutwinning in mm/jaar	0,78	2,37

Tabel 11: Bodemdalingsprognose voor het jaar 2150 voor het diepste punt vanaf start winning. Alle bodemdalingswaarden in cm, bodemdalingssnelheid in mm/jaar.

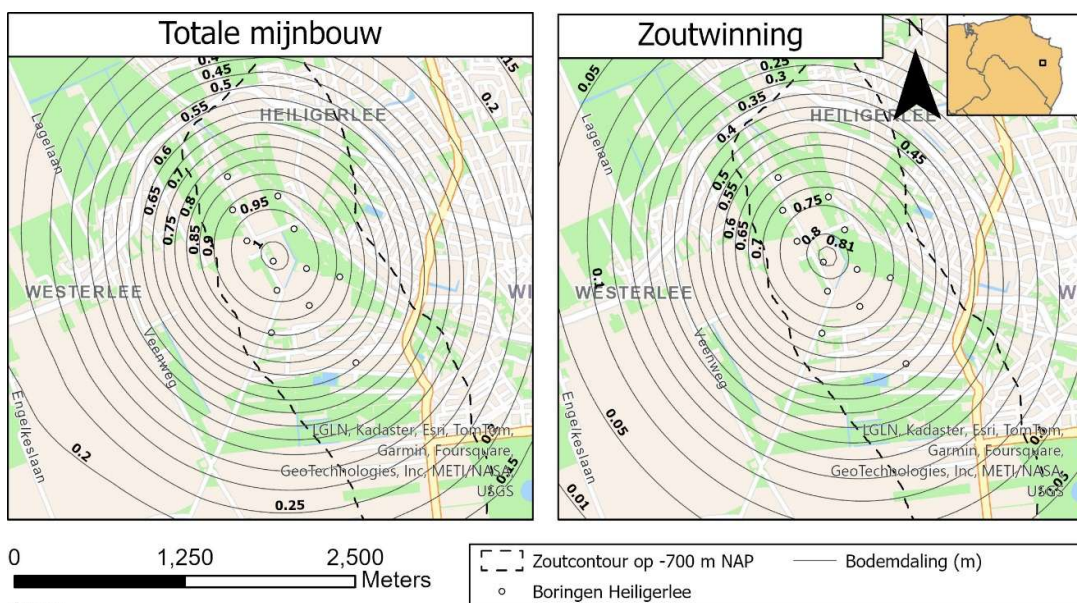


Bodemdalingsprognose 2200 componenten	Verwacht	Conservatief
Zoutwinning	41,9	81,2
Gasopslag	3,3	5,5
Zoutwinning + gasopslag (totale caverne-effecten)*	45,2	86,6
Gaswinning	22,7	22,7
Totale bodemdaling (inclusief gaswinning)	59,2	100,6
Bodemdalingsnelheid door gasopslag + zoutwinning in mm/jaar	0,79	2,36
Bodemdalingsnelheid door alleen zoutwinning in mm/jaar	0,78	2,33

Tabel 12: Bodemdalingsprognose voor het jaar 2200 voor het diepste punt vanaf start winning. Alle bodemdalingswaarden in cm, bodemdalingssnelheid in mm/jaar.



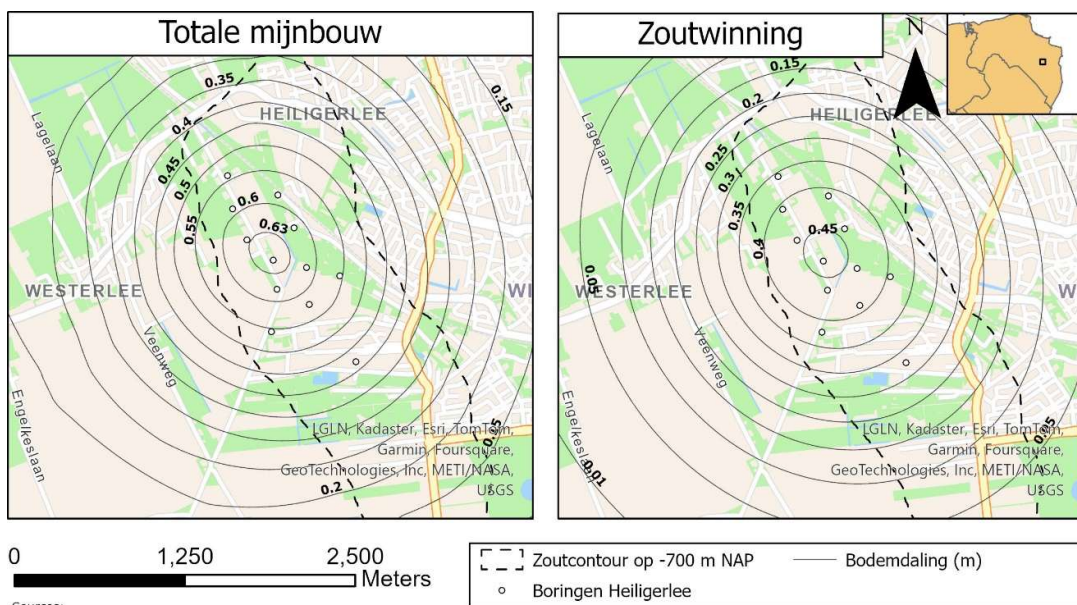
Figuur 25: Bodemdalingsprognose 2200; verwacht scenario.



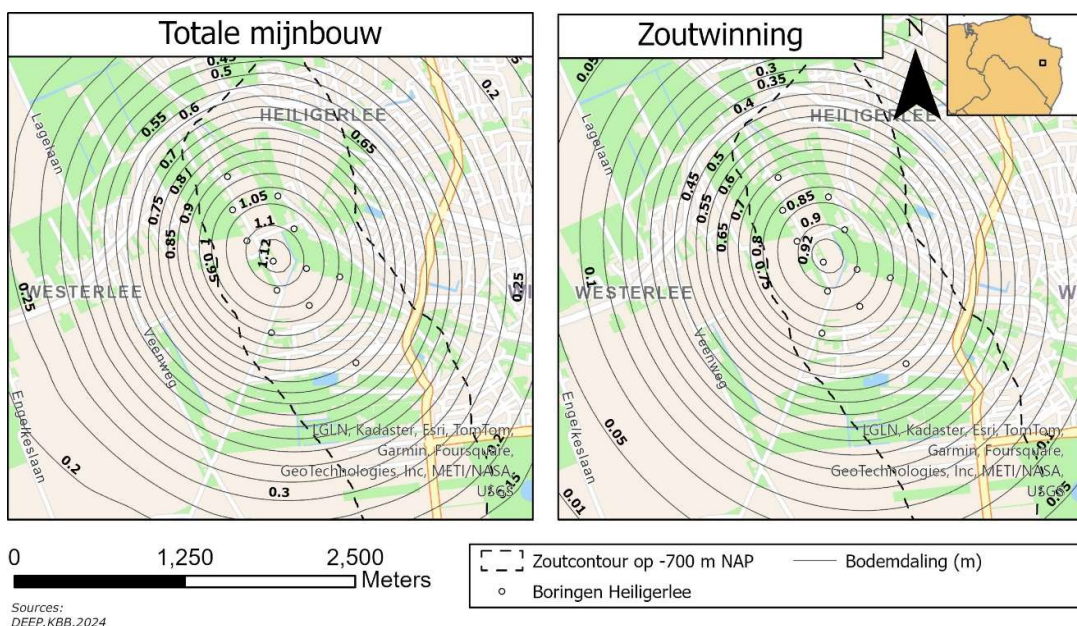
Figuur 26: Bodemdalingsprognose 2200, conservatief scenario

Bodemdalingsprognose 2250 componenten	Verwacht	Conservatief
Zoutwinning	45,8	92,8
Gasopslag	3,4	5,7
Zoutwinning + gasopslag (totale caverne-effecten)*	49,1	98,3
Gaswinning	23,4	23,4
Totale bodemdaling (inclusief gaswinning)	63,8	112,9
Bodemdalingsnelheid door gasopslag + zoutwinning in mm/jaar	0,78	2,33
Bodemdalingsnelheid door alleen zoutwinning in mm/jaar	0,77	2,30

Tabel 13: Bodemdalingsprognose voor het jaar 2250 voor het diepste punt vanaf start winning. Alle bodemdaling waarden in cm, bodemdalingssnelheid in mm/jaar.



Figuur 27: Bodemdalingsprognose 2250, verwacht scenario

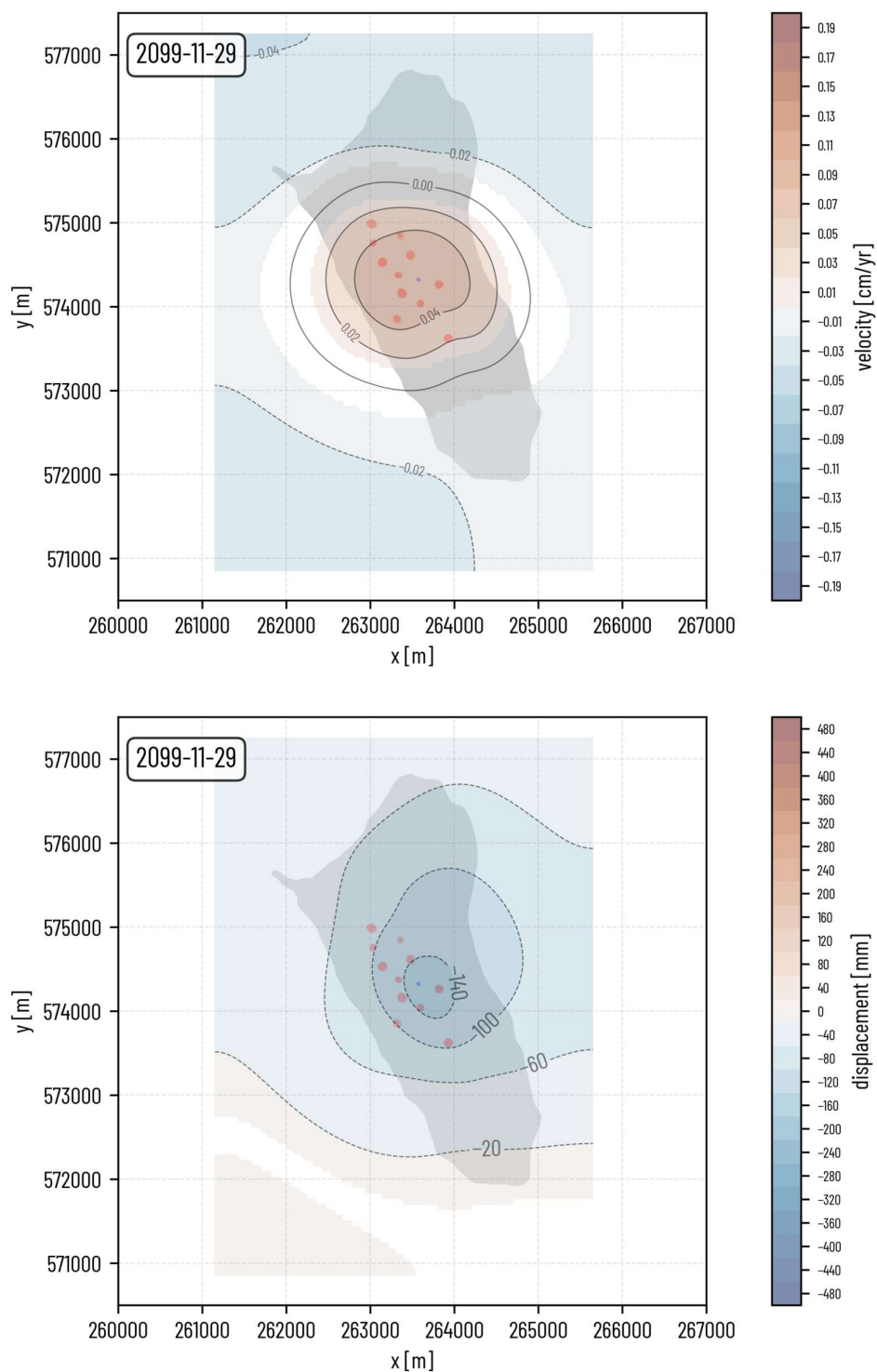


Figuur 28: Bodemdalingsprognose 2250, conservatief scenario

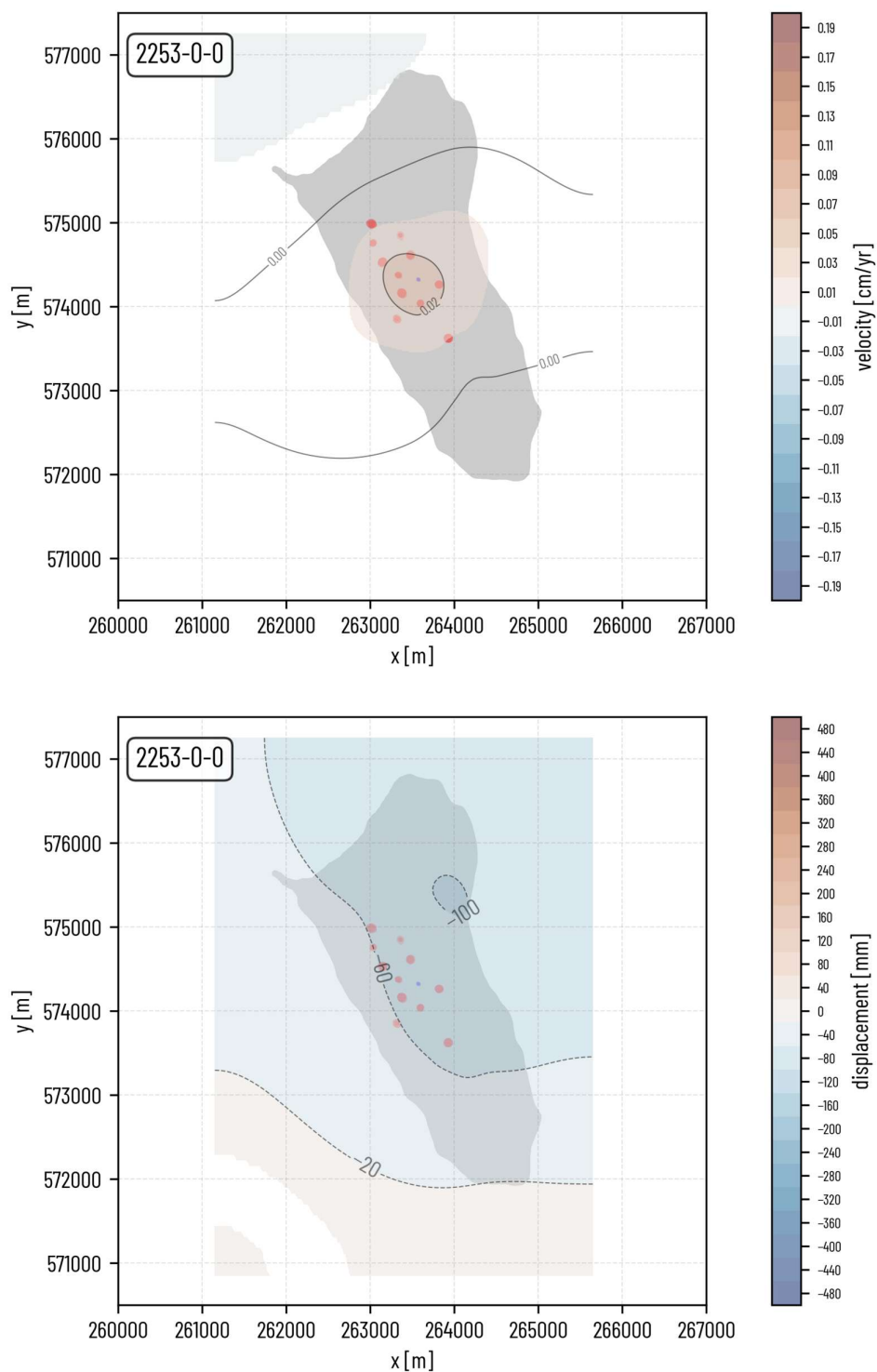
7.1.3. Resultaten voorspellingen deterministische methode

De bodemdalingsprognoses uit het CCC onderzoek laten een ander beeld zien dan de bodemdalingsprognoses van DEEP.KBB. De bodemdalingscontouren zijn qua vorm beïnvloed door de onderliggende rheologische eigenschappen van de lagen binnen het zout. Bovendien laat dit model zien dat er enige mate van bodemstijging is, waardoor de daling die gemeten is vanaf start winning in de productiefase grotendeels ongedaan gemaakt wordt.

Hoewel op het eerste oog deze resultaten betrouwbaarder lijken dan de empirische semi-analytische methode moet opgemerkt worden dat het deterministisch model nog relatief in de kinderschoenen staat. Zo is het kalibreren van de prognose op basis van de gemeten bodemdaling uit de productiefase nog geen onderdeel van de methode. Het CCC heeft nog geen passende werkwijze om dit te implementeren en dit zal in opvolgend onderzoek worden meegenomen. Nobian werkt hieraan mee om zo de bodemdalingsprognoses te verbeteren.



Figuur 29: Voorbeeld van bodemdalingsprognoses uit het deterministische (3D) model voor eind 2099 (zie figuur 21 voor resultaten empirische methode), CCC 2024. Het figuur boven laat de bodemdalingssnelheid zien in cm per jaar, onder de totale bodemvervorming in mm (daling in blauw, stijging in rood). Effecten van gaswinning zijn op basis van de door de NAM gepubliceerde prognose voor 2080. Op het moment van schrijven is er geen prognose verder in de toekomst beschikbaar.



Figuur 30: Voorbeeld van bodemdalingsprognoses uit het deterministische (3D) model voor eind 2253 (zie figuur 27 voor resultaten empirische methode), CCC 2024. Het figuur boven laat de bodemdalingssnelheid zien in cm per jaar, onder de totale bodemvervorming in mm (daling in blauw, stijging in rood). Effecten van gaswinning zijn op basis van de door de NAM gepubliceerde prognose voor 2080. Op het moment van schrijven is er geen prognose verder in de toekomst beschikbaar.

7.1.4. Mogelijke effecten van bodemdaling

In de tussentijd leveren de resultaten van DEEP.KBB conservatievere scenario's op ten opzichte van CCC. Door uit te gaan van die scenario's in opvolgende bepalingen van effecten is er voldoende bandbreedte om met eventuele nadelige effecten om te gaan. Hierbij moet worden opgemerkt dat de bodemstijging uit het CCC model beperkt is t.o.v. de daling in de DEEP.KBB modellen. Tevens is de maximale scheefstelling hoger in de empirische DEEP.KBB modellen dan uit de deterministische modellen.

Als gevolg van bodemdaling is het in theorie mogelijk dat gebouwen en infrastructurele werken onder een dusdanige hoek komen te staan dat er schade ontstaat, of de functie van de infrastructurele werken wordt aangetast. Nobian heeft deze geotechnische effecten laten doorrekenen door RHDHV (RHDHV 2024a, bijlage 5).

Bodemdaling kan ertoe leiden dat op bepaalde plaatsen het grondwater dichterbij het aardoppervlak komt te staan. Hierdoor kan de begroeiing in het gebied als te nat worden geclassificeerd. In een extreem geval kan (zonder mitigerende maatregelen) een gebied onder water komen te staan. Daarnaast kan mogelijk de grondwaterstroom beïnvloed worden. Nobian heeft deze effecten ook door RHDHV laten onderzoeken (RHDHV 2024b, bijlage 6).

Ten slotte kan bodemdaling tot gevolg hebben dat de functionaliteit van riolering aangetast wordt, doordat de hoek waaronder de rioolbuizen liggen niet langer gunstig is voor een natuurlijke afstroom. Tevens kan bodemdaling er ook voor zorgen dat de afstroom verbeterd. Deze effecten zijn ook door RHDHV onderzocht (RHDHV 2024c, bijlage 7).

De resultaten van deze studies en daaruit volgende maatregelen zijn samengevat in paragraaf 8.1.

7.2. Maatregelen om bodembeweging te voorkomen of te beperken

Artikel 25, lid 2, van het Mijnbouwbesluit verklaart dat: Artikel 24 eerste lid, onderdelen c tot en met g, en l tot en met s, en Artikel 24, tweede lid, van het Mijnbouwbesluit van overeenkomstige toepassing zijn voor de winning van zout.

Artikel 24, lid 1, onderdeel r, van het Mijnbouwbesluit verlangt dat het winningsplan, bedoeld in artikel 34, eerste lid, van de wet, voor de winning van koolwaterstoffen bevat: een beschrijving van de maatregelen die worden genomen om bodembeweging te voorkomen of te beperken.

De wijze waarop Nobian zout wint, waarbij cavernes ontstaan, leidt tot zeer geleidelijke en beperkte bodemdaling. Dit is in elk geval tijdens de productiefase, zoals ook uit metingen blijkt. Doordat het zout relatief ondiep gewonnen wordt, zijn de kruipeigenschappen op die diepte dusdanig dat de uiteindelijke bodemdalingssnelheid geminimaliseerd is. De bodemdaling zal nauwkeurig gemonitord worden via het meetplan.

7.3. Risicoanalyse bodemtrilling (schade door micro-seismiciteit)

De wijze waarop Nobian winning in het veld uitvoert, heeft sinds de start van de winning niet geleid tot micro-seismiciteit van een niveau dat er schade kan ontstaan. De winning in het gebied vindt sinds de jaren 60 plaats, en tot zover zijn er geen schadegevallen als gevolg van micro-seismiciteit bekend. Tevens meet Nobian sinds 2019 met een eigen netwerk (zie 6.2.4). De metingen uit het eigen netwerk bevestigen het beeld dat er micro-seismische trillingen worden gemeten maar niet van een magnitude dat er schade door zou kunnen ontstaan. Tussen magnitude en schade is geen eenvoudige relatie. Ten eerste speelt de diepte van de beving (het epicentrum) een rol. Een ondiepere beving van dezelfde magnitude als een diepere kan hevigere trillingen aan het

aardoppervlak veroorzaken. Echter kunnen breuken in de ondiepe ondergrond maar beperkt gespannen raken in Heiligerlee, omdat de maximale spanning daar het gevolg is van het gewicht van de bovenliggende lagen. Er kunnen daardoor geen ondiepe bevingen met hoge magnitude ontstaan. Ten tweede is het mogelijk dat trillingen in amplitude versterkt raken, ook wel bekend als het “opslingereffect”. Dit kan plaatsvinden als de trilling vanuit het epicentrum naar het oppervlak beweegt en daar door een bepaald type laag heen gaat, met een bepaalde dikte. Dit is in kaart gebracht in het werk van Van Ginkel et al. (2022). Deze studie laat tevens zien dat de lagen die het opslingereffect kunnen veroorzaken niet ter hoogte van Heiligerlee aanwezig zijn. Daarom acht Nobian het onwaarschijnlijk dat dit nabij Heiligerlee een rol kan spelen.

Nobian acht schade als gevolg van micro-seismiciteit daarom onwaarschijnlijk. Als er alsnog vermoed wordt dat er schade is door micro-seismiciteit als gevolg van zoutwinning, kan contact worden opgenomen met de commissie mijnbouwschade (zie ook paragraaf 8.2)

7.4. Mogelijke omvang en verwachte aard van schade door bodembeweging

Artikel 25, lid 2, van het Mijnbouwbesluit verklaart dat: Artikel 24 eerste lid, onderdelen c tot en met g, en l tot en met s, en Artikel 24, tweede lid, van het Mijnbouwbesluit van overeenkomstige toepassing zijn voor de winning van zout.

Artikel 24, lid 1, onderdeel q, van het Mijnbouwbesluit verlangt dat het winningsplan, bedoeld in artikel 34, eerste lid, van de wet, voor de winning van koolwaterstoffen bevat: een beschrijving van de mogelijke omvang en verwachte aard van de schade door bodembeweging.

Op basis van het werk van CCC zijn er op basis van de laatste wetenschappelijke inzichten geen aanwijzingen dat er schade valt te verwachten als gevolg van seismiteit. Bodemdaling kan mogelijk wel tot effecten leiden op de omgeving.

7.4.1. Keuze bodemdalingsprognose voor effectstudies

Nobian heeft de effecten van de bodemdaling laten bepalen door RHDHV. Hierin is gekeken naar de geotechnische risico's (scheefstelling huizen etc.), effecten op de geohydrologie (grondwaterstand, afstroming etc.) en de effecten op de riolering. Alle studies zijn uitgegaan van de bodemdalingsprognoses van DEEP.KBB omdat deze een conservatiever beeld van de bodemdaling geven. In vergelijking met de prognoses zoals deze door CCC uit het numerieke model volgen, laten de prognoses van DEEP.KBB een conservatiever beeld zien. Uit de berekeningen van DEEP.KBB volgt bijvoorbeeld een maximum bodemdaling van 112,9 cm in 2250 (conservatief scenario), terwijl dit ca. 6 cm is via de methode van CCC. De verschillen zijn relatief omdat de modellen van CCC laten zien dat er sprake is van bodemstijging na het hard afsluiten van de cavernes. Deze resultaten waren niet het gevolg van een te groot gebied waar pressure-solution creep actief is, zoals Hunfeld et al., 2022 beschrijft. Ook in de modellen waar er met een grenswaarde voor pressure-solution creep gewerkt werd (dezelfde aanpak als in Hunfeld et al., 2022), werd het "terugverende" effect gezien. Het effect is vergelijkbaar met een luchtbel die in zeer stroperige honing naar boven komt drijven. In het model van DEEP.KBB is hier geen rekening mee gehouden. Dit model gaat uit van een lagere evenwichtsdruk dan dat de numerieke (CCC) modellen voorspellen, waarbij er continue caverneconvergentie is en daarbij horende bodemdaling, al verloopt dit trager dan tijdens de productiefase. Het model van DEEP.KBB is op het moment van schrijven niet in staat om te werken met de caverne druk zoals deze door het CCC voorspeld is.

De bodemdaling via het deterministische model laat een patroon zien wat ruimtelijk overeenkomt met de geologische structuur binnen het zout. Als gevolg daarvan is de bodemdaling niet grotendeels (axi-) symmetrisch, en kunnen er binnen de kom verschillen zijn waardoor lokaal de helling kan variëren. De maximum helling uit het CCC-model is orde grootte van 100 mm/km in 2250, lager dan wat uit het DEEP.KBB komt (699 mm/km). Ook hier is het DEEP.KBB model dus conservatiever.

RHDHV is uitgegaan van een verwacht en conservatief scenario in termen van de onderliggende kruipeigenschappen die door DEEP.KBB gebruikt zijn, en door het CCC bepaald zijn. In alle scenario's worden de putten permanent afgesloten (hard shut-in).

7.4.2. Geotechnische risico's

Aan de hand van de zetting (bodemdaling van DEEP.KBB) zijn verschillende parameters berekend om te bepalen wat de gevolgen van de zetting zijn ten opzichte van gebouwen, infrastructuur en de functionaliteit daarvan: de helling, horizontale rek en de kromming. De kromming kan gebruikt worden om de relatieve rotatie van verschillende groottes van gebouwen te bepalen (via een aangenomen lengte van het gebouw). Nobian heeft dit laten bepalen door RHDHV en de rapportage is bijgevoegd bij deze actualisatie. Hieronder volgt een samenvatting.

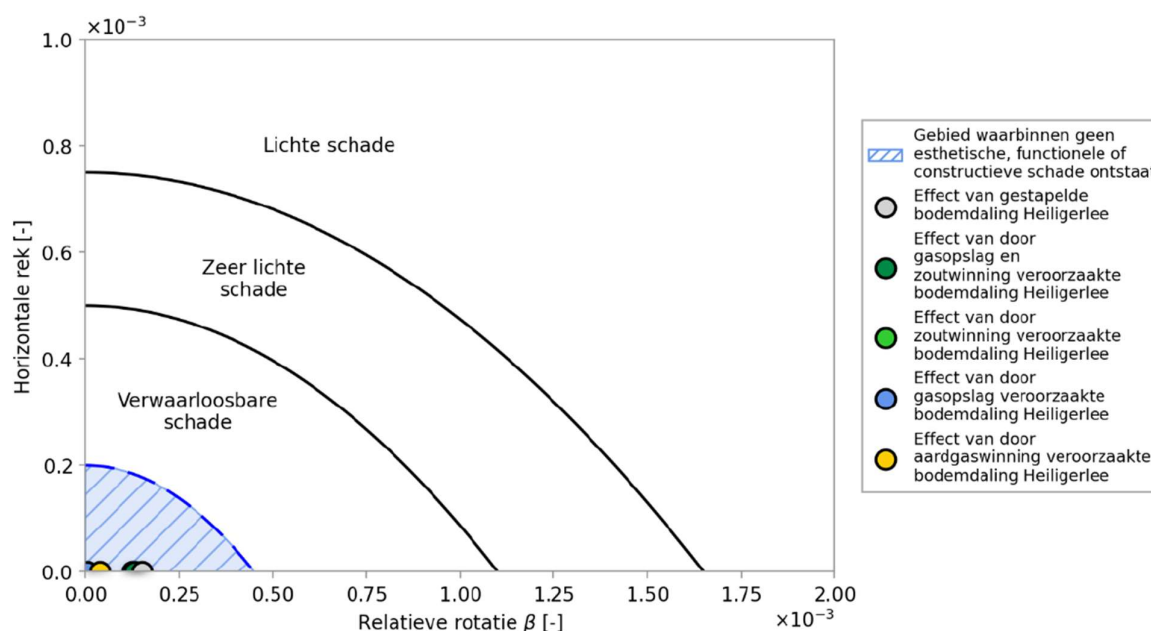
RHDHV (2024a) concludeert het volgende. De berekende vervormingsparameters voor de situatie in 2125 (conservatief scenario) zijn als volgt:

Zichtjaar	Maximale bodemdaling (mm)	Maximale Helling (mm/km)	Horizontale rek (m/m)	Kromming (1/km)	Max relatieve rotatie (gebouw 200m)
2025	367	188 (1:5331)	$1,76 \cdot 10^{-8}$	$3,67 \cdot 10^{-4}$	$3,67 \cdot 10^{-5}$
2050	579	325 (1:3075)	$5,29 \cdot 10^{-8}$	$6,07 \cdot 10^{-4}$	$6,07 \cdot 10^{-5}$
2075	686	395 (1:2531)	$7,81 \cdot 10^{-8}$	$7,57 \cdot 10^{-4}$	$7,57 \cdot 10^{-5}$
2100	754	441 (1:2267)	$9,73 \cdot 10^{-8}$	$8,68 \cdot 10^{-4}$	$8,68 \cdot 10^{-5}$
2125	818	485 (1:2062)	$1,18 \cdot 10^{-7}$	$9,76 \cdot 10^{-4}$	$9,76 \cdot 10^{-5}$
2150	881	528 (1:1893)	$1,40 \cdot 10^{-7}$	$1,08 \cdot 10^{-3}$	$1,08 \cdot 10^{-4}$
2200	1006	614 (1:1628)	$1,89 \cdot 10^{-7}$	$1,29 \cdot 10^{-3}$	$1,29 \cdot 10^{-4}$
2250	1129	699 (1:1431)	$2,44 \cdot 10^{-7}$	$1,50 \cdot 10^{-3}$	$1,50 \cdot 10^{-4}$

Tabel 14: Uitkomsten berekende vervormingsparameters op basis van de conservatieve bodemdalingsprognoses. Berekening is op basis van de gestapelde mijnbouw bodemdaling (gaswinning, gasopslag en zoutwinning)

Met betrekking tot mogelijke schade als gevolg van bodemvervorming wordt de maximale scheefstelling vergeleken met de waarde waarbij kantelen van bijvoorbeeld schoorstenen, silo's of watertorens instabiel kunnen worden. Deze waarde bedraagt 1:250 (RHDHV 2024a). De maximale scheefstelling door zoutwinning ligt onder deze waarde. Wel is het mogelijk dat de waarde gerelateerd aan de functionaliteit van niet apart gefundeerde turbogeneratoren overschreden zou kunnen worden (1:5000). Deze zijn echter niet bekend aanwezig in het gebied.

TNO heeft op basis van een literatuurstudie grenswaarden opgesteld voor twee relevante indicatoren om schade aan gebouwen te evalueren: horizontale rek en relatieve rotatie. De berekende waarden op basis van het conservatieve bodemdalingsscenario voor 2250 zijn als stippen weergegeven in figuur 31 ten opzichte van mogelijke schade op basis van de TNO-grenswaarden.



Figuur 31: Grenswaarden voor schade als gevolg van bodemdaling en berekende waarden Heiligerlee

De analyse is uitgevoerd voor een conservatief scenario waarin rekening is gehouden met de effecten van gestapelde mijnbouwactiviteiten (zoutwinning, gasopslag en gaswinning). In het licht van de door TNO opgestelde grenswaarden wordt geconcludeerd dat er door de mijnbouwactiviteiten bij Heiligerlee geen esthetische, functionele of constructieve schade ontstaat. Ook voor de infrastructuur (ondergrondse leidingen en wegen) vindt naar verwachting geen schade plaats als gevolg van de mijnbouwactiviteiten.

7.4.3. Effecten op geohydrologie

Aan de hand van de bodemdalingsscenario's zijn de effecten op de grondwaterstand (drooglegging) berekend, en is er tevens gekeken naar de afwatering in het gebied. Hierin is zowel naar het verwachte bodemdalingsscenario gekeken als het conservatieve scenario. De analyse is beperkt naar de zichtjaren 2050 en 2125, omdat er voor de daarop volgende jaartallen geen verwachtingen zijn m.b.t. de waterstanden in de regio, als gevolg van bijvoorbeeld onzekerheidsbandbreedtes in klimaatmodellen. Wel is er een doorkijk gemaakt voor 2250, uitgaande dat de grondwaterstanden op dat moment gelijk zijn als in 2125.

RHDHV concludeert dat zowel de huidige drooglegging als ook de afwatering voor beide scenario's (verwacht en conservatief) en voor beide zichtjaren (2050 en 2125) vergelijkbaar gehouden kan worden met die in de huidige situatie. Wel is het nodig om hiervoor nieuwe peilgebieden te creëren en daarvoor nieuwe kunstwerken aan te leggen of bestaande kunstwerken te vervangen. Dit is samengevat in tabel 16.

	Verwacht scenario		Conservatief scenario	
	2050	2125	2050	2125
Aantal nieuwe peilgebieden	0	2	5	23
Aantal nieuwe stuwen t.b.v. afwatering nieuwe peilgebieden	0	0	0	10
Aantal nieuwe gemalen t.b.v. afwatering nieuwe peilgebieden	0	2	7	21
Aantal aanpassingen bestaande stuwen t.b.v. nieuwe peilen	6	0	6	0
Aantal stuwen die een gemaal moeten krijgen t.b.v. afwatering	4	0	4	0
Stuwen waarvoor mogelijk maatregelen nodig zijn ter vermindering van de overstortende straal	0	0	0	0

Tabel 15: Overzicht verwachte benodigde mitigerende maatregelen om aan de droogleggingsnorm te blijven voldoen. Maatregelen die in 2050 al beoogd zijn worden bij 2125 niet langer vermeld omdat deze dan immers al uitgevoerd zijn.

Ook voor 2250 concludeert RHDHV dat het mogelijk is om aan de lokale droogleggingsnormen te voldoen met soortgelijke technische ingrepen, uitgaande van het verwachte scenario. Als ze echter uitgaan van het conservatieve scenario is het nog steeds technisch mogelijk maar zal er een te versnipperd en zeer lastig te beheren watersysteem kunnen ontstaan.

Nobian is voornemens een contract af te sluiten en is hierover in gesprek met het waterschap om financieel zorg te dragen voor eventuele technische ingrepen die in het gebied nodig blijken te zijn.

7.4.4. Effect op riolering

Om te zorgen dat de riolering goed functioneert, is het nodig dat de verbuizingen hiervoor onder een bepaalde hoek liggen. Deze hoek is te relateren aan de diameter van de buis zelf, en vormt het ideale afschot. Dit is echter geen formele norm maar eerder een grove vuistregel. RHDHV heeft de ligging van het huidige stelsel geanalyseerd op basis van informatie die aangeleverd is door de gemeente Oldambt en getoetst aan de vuistregel. Dit vormt een nul-situatie waarmee de toekomstige situatie vergeleken wordt. Hieruit blijkt dat een gedeelte van huidige stelsel niet aan de vuistregel voldoet.

Het afschot kan veranderen als gevolg van de bodemdaling. Dit kan zowel een verbeterend als verslechterend effect hebben. Deze zijn in kaart gebracht voor 2075 en 2250, waarbij opgemerkt wordt dat in het laatste geval de vervangingstermijn van 80 jaar overschreden is. De situatie in 2075 en 2250 is te zien in onderstaande tabellen. Detailkaarten die laten zien welke leidingen dan specifiek beïnvloed zijn, zijn bijgevoegd in het rapport van RHDHV (2024c).

2075	Verwacht scenario in [km]	Verwacht scenario in [%]	Conservatief scenario in [km]	Conservatief scenario in [%]
Blijft in dezelfde klasse	158,8	93,4	152,7	89,8
Naar betere klasse	5,1	3,0	8,4	4,9
Naar slechtere klasse	6,2	3,7	8,9	5,2

Tabel 16: Effecten op bodemdaling voor de gemeente Oldambt in 2075, uitgaande van verwacht en conservatieve scenario's. Alle waarden afgerond op 1 cijfer achter de komma waardoor percentages mogelijk niet exact tot 100% optellen.

2250	Verwacht scenario in [km]	Verwacht scenario in [%]	Conservatief scenario in [km]	Conservatief scenario in [%]
Blijft in dezelfde klasse	154,4	90,8	145,0	85,2
Naar betere klasse	7,5	4,4	12,2	7,2
Naar slechtere klasse	8,1	4,8	12,9	7,6

Tabel 17: Effecten op bodemdaling voor de gemeente Oldambt in 2250, uitgaande van verwacht en conservatieve scenario's. Alle waarden afgerond op 1 cijfer achter de komma waardoor percentages mogelijk niet exact tot 100% optellen.

RHDHV concludeert dat de bodemvervorming bij een reële levensduur van de riolering van 80 jaar een verwaarloosbare impact heeft op het rioleringssysteem van Oldambt.

7.5. Maatregelen om schade door bodembeweging te voorkomen of te beperken

Artikel 35, lid 1, onderdeel f, van de Mijnbouwwet verlangt dat het winningsplan ten minste een beschrijving bevat van: de bodembeweging ten gevolge van de winning en de maatregelen ter voorkoming van schade door bodembeweging, voor zover het winnen van delfstoffen niet geschiedt in het continentaal plat of onder de territoriale zee vanuit een voorkomen dat is gelegen aan de zeezijde van de in de bijlage bij deze wet vastgelegde lijn, tenzij Onze Minister anders heeft bepaald.

Artikel 25, lid 2, van het Mijnbouwbesluit verklaart dat: Artikel 24 eerste lid, onderdelen c tot en met g, en l tot en met s, en Artikel 24, tweede lid, van het Mijnbouwbesluit van overeenkomstige toepassing zijn voor de winning van zout.

Artikel 24, lid 1, onderdeel s, van het Mijnbouwbesluit verlangt dat het winningsplan, bedoeld in

artikel 34, eerste lid, van de wet, voor de winning van koolwaterstoffen bevat: een beschrijving van de maatregelen die worden genomen om schade door bodembeweging te voorkomen of te beperken.

De beste manier om bodemdaling te beperken is het permanent afsluiten van de cavernes na de winningsfase zodra dat veilig kan. De resultaten uit het CCC laten zien dat dit mogelijk is binnen de bekende bandbreedte. Tevens geeft CCC aan dat de resultaten uit het model nog in werkelijkheid aangetoond moeten worden. Daar vormen veldtesten een belangrijke input voor. Hierbij moet ook worden onderzocht hoe effectief mitigerende maatregelen zijn om de drukopbouw na hard afsluiten af te kunnen remmen. Daarbij wordt onderzocht wat het effect is van gedeeltelijk opvullen van de cavernes. Opvullen levert naar verwachting ook minder bodemdaling op. Nobian is van plan om een veldtest bij caverne HL-H uit te voeren.

Uitgaande van de situatie zonder opvullen zijn er door RHDHV maatregelen aangedragen om de schade als gevolg van de bodemdaling te beperken. Hierin worden maatregelen voorgesteld m.b.t. de geohydrologie en effecten op riolering.

Omdat het waterschap verantwoordelijk is voor het behalen van de droogleggingsnorm en er zorg voor draagt dat de grondwaterstanden binnen de normen blijven, is Nobian in gesprek over een contract met het waterschap om financieel zorg te dragen voor eventuele technische ingrepen die in de toekomst in het gebied nodig zouden kunnen zijn.

Eerste resultaten uit het CCC laten zien dat na permanent afsluiten van de cavernes de bodemdaling kan veranderen in beperkte bodemstijging. In de effectenstudies (RHDHV) is uitgegaan van de empirische modellen waar er wel bodemdaling is na afsluiten, en leveren daarom een conservatieve benadering. Permanent afsluiten (ofwel hard insluiten) van de cavernes kan dus bodemdaling beperken. Tevens kan het opvullen van cavernes dit ook doen, maar de effectiviteit hiervan moet nader onderzocht worden.

8. Effecten voor de omgeving

8.1. Risico's voor omwonenden, gebouwen en infrastructuur

Artikel 35, lid 1, onderdeel g, van de Mijnbouwwet verlangt dat het winningsplan ten minste een beschrijving bevat van: de risico's voor omwonenden, gebouwen of infrastructurele werken of de functionaliteit daarvan met een risicobeoordeling.

Artikel 36, lid 1, onderdeel a, van de Mijnbouwwet bepaalt dat de Minister de instemming met het winningsplan kan weigeren indien het in het winningsplan aangeduide gebied door Onze Minister niet geschikt wordt geacht voor de in het winningsplan vermelde activiteit om reden van het belang van de veiligheid voor omwonenden of het voorkomen van schade aan gebouwen of infrastructurele werken of de functionaliteit daarvan.

Nobian heeft extern en onafhankelijk door Vreugdenhil Milieuexpert laten inventariseren wat de risico's zijn voor omwonenden in de omgeving, maar ook voor andere stakeholders in het gebied. De zeer beperkte risico's voor gebouwen en infrastructuur zijn deels al behandeld in het vorige hoofdstuk (paragraaf 7.4.1). De analyse houdt rekening met de gevolgen, maar ook de kans dat een risico zich voordoet. Eerst wordt gekeken hoe de risico's scoren zonder mitigerende maatregelen (als Nobian niets zou doen), en vervolgens wat het gemitigeerde rest-risico nog is. De volledige analyse is terug te vinden in de bijlage.

De inventarisatie is opgezet voor een breed scala aan stakeholders, waaronder onderdelen uit de rijksoverheid (EZK, SodM, MInW), Regionale autoriteiten (provincie, omgevingsdienst), lokale autoriteiten (gemeenten Veendam en Pekela, Waterschap Hunze en Aa's), publieke bedrijven in de omgeving (o.a. GTS), drinkwatermaatschappijen, infrastructuur, private bedrijven in de omgeving (o.a. de NAM, NedMag), NGO's, belangenorganisaties en de bevolking in de omgeving. Er is ten slotte ook gekeken naar de risico's voor de initiatiefnemer: Nobian zelf. In de opzet zijn er 19 potentiële risico's geïdentificeerd, die niet allemaal overal van toepassing zijn.

Matrix risico's (niet-gemitigeerd, vóór toepassing van de preventieve en correctieve maatregelen)

4 x 3 Risicomatrix		Gevolg		
		1	2	3
Kans	3		1.19; 2.2; 2.5; 3.7; 5.1; 5.4; 6.1; 9.1; 9.6; 10.1; 10.5; 10.7; 14.1; 15.1; 16.1; 18.4; 27.3; 31.1; 31.4; 31.5; 32.1; 32.4; 32.5; 34.1; 35.2; 36.1; 37.1; 38.1; 39.1; 39.8; 40.2; 41.1; 41.8; 42.2; 43.2;	1.2; 1.16; 2.1; 3.1; 13.1; 15.6; 17.1; 18.1; 28.1; 30.1; 34.6; 39.6; 41.6; 44.4;
	2	3.8; 25.1; 26.1; 30.2; 44.1;	1.6; 2.3; 5.2; 6.2; 7.2; 9.2; 10.2; 14.2; 15.2; 31.2; 32.2; 34.2; 36.2; 37.2; 38.2; 39.2; 41.2;	1.5; 1.17; 3.2; 4.2; 13.2; 15.7;
	1	8.2; 10.3; 34.3; 36.3;	1.3; 1.4; 2.4; 4.1; 5.3; 6.3; 6.4; 6.5; 7.1; 8.1; 9.3; 9.4; 9.5; 10.4; 10.6; 11.1; 12.1; 12.2; 13.3; 14.3; 19.1; 20.1; 21.1; 24.1; 31.3; 32.3; 33.1; 34.4; 35.1; 37.3; 38.3; 38.4; 39.3; 40.1; 41.3; 42.1; 43.1;	1.1; 1.8; 1.9; 1.11; 1.12; 1.18; 3.3; 3.4; 14.4; 15.3; 15.4; 19.2; 22.1; 23.1; 25.2; 26.2; 27.1; 27.4; 33.3; 39.4; 41.4; 44.3;
	0			

Figuur 32: Overzicht niet-gemitigeerde risico's uit de risico-inventarisatie van Vreugdenhil Milieuexperts

Matrix restrisico's (na toepassing van de preventieve en correctieve maatregelen)

4 x 3 Risicomatrix		Gevolg		
		1	2	3
Kans	3			
	2	10.5;		
	1	2.3; 2.5; 3.2; 3.7; 5.1; 5.2; 5.3; 5.4; 6.2; 6.3; 9.3; 9.6; 10.3; 10.7; 13.1; 13.3; 14.1; 14.2; 14.3; 15.1; 15.2; 16.1; 18.4; 25.1; 26.1; 27.3; 30.2; 31.1; 31.2; 31.5; 32.1; 32.2; 32.5; 34.1; 34.2; 34.3; 35.2; 36.1; 36.2; 36.3; 37.1; 37.2; 37.3; 38.1; 38.2; 38.3; 39.1; 39.2; 39.3; 39.8; 40.2; 41.1; 41.2; 41.3; 41.8; 42.2; 43.2;	1.3; 1.5; 1.9; 1.17; 1.19; 2.2; 3.3; 4.2; 6.1; 9.1; 9.2; 10.1; 10.2; 15.6; 15.7; 17.1; 18.1; 19.2; 27.4; 28.1; 30.1; 31.4; 32.4; 33.3; 34.6; 39.6; 41.6;	1.1; 1.2; 1.16; 2.1; 3.1; 13.2; 15.3;
	0			

Figuur 33: Overzicht van het rest-risico na implementatie van de mitigerende maatregelen die Nobian treft

Het overzicht van de niet-gemitigeerde situatie is weergegeven in figuur 32. De gemitigeerde situatie is weergegeven in figuur 33. Dit laat zien dat met de mitigatie van de diverse risico's, met alle acties die Nobian onderneemt, er geen risico's meer zijn in het rode gebied. Wel zijn er restrisico's die in het oranje gebied staan. Deze risico's zijn geclassificeerd als zo laag als redelijkerwijs mogelijk (vanuit het Engels: ALARP, As Low As Reasonably Practicable), en vallen daarmee in het voor Nobian acceptabele gebied. De preventieve en mitigerende maatregelen die Nobian treft m.b.t. zoutcavernes zijn beschreven in diverse managementsystemen, die hieronder beschreven worden.

Tijdens de winning zijn de externe risico's beperkt door de hoge drukleidingen ondergronds aan te leggen en de putten af te schermen met locatiebeveiliging. De integriteit van de pijpleidingen wordt gecontroleerd en onderhouden overeenkomstig het Pipeline Integrity Management System (PIMS) van Nobian. De integriteit van de putten wordt op vergelijkbare wijze gecontroleerd en onderhouden volgens het Well Integrity Management System (WIMS) van Nobian. De ontwikkeling van de cavernes wordt eveneens gecontroleerd uitgevoerd volgens het Cavern Stability and Integrity Management System (CSIMS). Hiermee worden de cavernes gedurende hun gehele levenscyclus stabiel en integer gehouden. Door deze zorgsystemen gezamenlijk worden de risico's voor omwonenden, gebouwen en infrastructuur zo veel mogelijk geminimaliseerd (Vreugdenhil Milieuexpert 2024, bijlage 8).

Daarnaast heeft Nobian diverse bedrijfsprotocollen in werking die een beschrijving geven van te nemen acties indien er een calamiteit optreedt. Wanneer deze in werking treden met betrekking tot caverne-gerelateerde calamiteiten staat beschreven in CSIMS.

8.2. Handelingsperspectief omwonenden in geval van vermoede schade

Zoutwinning is veilig en verantwoord. Het voorkomen van schade is een belangrijk uitgangspunt voor Nobian, maar indien er desalniettemin toch schade zou voorkomen, is een juiste afhandeling ervan een belangrijke voorwaarde. Nobian vindt het daarom belangrijk dat bewoners voor de afhandeling van schades als gevolg van mijnbouw bij één loket terecht kunnen. Ook heeft het, in het

belang van alle betrokken partijen, de voorkeur dat de beoordeling van mogelijke schades als gevolg van zoutwinning door een onafhankelijke partij beoordeeld wordt.

Nobian heeft daarom een overeenkomst getekend met het ministerie van EZK voor een onafhankelijke beoordeling van meldingen over mogelijke schade aan huizen door bodembeweging als gevolg van zoutwinning (zie ook: <https://www.nobian.com/nl/nobian-steunt-onafhankelijke-beoordeling-schademeldingen>). De overeenkomst geeft bewoners in het winningsgebied de mogelijkheid om de Commissie Mijnbouwschade te vragen om een bindend advies. De Commissie beoordeelt of eventuele schade aan huizen verband houdt met bodembeweging door zoutwinning. Blijkt dit zo te zijn, dan is de uitspraak voor Nobian bindend. Op de website van de commissie mijnbouwschade is een stappenplan vermeld wat de procedure toelicht: [Commissie Mijnbouwschade stappenplan](#).

De overeenkomst laat nog steeds ruimte aan Nobian om schademeldingen rechtstreeks af te handelen met bewoners. Deze kunnen zich ook direct bij Nobian melden.

8.3. Planmatig beheer van bodem en ondergrond

Artikel 36, lid 1, onderdeel b, van de Mijnbouwwet bepaalt dat de Minister de instemming met het winningsplan kan weigeren in het belang van het planmatig gebruik of beheer van delfstoffen, aardwarmte, andere natuurlijke rijkdommen, waaronder grondwater met het oog op de winning van drinkwater, of mogelijkheden tot het opslaan van stoffen.

8.3.1. Kansen overige mijnbouwactiviteiten in het gebied

In dit plan worden geen nieuwe locaties beschreven. Breder in het veld, binnen de Winschoten zoutpijler blijft er daarom voldoende ruimte om andere cavernes te ontwikkelen, bijvoorbeeld ten behoeve van waterstofopslag. Aardgaswinning wordt uitgefaseerd in het gebied. Mocht daar een andere afweging in gemaakt worden blijft het mogelijk om het potentiële gasreservoir onder het zoutvoorkomen aan te boren. Boven het zoutvoorkomen zijn de bovenliggende lagen te ondiep, dusdanig dat geothermie waarschijnlijk niet rendabel zou zijn, ondanks de lokaal verhoogde warmteflux als gevolg van een hogere thermische geleidbaarheid van het steenzout (e.g. Raymond et al., 2022). Theoretisch zijn er wel mogelijkheden voor warmteopslag (HTO) in het gebied, mits de lagen van voldoende doorlaatbaarheid zijn. Mogelijk zijn deze lagen buiten het zoutvoorkomen dikker, waardoor het opslagpotentieel daar hoger is. Hierop hebben het voorkomen van de zoutwinningscavernes geen invloed.

8.3.2. Drinkwater

De winningslocatie bevindt zich op voldoende afstand van mogelijke bronnen voor drinkwater. Nobian heeft dit gecontroleerd op basis van de publiek beschikbare informatie op [Grondwaterbeschermingskaart rondom bronnen voor drinkwater | Atlas Leefomgeving](#) (laatst geraadpleegd op 27 mei 2024).

Het meest nabij gelegen waterwingebied is ten oosten van de winningslocatie, genaamd “Bellingwolde”. Dit ligt ten westen van het gelijknamige dorp. Hier is tevens een boringsvrije zone aanwezig met dezelfde naam. Dit gebied bevindt zich t.o.v. de vergunningscontour op circa 9 km afstand.

Ten zuidwesten van de winningslocaties bevinden zich de grondwaterbeschermingsgebieden “De Groeve” en “Onnen-De Punt”, beide nabij Zuidlaren. Tevens is hier een grondwaterbeschermingszone “Annen-Breevenen” nabij Exterveen. Deze bevinden zich allen op meer dan 15 km afstand.

Zelfs in het onwaarschijnlijke geval dat er pekkel of afdekvloeistof van de caverne of put naar het maaiveld stroomt, is de kans zeer klein dat deze drinkwatergebieden hierdoor beïnvloed raken, gezien de afstand.

8.4. Gevolgen voor milieu en natuur

Artikel 36, lid 1, onderdeel c en d, van de Mijnbouwwet bepalen dat de Minister de instemming met het winningsplan kan weigeren indien nadelige gevolgen voor het milieu ontstaan, of indien nadelige gevolgen voor de natuur worden veroorzaakt.

De winningslocatie bevindt zich op voldoende afstand van Natura 2000-gebieden. Nobian heeft dit gecontroleerd aan de hand van publiek beschikbare informatie: [Natura 2000 gebieden | natura 2000](#). Het dichtstbijzijnde gebied is de Waddenzee op ca. 13 km afstand.

Overige Natura 2000 gebieden zijn het “Lieftingsbroek” (> 15 km), het “Zuidlaardermeergebied” (>16 km) en het “Drentsche Aa-gebied” (>22 km). Ook hiervoor is de inschatting van Nobian dat de afstand dusdanig groot is dat deze Natura 2000-gebieden niet beïnvloed zullen worden.

Dit wordt onderschreven door RHDHV (2024b), waarin geconcludeerd wordt dat de door activiteiten van Nobian veroorzaakte afname in grondwaterstanden en stijghoogten niet tot Natura 2000 gebieden reiken. Er zijn daarom geen negatieve effecten op deze natuurgebieden te verwachten. Dit wordt onderschreven door de risicoanalyse van Vreugdenhil Milieuexpert 2024 (zie bijlage 8).

9. Winningskosten

artikel 35, lid 1 e van de mijnbouwwet en artikel 24, lid I van het mijnbouwbesluit dient een opgave van de jaarlijkse kosten van de winning, onderverdeeld in kosten voor investeringen, onderhoud en bedrijfsvoering, gegeven te worden.

[informatie niet beschikbaar in publieke versie i.v.m. gevoelige informatie bedrijfsvoering]

10. Referenties

- Bérest, P. (2019). Heat transfer in salt caverns. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 120, 82-95.
- TNO 2021. R11125 dd 22-06-2021, Ondergrondse Energieopslag in Nederland 2030 – 2050
- TNO 2014, informatieblad Zoutpijler Winschoten (beschikbaar via: [Steenzout | NLOG](#))
- SodM 2023 jaarplan, Maart 2023, Publicatie-nr. 23401196
- Roland Berger 2022, “Zout impactstudie, Het maatschappelijk en economisch belang van duurzame zoutwinning in Nederland”. Amsterdam, Juli 2022
- Nobian 2024a, Cavern Stability and Integrity Management System – CSIMS, v2.0
- Nobian 2024b, Memorandum use of CCC models.
- Nobian 2024c, NA20240410PP, Projectplan Caverne vullen Noord Nederland ZW & HL.
- Bérest, P., Gharbi, H., Brouard, B., Brückner, D., DeVries, K., Hévin, G., Hofer, G., Spiers, C. and Urai, J., 2019. Very slow creep tests on salt samples. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 52, pp.2917-2934.
- Bérest, P., Gharbi, H., Blanco-Martín, L., Brouard, B., Brückner, D., DeVries, K.L., Hévin, G., Hofer, G., Spiers, C.J. and Urai, J.L., 2023. Salt Creep: Transition Between the Low and High Stress Domains. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 56(11), pp.8305-8316.
- Hunfeld, L., Breunese, J., & Wassing, B. (2022). The influence of a threshold stress for pressure solution creep on cavern convergence and subsidence behavior—An FEM study. In *The Mechanical Behavior of Salt X* (pp. 577-589). CRC Press.
- Raymond, J., Langevin, H., Comeau, F. A., & Malo, M. (2022). Temperature dependence of rock salt thermal conductivity: Implications for geothermal exploration. *Renewable Energy*, 184, 26-35.
- RHDHV 2024a, rapport: “Effect van bodemvervorming door zoutwinning - Heiligerlee”, referentie: BI8380-107 Effect bodemdaling 20240322
- RHDHV 2024b, rapport: “Hydrologische effecten als gevolg van zoutwinning door Nobian te Heiligerlee”, referentie: BI8380-107 Geohydrologie 20240412
- RHDHV 2024c, rapport: “Effect van bodemdaling door zoutwinning op riolering - Heiligerlee”, referentie: BI8380-110 Effect bodemdaling 20240409
- van Gent, H., Back, S., Urai, J. L., & Kukla, P. (2010). Small-scale faulting in the Upper Cretaceous of the Groningen block (The Netherlands): 3D seismic interpretation, fault plane analysis and regional paleostress. *Journal of Structural Geology*, 32(4), 537-553.
- Van Ginkel, J., Ruigrok, E., Stafleu, J., & Herber, R. (2022). Development of a seismic site-response zonation map for the Netherlands. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 22(1), 41-63.
- Wallace, R.L., Cai, Z., Zhang, H., Zhang, K. and Guo, C., 2021. Utility-scale subsurface hydrogen storage: UK perspectives and technology. *International Journal of Hydrogen Energy*, 46(49), pp.25137-25159.

11. Overzicht van Bijlagen

- 1) CCC rapport
- 2) Review CCC rapport van Prof. Em. Dr. C.J. Spiers
- 3) DEEP.KBB 2024a memo over generieke methode bodemdalingsprognoses
- 4) DEEP.KBB 2024b memo bodemdalingsprognose specifieke details voor Heiligerlee
- 5) RHDHV 2024a: geotechnische effecten
- 6) RHDHV 2025b: geohydrologische effecten
- 7) RHDHV 2024c: effecten op riolering
- 8) Vreugdenhil Milieuexperts 2024– risicoinventarisatie
- 9) Cavern Stability and Integrity Management System van Nobian (CSIMS)
- 10) Chemical safety report AP/E Core 100
1. Chemical safety report B0 (Diesel)
2. Holruimtekaart status 2023 (A1 formaat)
3. Nobian 2024b - ND-20240619 Memorandum use of CCC models
- 11) Toelichting maximale diameter

Chemistry
you can count on

