

Winningsplan

Bij de winningsvergunning Twenthe-Rijn fase 2 en 3 –
Pekelwinning door berging van retourstromen 2026-2050.

Juli 2024 – Update januari 2025
Kenmerk: NH20240731a-versie2



Inhoudsopgave

1. Samenvatting	4
2. Inleiding	6
2.1. Historische zoutwinning in Twente	6
2.2. Berging van retourstromen	7
2.3. Scope van het winningsplan	8
2.4. Looptijd huidige winningsplannen en nieuw winningsplan	9
2.5. Wettelijk kader	10
2.6. Maatschappelijk belang zoutwinning	13
3. Geologie	17
3.1. Opbouw van de gesteentelagen	17
3.2. Verwachte hoeveelheid winbaar zout / pekel	18
3.2.1. Volumes	18
3.2.2. Samenstelling	18
4. Geomechanica	20
4.1. Geometrie zoutcavernes	20
4.2. Rheologie (gesteente mechanica)	20
4.3. Stabiliteit en integriteit van cavernes	20
4.3.1. Stabiel en potentieel instabiel	21
4.3.2. Inherent veilige cavernehoogte	21
4.3.3. Pijlerstabiliteit	23
5. Mijnbouwwerk	24
5.1. Beschrijving en ligging mijnbouwwerk	24
5.2. Aantal putten in het veld	24
5.2.1. Bestaande putten	24
5.2.2. Nieuw aan te leggen putten	24
5.3. Volgorde en tijdsbestek aanleg putten	26
5.4. Ligging en opbouw van de putten	26
6. Wijze van winning	26
6.1. Aanvang en duur van de winning	26
6.2. Wijze van winning en daarmee verband houdende activiteiten	28
6.3. Hoeveelheden jaarlijks te winnen delfstoffen	28
6.4. Hoeveelheden stoffen die jaarlijks bij winning worden geïnjecteerd	29
6.5. Wijze waarop de putten buiten gebruik gesteld worden	29
6.5.1. Isolatiestrategie en generieke wijze van abandonneren	29
6.5.2. Risico's en mitigerende maatregelen buiten gebruik gestelde caverne	30
6.5.3. Nazorg	30
6.6. Secundair gebruik	30
7. Bodembeweging	31
7.1. Verwachte bodemdaling	31
7.1.1. Methode om bodemdaling te voorspellen	32
7.1.2. Resultaten voorspellingen	35
7.1.3. Mogelijke effecten van bodemdaling	35
7.2. Maatregelen om bodembeweging te voorkomen of te beperken	35
7.3. Risicoanalyse bodemtrilling (schade door seismiciteit)	36
7.4. Mogelijke omvang en verwachte aard van schade door bodembeweging	36
7.5. Maatregelen om schade door bodembeweging te voorkomen of te beperken	37

8. Effecten voor de omgeving	38
8.1. Risico's voor omwonenden, gebouwen en infrastructuur, milieu en natuur	38
8.1.1. Berging retourstromen in cavernes	38
8.1.2. Tijdelijke werkzaamheden	38
8.2. Planmatig beheer van bodem en ondergrond	38
9. Referenties	39
10. Overzicht van bijlagen	39

1. Samenvatting

Sinds de jaren 1940 gebruikt de zoutfabriek van Nobian (destijds nog KNZ geheten) in Hengelo retourstromen uit de zoutfabriek voor passieve winning van pekels uit bestaande, uitgeproduceerde cavernes. Deze praktijk heeft meerdere voordelen te weten 1) het voorkomen van bodemdaling als gevolg van instorting van cavernes door het deels opvullen van deze cavernes met vaste stof, 2) het verwerken van zoute reststoffen uit de productie op een zo milieuvriendelijk mogelijke wijze en 3) het winnen van kwalitatief hoogwaardige pekels die anders in de caverne zou achterblijven.

Vanaf begin jaren 1990 zijn de restproducten gescheiden in drie aparte stromen: 1) kalkslurry, 2) boorgruis en 3) bromidepekels. De verwerking van deze stromen in speciaal daarvoor geselecteerde cavernes vindt momenteel plaats binnen de kaders van de WABO Revisievergunning voor de inrichting Nobian Industrial Chemicals locatie Hengelo en diverse locaties gerelateerd aan de inrichting (kenmerk PDGGO-DTDO / V-23189 d.d. 6 juli 2023) en de Winningsplannen 'Twenthe-Rijn Caverneseries' (laatst gewijzigd met kenmerk ET/EM / 9148711 van 28 augustus 2009) en 'Infillboringen in de winningsvergunning Twenthe-Rijn (boorterrein Hengelo)' (instemmingsbesluit met kenmerk E/EP/UM/5018912), dat ook tot en met 2025 loopt. Beide nu geldende winningsplannen lopen eind 2025 af.

Dit winningsplan beoogt de bestaande activiteit voort te zetten gedurende de looptijd 2026-2050. Deze termijn is zo gekozen dat de laatste nog beschikbare bromidepekelscavernes in dit deel van het Twenthe-Rijn caverneveld binnen de looptijd van dit winningsplan gevuld kunnen worden. In dezelfde termijn kunnen tien tot negentien cavernes voldoende met kalkslurry worden gevuld om geen onacceptabele bodemdaling meer te kunnen veroorzaken. Op dit moment zijn er op basis van de recentste inzichten dertien cavernes waarvoor vulling in elk geval nog nodig is en acht cavernes waarvoor het op lange termijn wenselijk zou kunnen zijn.

In de winningsvergunning Twenthe-Rijn bevinden zich een aantal cavernes die niet meer gebruikt worden voor uitloging van steenzout, maar die (nog) niet in aanmerking komen voor afsluiting om verschillende redenen. Sommige cavernes zijn geselecteerd voor de berging van bromidepekels anderen moeten ter voorkoming van onacceptabele bodemdaling opgevuld worden met vaste stof, waarvoor kalkslurry en boorgruis gebruikt worden. Bij deze processen zal de pekels die zich in de caverne bevindt gedeeltelijk vervangen worden door bromidepekels, boorgruis of de vaste opvulstof uit de retourstroom kalkslurry van het pekelszuiveringsproces. De bron van deze retourstromen is de ruwe pekels uit de cavernevelden Twenthe-Rijn en Haaksbergen en in het geval van boorgruis het uitgeboorde traject om putten te maken in zowel Twenthe-Rijn als Haaksbergen. Het gaat hiermee om bodemeigen stoffen die teruggebracht worden in de ondergrond. Door het inbrengen van deze stromen wordt reguliere pekels verdrongen die vervolgens wordt ingezet als grondstof voor de zoutfabriek in Hengelo. Om deze reguliere pekels uit deze cavernes te mogen halen, is een winningsplan nodig. De huidige winningsplannen voor deze cavernes lopen eind 2025 af en worden vervangen door dit vernieuwde winningsplan.

Het produceren van pekels uit de cavernes in de scope van dit winningsplan is uitsluitend een gevolg van het inbrengen van een retourstroom. Dit vindt plaats in bestaande cavernes. Er vindt geen actieve winning van steenzout door uitloging uit de cavernecontour plaats. Dit winningsplan heeft dan ook een ander karakter dan een winningsplan dat betrekking heeft op nieuw te ontwikkelen cavernes of het voortzetten van de uitloging uit bestaande cavernes. Daarom wordt er voor de productie van pekels uit deze cavernes gewerkt met twee documenten, dit winningsplan en caverne-specifieke vulplannen. Zaken die in algemene zin betrekking hebben op de cavernes voor retourstromen, zoals de geologie, gesteentemechanica, jaarlijkse volumestromen en effecten op de omgeving zijn omschreven in dit winningsplan. Zaken die betrekking hebben op individuele cavernes zijn opgenomen in het caverne-specifieke vulplan dat per caverne wordt opgesteld op het

moment dat de vulling daadwerkelijk aanstaande is en voorbereid wordt. Daarmee kan het vulplan op de meest actuele informatie over de status van de put(ten) en de caverne gebaseerd worden.

De berging van kalkslurry en in mindere mate boorgruis, heeft als belangrijke functie dat dit het risico op het ontstaan van een onacceptabele hoeveelheid bodemdaling wegneemt. Dit geldt voor cavernes die potentieel instabiel en niet inherent veilig zijn. Deze cavernes zijn ontwikkeld vanaf 1960 tot rond 2000. In die tijd werden de huidige richtlijnen voor het ontwerp en de ontwikkeling van stabiele en inherent veilige cavernes nog niet toegepast. Door vaste stof in deze cavernes te brengen, worden ze kleiner en daarmee zullen ze minder bodemdaling aan het maaiveld veroorzaken. Het ontstaan van sinkholes en troggen wordt door de opvulling geheel voorkomen.

De berging van bromidepekkel in zorgvuldig daarvoor geselecteerde cavernes is de meest milieuvriendelijke oplossing voor de afvoer van deze stroom die afkomstig is uit het indampingsproces voor de productie van zout.

Voor de berging van retourstromen is het belangrijk dat de integriteit van cavernes, putten en leidingen gewaarborgd is. Dit wordt gedaan met de managementsystemen Cavern Stability and Integrity Management System (CSIMS), Well Integrity Management System (WIMS) en Pipeline Integrity Management System (PIMS). Door cavernes, putten en leidingen te gebruiken binnen de kaders van deze systemen worden de risico's voor de omgeving beperkt en beheerst.

2. Inleiding

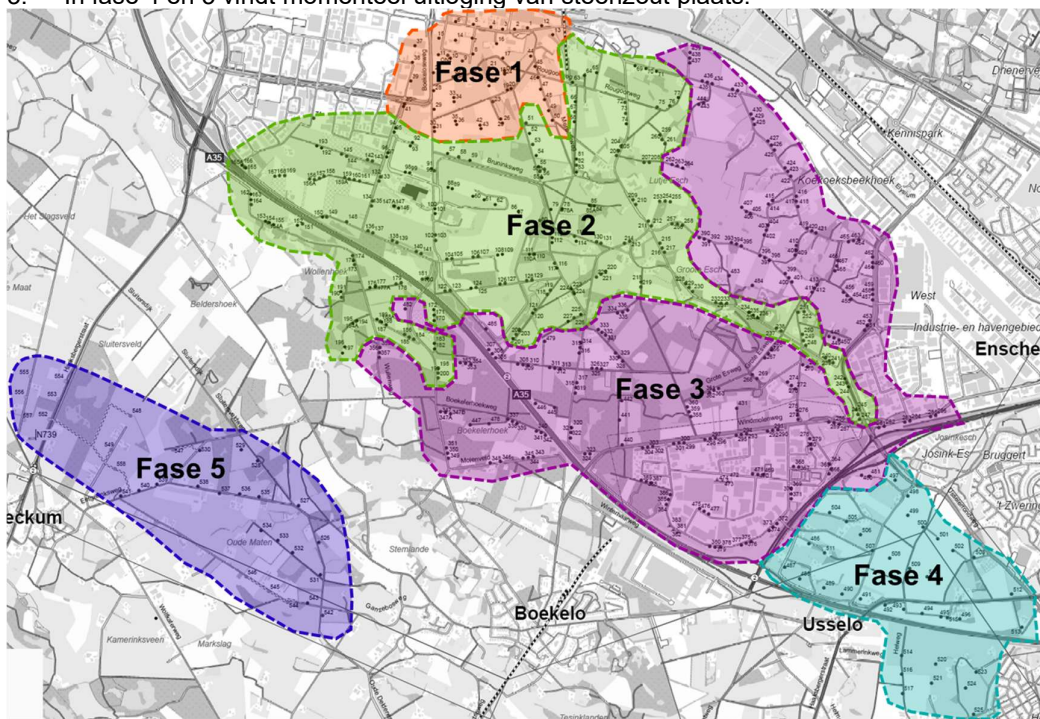
2.1. Historische zoutwinning in Twente

De zoutwinning in Twente is op kleine schaal gestart in 1918 in Boekelo. In de jaren 30 van de vorige eeuw werd een nieuwe zoutfabriek gebouwd in Hengelo met het oog op de aanleg van het Twentekanaal. Sinds 1936 wordt het zout in Hengelo gewonnen door middel van oplosmijnbouw. De pekelt wordt via putten gewonnen uit het gelaagde steenzoutvoorkomen dat zich op enkele honderden meters diepte in de ondergrond bevindt. Door het oplossen van steenzout ontstaat een holruimte, een zogenaamde caveerne. In 1936 is de zoutwinning gestart in de directe omgeving van de fabriek langs het Twentekanaal. In de loop van de jaren is de pekeltwinning uitgebreid en verplaatst naar gebieden die verder van de fabriek liggen. Het caverneveld bestrijkt inmiddels enkele tientallen vierkante kilometers.

De winning van pekelt in het caverneveld ten zuidoosten van Hengelo kent een geschiedenis van bijna 90 jaar. Gedurende deze periode hebben verschillende technieken zich verder ontwikkeld, zoals de boorteknik, uitloogteknik en meettekniken. Naast dat er technische ontwikkelingen van praktische aard zijn geweest, zijn er ook theoretische ontwikkelingen geweest op het gebied van gesteentemechanica die toegepast zijn op het caverneveld. Deze ontwikkelingen hebben ertoe geleid dat delen van het caverneveld hun eigen karakteristieken kennen, passend bij de toen geldende inzichten. Hierdoor laat de ontwikkeling van het gehele het caverneveld zich opdelen in vijf fases die zich onderscheiden in toegepaste kennis en teknik.

De indeling in fases is in Figuur 1 weergegeven op een kaart met de putten.

1. Fase 1 bevat geen cavernes die in aanmerking komen voor berging van retourstromen.
2. In fase 2 en 3 zitten nog toegankelijke cavernes die niet meer gebruikt worden voor de uitloog van steenzout, maar die nog open moeten blijven voor de berging van retourstromen. Dit winningsplan heeft betrekking op deze cavernes. In paragraaf 2.3 worden de betreffende cavernes benoemd.
3. In fase 4 en 5 vindt momenteel uitloog van steenzout plaats.



Figuur 1: Caverneveld in de winningsvergunningen Twenthe-Rijn - indeling in fases

2.2. Berging van retourstromen

De omgevingsaspecten van het bergen van de retourstromen in de cavernes zijn recent reeds beoordeeld in het kader van de revisievergunning voor de inrichting Nobian Industrial Chemicals locatie Hengelo en diverse locaties gerelateerd aan de inrichting (kenmerk PDGGO-DTDO / V-23189 d.d. 6 juli 2023). Hierin is ook de beoordeling in het kader van het Landelijke AfvalbeheerPlan 3 (LAP 3) uitgevoerd (zie pagina 8-9 van het besluit Omgevingsvergunning en de voorschriften onder 2.4 van dit besluit (kenmerk PDGGO-DTDO / V-23189 d.d. 6 juli 2023)). In dat kader is gebleken dat het bergen van de genoemde stromen in cavernes de meest milieuvriendelijke manier is van het verwerken van deze stromen. Dit is de conclusie uit de Life Cycle Analysis [1] van het zoutproductieproces die nader is toegelicht als onderdeel van de revisievergunning voor de inrichting Nobian Industrial Chemicals locatie Hengelo en diverse locaties gerelateerd aan de inrichting (kenmerk PDGGO-DTDO / V-23189 d.d. 6 juli 2023).

Dit winningsplan ziet op de mijnbouwkundige aspecten en het minimaliseren van mijnbouwkundige risico's met betrekking tot de verwerking van de retourstromen. Dit winningsplan betreft cavernes in fase 2 en 3 van het caverneveld Twenthe-Rijn waar in de toekomst nog op passieve wijze pekels uit gewonnen zal worden om één van de onderstaande redenen:

- De caverne moet (gedeeltelijk) gevuld worden met een vaste stof. Dit heeft als doel om het risico op het ontstaan van een onacceptabele hoeveelheid bodemdaling als gevolg van cavernemigratie¹ weg te nemen. Dit wordt al vele decennia gedaan door een stroom met vaste stof die afkomstig is uit het pekelszuiveringsproces in cavernes te voeren. Deze stroom wordt 'kalkslurry' genoemd.
Naast de restproducten uit het pekelszuiveringsproces wordt ook boorspoeling aan deze stroom toegevoegd die vrijkomt bij de boor-, reparatie- of afsluitoperaties aan putten. Een andere stroom die ingezet wordt voor het vullen van een caverne met vaste stof is boorgruis. Het invoeren van kalkslurry en boorgruis in cavernes wordt al vele decennia gedaan en wordt binnen dit winningsplan op dezelfde wijze voortgezet.
- De caverne zal gebruikt worden voor de berging van bromidepekels. Deze pekels heeft een verhoogd bromidegehalte en is afkomstig uit het indampproces van pekels in de zoutfabriek. Het bromide is oorspronkelijk afkomstig van de ruwe pekels uit het caverneveld en wordt met het bergen van de retourstroom teruggebracht in de zoutlaag waaruit het afkomstig is. Ook de berging van bromidepekels wordt al vele decennia gedaan en wordt binnen dit winningsplan op dezelfde wijze voortgezet.

De passieve winning van pekels wil zeggen dat er pekels gewonnen wordt doordat deze verdrongen wordt door een andere stof (de retourstroom) die in een bestaande caverne gebracht wordt. Hierbij vindt geen actieve uitloging plaats. Bestaande cavernes worden niet vergroot en er worden geen nieuwe cavernes ontwikkeld binnen het kader van dit winningsplan.

Door het inbrengen van bovengenoemde stromen wordt de in de caverne aanwezige pekels (gedeeltelijk) uit de caverne verdrongen en dus uit de caverne geproduceerd. Om dit te mogen doen, is dit winningsplan nodig. Het is in de praktijk niet mogelijk en niet nodig om de pekels in de caverne 100% te vervangen voor een retourstroom. Wanneer gesproken wordt van het 'opvullen van een caverne', wordt bedoeld dat de pekels in de caverne gedeeltelijk vervangen wordt door de stof uit de retourstroom. Tijdens en na afloop van het vulproces is de caverne altijd 100% gevuld, waarvan een deel bestaat uit pekels en een deel uit de retourstroom. Dit wordt geïllustreerd met de afbeeldingen in paragraaf. 5.2.2.

¹ Hoofdstuk 4 bevat de omschrijving van het proces cavernemigratie

2.3. Scope van het winningsplan

Zoals in de voorgaande paragraaf is toegelicht omvat dit winningsplan cavernes die in aanmerking komen voor vulling met:

- Kalkslurry
- Boorgruis
- Bromidepekel

Kalkslurry

Cavernes waarvoor het risico bestaat dat ze bij migratie een onacceptabele hoeveelheid bodemdaling kunnen veroorzaken, worden gevuld met kalkslurry. In hoofdstuk 4 wordt het proces van cavernemigratie en het effect van slurryvulling nader toegelicht. De beoordeling of een caveerne gevuld moet worden met slurry kan in de loop van de jaren veranderen op basis van nieuwe informatie, bijvoorbeeld verbeterde kennis van het migratieproces, nieuwe (sonar)metingen, seismische events of bovengrondse ontwikkelingen die de risicobeoordeling veranderen. De cavernes die in aanmerking komen voor vulling met kalkslurry zijn opgenomen in het 'Beleid monitoren en vullen cavernes Twente 2024' (BMVCT2024) [2]. Dit document wordt in de regel eens per vijf jaar tegen het licht gehouden en waar nodig geupdate. Het doel van het BMVCT is om binnen een termijn die past bij de menselijke maat het risico op de vorming van bodemdalingstroggen en sinkholes weg te nemen. De laatste update heeft recent (december 2024) plaatsgevonden. De nieuwe inzichten met betrekking tot het migreren van de cavernes en gedrag van de vulstof zijn hierin verwerkt. Tevens zijn deze inzichten in dit winningsplan verwerkt.

Op dit moment is de scope van dit winningsplan zodanig gekozen dat het de cavernes bevat die volgens het huidige migratiemodel zowel potentieel instabiel als niet inherent veilig zijn. Het gaat dus om de cavernes waar de kans op het ontstaan van een onacceptabele hoeveelheid bodemdaling en de gevolgen van deze bodemdaling het grootst zijn. Op basis van de nieuwste inzichten betreft dit dertien cavernes. Deze dertien cavernes kunnen in het conservatieve geval dat ze allemaal met 80% gevuld worden in ruim 30 jaar worden opgevuld. Een onderliggende aanname is dat de vrijkomende hoeveelheid kalkslurry minimaal 500.000 m³ per jaar bedraagt. Daarnaast zijn er cavernes opgenomen waarbij migratie zeer onwaarschijnlijk is, maar waar de bodemdaling naar verwachting eveneens onacceptabel groot zou zijn, mocht het optreden. Op basis van de nieuwste inzichten zijn dit acht cavernes. In het onverhoopte geval dat er toch signalen van migratie bij deze acht cavernes geconstateerd zouden worden, kan de vulling naar de betreffende caveerne worden geprioriteerd zonder het winningsplan te hoeven aanpassen. De cavernes staan in onderstaande lijst in volgorde van oplopend cavernenummer. Dit is niet de vulvolgorde. Buiten deze zullen geen andere cavernes met kalkslurry worden gevuld.

Cavernes voor berging van kalkslurry in Twenthe-Rijn						
57	81	130	151	194	209	234
60	90	138	156	201	215	239
80	110	140	187	204	225	347

Binnen de looptijd van dit winningsplan kunnen tien tot negentien cavernes afdoende met kalkslurry gevuld worden. Een planning op hoofdlijnen voor de eerste zes cavernes, plus een back-up caveerne, wordt in paragraaf 6.1 gegeven. Een voorbehoud is dat o.b.v. het BMVCT2024 een

caverne die begint te migreren voorrang krijgt bij opvulling indien de gevolgen van volledige migratie niet acceptabel zijn. Ook veranderingen in de productie van de fabriek, bovengrondse ontwikkelingen en contacten met belanghebben kunnen leiden tot veranderingen in de planning.

Boorgruis

Boorgruis komt vrij bij het boren van nieuwe putten, dit wordt geborgen in caverne 156 en 159 in lijn met de bepalingen uit de revisievergunning. Vanwege het beperkte volume van boorgruis zullen beide cavernes gedurende de gehele looptijd van dit winningsplan hiervoor gebruikt kunnen worden.

Bromidepekel

De cavernes in fase 2 en 3 van het caverneveld die in aanmerking komen voor de berging van bromidepekel zijn:

Cavernes voor berging van bromide pekel in Twenthe Rijn		
308	372	463
311	440	469
314	441	475
325	442	485
367	445	
369	446	

Buiten deze cavernes zullen binnen het fase 2 en 3 gedeelte van het Twenthe-Rijn caverneveld geen andere cavernes met bromidepekel worden gevuld.

In paragraaf 6.1 wordt een planning gegeven voor de vulling van de bovenstaande cavernes met bromidepekel. Afwijkingen van deze planning zijn mogelijk als gevolg van veranderingen in de productie van de fabriek, bovengrondse ontwikkelingen en contacten met belanghebben.

In bijlage 1 is een overzicht opgenomen van de cavernes, de bijbehorende putten en details zoals coördinaten.

2.4. Looptijd huidige winningsplannen en nieuw winningsplan

De passieve productie door verdringing van pekel uit vrijwel alle cavernes in de scope van dit winningsplan valt tot en met 2025 in het winningsplan 'Winningsplan Twenthe-Rijn 2008-2025 (boorterrein Hengelo)', ook genoemd Twenthe-Rijn Caverneseries 2008-2025 (laatst gewijzigd met kenmerk (ET/EM / 9148711 van 28 augustus 2009). De cavernes 440, 441, 442, 445, 446 en 485 vallen in het winningsplan 'Winningsplan infillboringen in de winningsvergunning Twenthe-Rijn (boorterrein Hengelo)' (instemmingsbesluit met kenmerk E/EP/UM/5018912), dat ook tot en met 2025 loopt.

De looptijd van dit winningsplan is zo gekozen dat de laatste nog beschikbare bromidepekercavernes in dit deel van het Twenthe-Rijn caverneveld binnen de looptijd van dit winningsplan gevuld kunnen worden. In dezelfde termijn kunnen, afhankelijk van het volume van de cavernes en de productie van de fabriek, de acht tot zestien cavernes met het grootste bodemdalingsrisico voldoende met kalkslurry worden gevuld om geen onacceptabele bodemdaling meer te kunnen veroorzaken.

2.5. Wettelijk kader

Om zout te mogen winnen heeft een mijnbouwonderneming een winningsvergunning nodig en een door onze minister ingestemd winningsplan. Dit is op basis van de Mijnbouwwet, Artikel 34. Hierin staat onder andere dat de winning moet plaatsvinden volgens dit plan. Volgens de Mijnbouwwet is de berging van retourstromen een activiteit die onder 'winning' wordt geschaard, niet onder 'opslag'. Onderstaande punten uit paragraaf 2.4.3 van de Nota van Toelichting bij de wijziging van de Mijnbouwwet op 27 januari 2021, sluiten hierbij aan omdat:

- Er bij de berging van retourstromen pekkel vrijkomt en dus gewonnen wordt;
- De cavernevorm nog verandert tijdens de berging van retourstromen die een vaste stof bevatten;
- Het noodzakelijk kan zijn om een vulstof in een caverne in te brengen om deze voor de toekomst veilig te kunnen afsluiten.

Daarnaast heeft de berging van retourstromen een permanent, en dus geen tijdelijk, karakter. Bovendien is uit de Life Cycle Analysis [1] van het zoutproductieproces in het kader van de Omgevingsvergunning gebleken dat de berging van retourstromen in cavernes de meest milieuvriendelijke manier is om de retourstromen te verwerken.

Verder staan in de Mijnbouwwet de aspecten omschreven die in het winningsplan opgenomen moeten worden. Deze aspecten zijn toegespitst op een winningsplan voor zoutwinning uit nieuw te creëren cavernes. In dit geval gaat het om reeds bestaande en daarvoor geselecteerde cavernes die gedeeltelijk gevuld worden met een andere stof dan de gebruikelijke pekkel die aanwezig is in de cavernes. Het doel is dus niet het produceren van zout door het ondergronds uitloggen van steenzout, maar het inbrengen van een retourstroom waardoor de aanwezige pekkel verdrongen wordt en waarbij op die manier zout geproduceerd wordt. Dit verschil zorgt ervoor dat een aantal zaken die volgens de wettelijke artikelen moeten worden opgenomen in een winningsplan niet, of nog niet exact omschreven kunnen worden. Dit betreft vooral de caverne- en putspecifieke details. In de volgende alinea volgt een voorbeeldsituatie hiervan. Dit voorbeeld laat zien dat het niet mogelijk is om bij het indienen van dit winningsplan alle details vast te leggen die normaal gevraagd worden voor een winningsplan waarbij het doel is om nieuwe cavernes te creëren. Aspecten die betrekking hebben op de caverneveldschaal, zoals geologie, gesteentemechanica en bodemdaling worden wel behandeld in dit winningsplan. Net als de algemene principes die gehanteerd worden bij bergen van retourstromen in cavernes.

Een voorbeeldsituatie is het vullen van een caverne met kalkslurry die volgens de huidige risicoclassificatie pas op de lange termijn aan de beurt komt voor opvulling. Deze caverne wordt volgens het BMVCT2024 gemonitord middels microseismische monitoring en door ten minste elke 5 jaar een sonarmeting uit te voeren. Voor deze monitoringsfase is het voldoende dat de caverne via één put toegankelijk is. Uit de monitoring kan in de loop van de jaren blijken dat de caverne toch met prioriteit gevuld moet worden.

Om de caverne in te richten voor vulling kan het nodig zijn om wijzigingen aan bestaande putten te doen of een nieuwe put te boren. Om dit te kunnen bepalen moet er altijd met de meest actuele informatie gewerkt worden. Het kan bijvoorbeeld voorkomen dat op een nieuwe sonarmeting te zien is dat de cavernevorm door migratie wezenlijk veranderd is, waardoor een bestaande put niet de geschikte locatie heeft om een caverne effectief te vullen. Het is daarom niet mogelijk en ook niet wenselijk om op het moment van indienen van dit winningsplan voor elke caverne alle details op voorhand vast te leggen met betrekking tot (het aantal) putten, eventueel nieuw aan te leggen putten, de putconfiguratie en cavernespecifieke informatie. Daarom is ervoor gekozen om de caverne- en putspecifieke informatie op te nemen in een cavernespecifiek vulplan. Deze werkwijze

is vergelijkbaar met het verband tussen een regulier winningsplan (algemeen en op veldniveau) en een werkprogramma voor het aanleggen van een put (putspecifiek) en het verband tussen verwijderingsplannen (algemeen en op veldniveau) en het werkprogramma voor het afsluiten van een put (putspecifiek). Naast dit winningsplan en de cavernespecifieke vulplannen wordt er in het jaarlijks te actualiseren (jaar)werkplan opgenomen wat de laatste stand van zaken is met betrekking tot de berging van retourstromen, dit is ook opgenomen in de vigerende milieuvergunning.

In onderstaand overzicht van wettelijke artikelen is aangegeven of het betreffende aspect in een cavernespecifiek plan of in dit algemene winningsplan behandeld wordt en op welke plek.

Wetsartikel	Tekst	Behandeld in...
Mijnbouwwet Artikel 35	1 Het winningsplan bevat voor elk voorkomen binnen het vergunningsgebied ten minste een beschrijving van:	
	a.de verwachte hoeveelheid aanwezige delfstoffen en de ligging ervan;	Op veldniveau: Dit winningsplan paragraaf 2.3 (cavernes) en 3.2 en 6.3 (hoeveelheden). Per individuele caveerne: Cavernespecifiek vulplan De hoeveelheid vrijkomende pekkel is sterk afhankelijk van het caveernevolume en de te behalen vulgraad.
	b.de duur van de winning;	Op veldniveau: Paragraaf 6.1 Per individuele caveerne: Cavernespecifiek vulplan De duur van het vullen is sterk afhankelijk van het caveernevolume en de te behalen vulgraad en kan veranderen op basis van nieuwe sonarmetingen.
	c.de wijze van winning alsmede de daarmee verband houdende activiteiten;	Dit winningsplan hoofdstuk 6.2
	d.een schatting van de verwachte hoeveelheid per jaar te winnen delfstoffen;	Op veldniveau: Dit winningsplan hoofdstuk 6.3 Per individuele caveerne: Cavernespecifiek vulplan De hoeveelheid vrijkomende pekkel is sterk afhankelijk van het caveernevolume en de te behalen vulgraad.
	e.de kosten op jaarbasis van het winnen van de delfstoffen;	De jaarlijkse kosten van het bergen van retourstromen zijn opgenomen in hoofdstuk 9 van dit winningsplan. Investerings per caveerne worden opgenomen in een cavernespecifiek vulplan. De kosten worden in grote mate bepaald door caveerne-specifieke factoren. Zoals de noodzaak om een extra put aan te leggen en de benodigde aanpassingen in de putconfiguratie gedurende het vulproces.
	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;	Dit winningsplan hoofdstuk 7
Mijnbouwbesluit Artikel 25 lid 1	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;	Dit winningsplan hoofdstukken 3.1 en 4.2
	b. een opgaaf van de verwachte hoeveelheid te winnen pek en zout en de samenstelling van het te winnen zout;	Op veldniveau: Dit winningsplan hoofdstuk 3.2 Per individuele cave:ne: Cavernespecifiek vulplan.
	c. een beschrijving van de ligging en de vorm van de holruimte tijdens en na de winning;	Cavernespecifiek vulplan De meest actuele informatie over de ligging en omvang van de cavernes op het moment van indienen van dit winningsplan is opgenomen in de holruimtekaart (Bijlage 2 bij dit winningsplan)
	d. een opgaaf van de gesteentemechanische berekeningen van de stabiliteit van de holruimte tijdens en na de winning;	Dit winningsplan hoofdstukken 4.2 en 4.3
	e. een opgaaf van de hoeveelheden stoffen die jaarlijks bij de winning worden geïnjecteerd, en	Dit winningsplan hoofdstuk 6.4 en de hoeveelheid per cave:ne in een cavernespecifiek vulplan
	f. een beschrijving van de wijze waarop de holruimte na beëindiging van de winning buiten gebruik wordt gesteld.	Dit winningsplan hoofdstuk 6.5
Mijnbouwbesluit Artikel 25 lid 2	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 lid 1	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;	
	d. een beschrijving van het mijnbouwwerk en de ligging ervan;	Dit winningsplan hoofdstuk 5.1
	e. een opgaaf van het aantal boorgaten dat bij de winning wordt gebruikt;	Op veldniveau: Dit winningsplan hoofdstuk 5.2 en bijlage 1 bevat een overzicht van de huidige toegankelijke boorgaten. Per individuele cave:ne: In een cavernespecifiek vulplan wordt aangegeven of er extra boorgaten nodig zijn voor het vulproces. De eventuele aanleg en gebruik van extra boorgaten zal via een omgevingsvergunning worden aangevraagd.
	f. een opgaaf van de volgorde en het tijdsbestek van het maken van de boorgaten;	Cavernespecifiek vulplan
	g. een opgaaf van de ligging, lengte en diameter van de verbuizing van de boorgaten;	Cavernespecifiek vulplan
	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;	Op veldniveau: Dit winningsplan hoofdstuk 9 Per individuele cave:ne: Cavernespecifiek vulplan De kosten worden in grote mate bepaald door cave:ne-specifieke factoren. Zoals de noodzaak om een extra put aan te leggen en de benodigde aanpassingen in de putconfiguratie gedurende het vulproces
	m. een kaart met daarop de contouren van de verwachte uiteindelijke mate van bodemdaling;	Dit winningsplan hoofdstuk 7.1.2.
	n. een overzicht met het verloop van de verwachte mate van bodemdaling in de tijd;	Dit winningsplan hoofdstuk 7.1.2.

	o. een opgave van de onzekerheid omtrent de verwachte mate van bodemdaling als bedoeld in de onderdelen m en n;	Dit winningsplan hoofdstuk 7.1.1.
	p. een risico-analyse omtrent bodemtrillingen als gevolg van de winning;	Dit winningsplan hoofdstuk 7.3
	q. een beschrijving van de mogelijke omvang en verwachte aard van de schade door bodembeweging;	Dit winningsplan hoofdstuk 7.4
	r. een beschrijving van de maatregelen die worden genomen om bodembeweging te voorkomen of te beperken, en	Dit winningsplan hoofdstuk 7.2
	s. een beschrijving van de maatregelen die worden genomen om schade door bodembeweging te voorkomen of te beperken.	Dit winningsplan hoofdstuk 7.5
Mijnbouwbesluit Artikel 24 lid 2	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.	
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:	
	a.vaste stoffen: in m ³ of tonnen;	
	b.vloeibare stoffen, anders dan pek: in tonnen en in m ³ bij een absolute druk van 101,325 kPa en een temperatuur van 15 graden Celsius;	
	c.gasvormige stoffen: in 1000 m ³ bij een absolute druk van 101,325 kPa en een temperatuur van 0 graden Celsius;	
	d.pek: in m ³	

Bij dit winningsplan zijn voorbeelden van cavernespecifieke vulplannen gevoegd als bijlage.

Bijlage 5: [Voorbeeld] Vulplan caverne 130 voor de berging van kalkslurry

Bijlage 6: [Voorbeeld] Vulplan caverne 308 voor de berging van bromidepek

Bijlage 7: [Voorbeeld] Vulplan caverne 156 voor de berging van boorgruis en kalkslurry

2.6. 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.

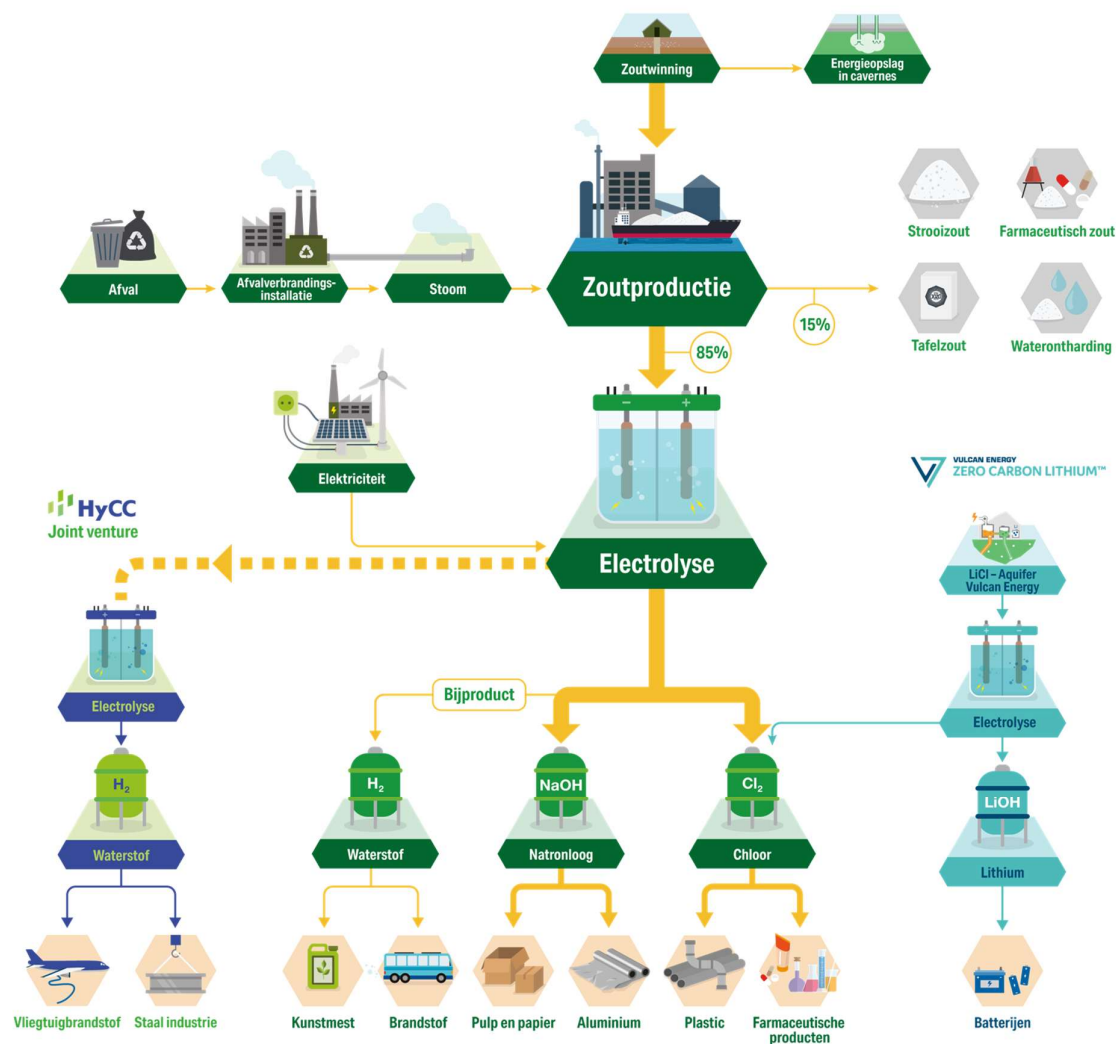
Een deel van het zout vindt als natriumcarbonaat (soda) zijn weg naar onder meer de productie van glas, verf, textiel en zeep, het ontzwellen van ijzer en, opgelost in warm water, ontsmettingsmiddelen. Een ander deel wordt verwerkt tot natriumchloraat, een oxidator en herbicide. De bulk van het zout (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 2). 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, het 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 tuinpotten, 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 voorlooppduct 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 chlooralkaliproductie 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 in gebruik 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 2: 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 beleeft bijna een derde van de chlooralkaliconsumptie in West-Europa. Negen van de top 25 chloor-alkaliclusters 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.

Vanwege de grote verscheidenheid aan 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 gesteentelagen

De cavernes in de winningsvergunning Twenthe-Rijn bevinden zich in de Rötformatie die deel is van het Midden-Trias (zie Figuur 3). Het onderste deel van de Rötformatie is de Hoofd Röt Evaporiet (indampingsgesteente) met aanduiding RNRO1. Dit bestaat uit vier zoutlagen, door Nobian Zout A tot en met D genoemd, waarvan zout A de onderste en de dikste laag (25-35 meter) is. De zoutlagen worden van elkaar gescheiden door lagen kleisteen, anhydriet-houdende kleisteen of anhydriet (droog gipsgesteente). De onderkant van de zoutlaag bevindt zich globaal tussen 350 en 500 meter onder het maaiveld en de bovenkant tussen 300 en 425 meter.

Twenthe-Rijn Lithostratigraphic Column	
Geology Group & Formation	
Geohydrological base	
North Sea Supergroup (NL)	N2
	N1b
	N1a
Rijnland Group (KN)	Vlieland Claystone (KNNC)
	Vlieland Sandstone (KNNS)
Niedersachsen Group (SK)	
Altena Group (AT)	Sleen Formation (ATRT)
Upper Germanic Trias Group (RN)	Muschelkalk (RNMU)
	Upper Röt Claystone (RNROU)
	Upper Röt Evaporite (RNRO2)
	Intermediate Rot Claystone (RNROM)
	Röt Main Evaporite (Anhydrite) (RNRO1E)
	Röt Main Evaporite (salt) (RNRO1)
	Solling (RNSO)

Figuur 3: Lithostratigrafische kolom Twenthe-Rijn

In de winningsvergunning Twenthe-Rijn komt een zone met enkele stijl staande breuken in de ondergrond voor, de Boekelo-breukzone. Deze zone bevindt zich aan de zuidwestzijde van het gebied waar de cavernes van fase 2 en 3 zich bevinden. De zoutlaag heeft een beperkte helling van ca. 5 graden richting het zuidwesten.

Omdat dit winningsplan betrekking heeft op pekelpductie uit bestaande cavernes is er al zeer veel informatie over de geologie vanuit de putten die geboord zijn voor het uitloggen van de cavernes. Alle informatie uit deze putten (logs en cuttings) en beschikbaar seismisch onderzoek is door GeoWulf Laboratoires verwerkt in een geologisch model van de ondergrond. Dit model bevat een uitgebreide omschrijving van de samenstelling van grond- en gesteentelagen [3] en kaarten met de diepteligging, dikte en structuur van de lagen in het gebied [4].

3.2. Verwachte hoeveelheid winbaar zout / pekelp

3.2.1. Volumes

Er is al vele tientallen jaren praktijkervaring met het bergen van retourstromen. De retourstromen die in cavernes gebracht worden zijn praktisch verzadigd in NaCl. De gemiddelde concentratie NaCl is 306 g/l. Dat betekent dat er praktisch geen zoutgesteente meer kan oplossen in deze vloeistof. De cavernes worden dus ook niet (meetbaar) groter door het inbrengen van de retourstromen. De te produceren pekelp is pekelp die verdrongen wordt door de ingaande stroom en het volume is dus gelijk aan het volume van de ingaande stroom. Bij een jaarlijkse zoutproductie van 2,5 miljoen ton bedraagt de hoeveelheid kalkslurry ca. 625.000 m³/jaar en de hoeveelheid bromidepekelp is zo'n 125.000 m³/jaar. Hierbij wordt opgemerkt dat het jaarlijkse volume van deze stromen afhankelijk is van de hoeveelheid zout die geproduceerd wordt en de kwaliteit van de ruwe pekelp. Bovendien is de maximaal vergunde zoutproductie van de fabriek 3,5 miljoen ton. Daarbij loopt de hoeveelheid kalkslurry op naar maximaal 900.000 m³/jaar en de hoeveelheid bromidepekelp naar maximaal 220.000 m³/jaar. De hoeveelheid boorgruis is per nieuwe put in Twenthe-Rijn (ten behoeve van kalkslurryberging) circa 50 m³ en per nieuwe put in Haaksbergen circa 500 m³. Het langjarig gemiddelde voor de boorgruisberging is maximaal 700 m³ per jaar. Het maken van nieuwe boringen gebeurt op projectbasis, waardoor het volume boorgruis per individueel jaar kan variëren tussen 0 m³ en 4.000 m³. De vulsnelheid per uur wordt in paragraaf 6.3 behandeld. Het volume reststroom dat per caverne geborgen zal worden, wordt in het cavernespecifieke vulplan opgenomen. In het vulplan wordt ook aangegeven wat de hoeveelheid gewonnen zout uit die caverne zal zijn.

3.2.2. Samenstelling

De mineralogische samenstelling van het zout varieert tussen de 90 en 99,5% haliet. Alle zoutlagen bevatten, in verschillende hoeveelheden, bijmengingen van de mineralen anhydriet, polyhaliet, glauberiet en illiet (klei). De gemiddelde samenstelling van de ruwe pekelp die zich in de te vullen cavernes bevindt, is in Tabel 1 opgenomen.

NaCl	g/l	311,6
Bromide	mg/l	20
Kalium	mg/l	43
Calcium	mg/l	1.440
Magnesium	mg/l	46
Sulfaat	mg/l	3.586

Tabel 1 – gemiddelde samenstelling ruwe pekelp

De pekkel die binnen dit winningsplan geproduceerd wordt, kan een iets afwijkende samenstelling hebben omdat deze in zekere mate beïnvloed kan worden door de ingaande retourstroom. Dit heeft geen meetbaar effect op de hoeveelheid gewonnen pekkel. De verwerking van de pekkel vergt in sommige gevallen extra stappen. Dit is opgenomen in de nu volgende omschrijving.

Bij de berging van kalkslurry is de pekelsamenstelling bij de start van het vullen van een caverne gelijk aan de samenstelling van reguliere pekkel. Het gaat hier om reguliere pekkel die zich na afloop van het uitloogproces in de caverne bevindt. De ingaande kalkslurry bevat naast vaste stof en natriumchloride andere componenten in oplossing die afkomstig zijn uit het pekkelzuiveringsproces. De vaste bestanddelen dalen neer op de bodem van de caverne, de opgeloste bestanddelen mengen zich met de opgeloste bestanddelen in de reguliere pekkel. Na verloop van tijd is dit zichtbaar in de samenstelling van de zogenaamde 'retourpekkel' die uit de caverne komt. De samenstelling hiervan wordt wekelijks gemonitord op de concentratie van de belangrijkste componenten. De retourpekkel wordt gedurende het vulproces rijker in bijvoorbeeld bromide en sulfaat, terwijl het calciumgehalte juist afneemt. De retourpekkel wordt gedoseerd toegevoegd aan de reguliere stroom van ruwe pekkel en gaat vervolgens het pekkelzuiveringsproces in. De typische samenstelling van retourpekkel is opgenomen in Tabel 2.

NaCl	g/l	300
Bromide	mg/l	80
Kalium	mg/l	234 (6meq/l)
Calcium	mg/l	1080 (27meq/l)
Magnesium	mg/l	1.2 (0.1 meq/l)
Sulfaat	mg/l	15850 (330meq/l)

Tabel 2: Typische samenstelling retourpekkel

Bij de berging van boorgruis komt een zeer beperkte hoeveelheid pekkel vrij ten opzichte van het cavernevolumen. De samenstelling van deze pekkel is niet significant anders dan van de reguliere ruwe pekkel.

De samenstelling van de pekkel die vrijkomt bij de berging van bromidepekkel is gedurende de vulling van een caverne voor een groot deel van de tijd niet anders dan de samenstelling van reguliere ruwe pekkel. De pekkel uit deze cavernes komt met de reguliere stroom van ruwe pekkel binnen in de pekkelzuivering. De hoeveelheid bromide in de geproduceerde pekkel wordt wekelijks gemeten. Wanneer het vulproces bij een caverne bijna ten einde is, stijgt de bromideconcentratie in de pekkel.

In een aantal cavernes die met kalkslurry gevuld moeten worden, is in het verleden bromidepekkel geborgen. Deze bromidepekkel zal verdrongen worden door de ingaande kalkslurrystroom en opnieuw geborgen worden in een caverne die voor berging van bromidepekkel is aangemerkt.

4. Geomechanica

4.1. Geometrie zoutcavernes

Dit winningsplan heeft betrekking op reeds bestaande cavernes. De geometrie van deze cavernes is dus bekend en is bepaald door het uitloogproces dat in de meeste gevallen vele tientallen jaren geleden heeft plaatsgevonden en is beëindigd. Het betreft cavernes uit verschillende fasen van ontwikkeling van het caverneveld. Het aantal putten per caveerne is een factor die sterk bepalend is voor de afmetingen die een caveerne bereikt heeft in horizontale zin (lengte en breedte). Andere factoren zijn de geologie en de verschillende fasen in het uitloogproces en de sturing daarop. Wat betreft de hoogte van de caveerne is de diepte, de dikte en de opbouw van de zoutlaag, oftewel de geologie de belangrijkste bepalende factor. In de cavernespecifieke vulplannen zal de cavernegeometrie opgenomen worden. Voor een algemeen beeld van de afmetingen van de cavernes wordt verwezen naar de holruimtekaart in bijlage 2.

Bij het vullen van een caveerne met bromidepekkel verandert de geometrie van de caveerne niet. Er wordt namelijk een vloeistof (pekkel met de gebruikelijke samenstelling) vervangen door een andere vloeistof (bromidepekkel). Bij het vullen van een caveerne met kalkslurry of boorgruis bezinkt de vaste stof en deze blijft achter in de caveerne. Hierdoor neemt het cavernevolumen af. De geometrie van de caveerne na afloop van het vulproces is afhankelijk van de vorm van de caveerne voorafgaand aan het vulproces, de positie van de put(ten) waar het vulmateriaal ingevoerd wordt, de beoogde vulgraad en het verloop van het vulproces.

4.2. Rheologie (gesteente mechanica)

Voor het veldontwerp van cavernes in fase 4 en verder is gesteentemechanisch onderzoek uitgevoerd op kernen uit de zoutlaag en bovenliggende gesteentelagen. Deze onderzoeken zijn gerapporteerd in [5] en [6]. Op basis van de sterkte en het vervormingsgedrag van deze materialen is bepaald wat de maximale afmetingen van cavernes mogen zijn en wat de bijbehorende tussenafstanden tussen cavernes moeten zijn in [7] en [8]. Op het moment dat deze berekeningen werden uitgevoerd, waren de cavernes in fase 2 en 3 al (ver)gevorderd in het uitloogproces of al volledig uitgeloozd. Daarom was het voor deze cavernes alleen mogelijk om de vastgestelde veilige afmetingen en tussenafstanden (die in de volgende paragraaf toegelicht worden) met terugwerkende kracht toe te passen.

4.3. Stabiliteit en integriteit van cavernes

In het Cavern Stability and Integrity Management System (CSIMS) [9] is opgenomen hoe de stabiliteit en integriteit van cavernes geborgd wordt en welke risico's er zijn met betrekking tot de stabiliteit en integriteit van cavernes. Hoewel de cavernes in fase 2 en 3 al uitgeloozd waren voordat het CSIMS opgesteld werd, worden deze cavernes wel bedreven en gemonitord in lijn met het CSIMS.

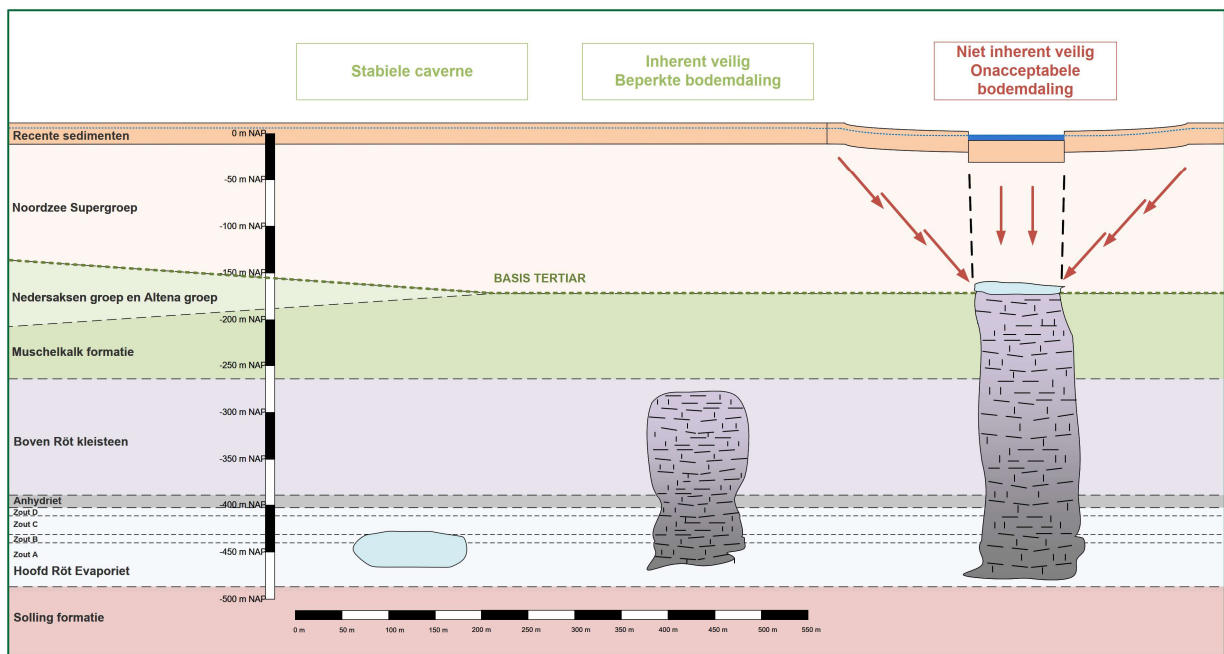
In de volgende sub-paragrafen wordt toegelicht wat verstaan wordt onder 'stabiele' danwel 'potentieel instabiele' cavernes en de 'inherente veiligheid' van een caveerne. De omschrijving van deze begrippen staat omschreven in het BMVCT2024 en dit document wordt in de regel eens per vijf jaar geactualiseerd op basis van nieuwe informatie. Dit is recent (december 2024) gebeurd. Cavernes die 'niet inherent veilig' zijn, komen in aanmerking voor vulling met kalkslurry en boorgruis. Berging van bromidepekkel zal alleen plaatsvinden in cavernes die 'stabiel' en 'inherent veilig' zijn.

4.3.1. Stabiel en potentieel instabiel

De stabiliteit van het cavernedak wordt bepaald door de spanning in het dak en de sterkte van het aanwezige gesteente. Als de spanningstoestand in het dak onder de bezwijkgrens blijft, dan blijft het cavernedak stabiel. Op basis van berekeningen van Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR, de Duitse equivalent van TNO – Rijks Geologische Dienst) [7] hanteert Nobian het criterium dat het dak tenminste moet bestaan uit 5 meter zout C. Daarnaast moet de laag anhydriet en (indien aanwezig) zout D samen tenminste 10 meter dik zijn. Een caveerne wordt dan als 'stabiel' geclassificeerd. Dit geldt voor cavernes met een maximale hoogte van 40 meter en een overspanning van 120 meter (korte as). Wanneer niet aan dit criterium voldaan wordt, is een caveerne 'potentieel instabiel'. Dat wil zeggen dat het cavernedak op termijn kan bezwijken. Het criterium is sinds de start van fase 4 als onderdeel van de Good Salt Mining Practice (GSMP) toegepast op nieuw te vormen cavernes. Daarnaast is het criterium met terugwerkende kracht toegepast op cavernes die destijds al bestonden. Een aantal daarvan bleek niet aan het stabiliteitscriterium te voldoen en is daarom geclassificeerd als potentieel instabiel.

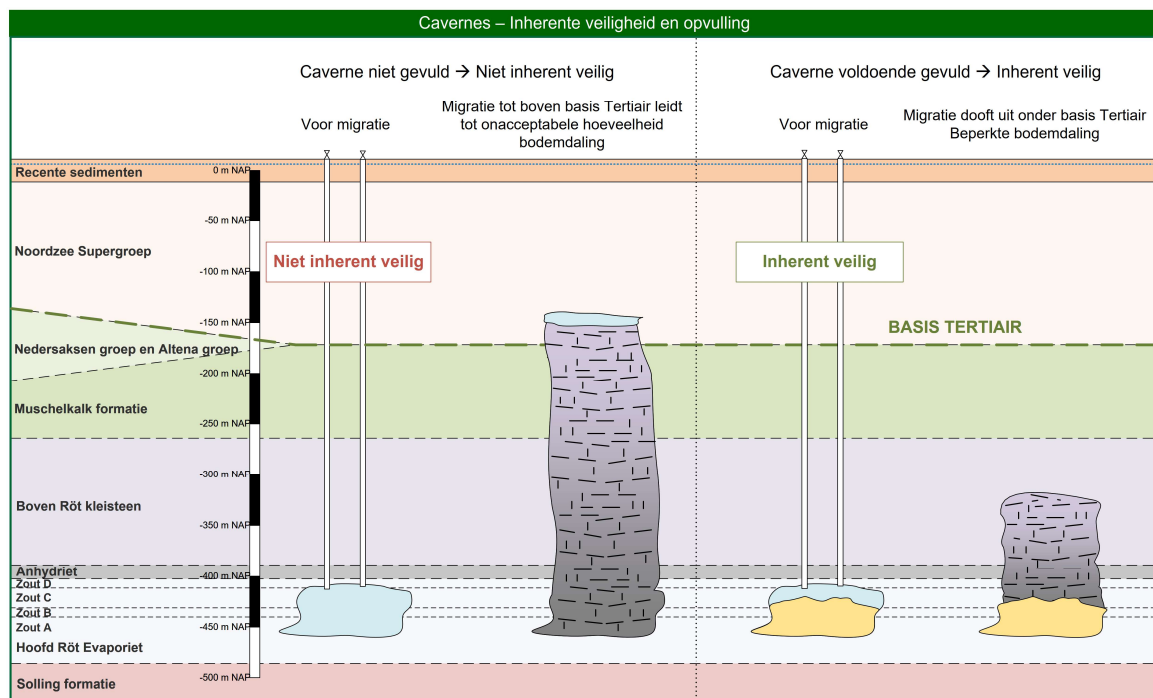
4.3.2. Inherent veilige caveernehoopte

Als onderdeel van de GSMP is ook het concept 'inherente veiligheid' geïmplementeerd. Hiermee zijn de afmetingen van een caveerne dusdanig beperkt dat indien er zich een instabiliteit van het cavernedak voordoet, dit niet kan leiden tot een onacceptabele mate van bodemdaling (trog of sinkhole) aan het maaiveld. Bij instabiliteit van het cavernedak, vallen er laagsgewijs stukken gesteente uit het dak op de bodem van de caveerne. De caveerne verplaatst zich tijdens dit proces, dat migratie genoemd wordt, naar boven. Tijdens dit proces wordt de caveerne geleidelijk gevuld met gebroken gesteente. Omdat gebroken gesteente (puin) meer ruimte inneemt dan intact gesteente (bulking effect), neemt het resterende vrije volume van de caveerne tijdens het migratieproces af. Op welke diepte het migratieproces stopt is afhankelijk van de vorm en het volume van de caveerne voor het begin van het migratieproces. Daarnaast is het belangrijk op welke diepte in de ondergrond de overgang zit van gesteente naar grond (basis van het Tertiair). Wanneer de migratie van een caveerne op een voldoende veilige diepte onder de basis van het Tertiair uitdooft, dan zal er geleidelijk een acceptabele mate van bodemdaling ontstaan. De caveerne is dan inherent veilig, men zegt ook wel dat de caveerne op natuurlijke wijze is gestabiliseerd. Wanneer de caveerne echter dusdanig groot is dat deze verder of zelfs boven de basis Tertiair kan migreren, dan is de caveerne niet inherent veilig en kan migratie leiden tot vorming van een trog of sinkhole (onacceptabele bodemdaling). In figuur Figuur 4 is schematisch weergegeven hoe het einde van het migratieproces er uit kan zien voor cavernes die wel of niet inherent veilig zijn.



Figuur 4: Schets van een stabiele caveerne waar geen migratie plaatsvindt (links), het migratieproces van een inherent veilige caveerne waarbij migratie op diepte uitdooft (midden) en het migratieproces van een niet-inherent veilige caveerne dat leidt tot onacceptabele bodemdaling (rechts)

Om te voorkomen dat een niet inherent veilige caveerne voor onacceptabele bodemdaling zorgt, moet de caveerne kleiner gemaakt worden. Dit wordt gedaan door een vaste stof in de caveerne te brengen. Wanneer de caveerne voldoende kleiner is, is de caveerne inherent veilig. Dit principe is geschetst in Figuur 5.



Figuur 5: Schets van voor en na het migratieproces van een niet inherent veilige caveerne (links) en een caveerne die dankzij vulling inherent veilig is (rechts).

4.3.3. Pijlerstabiliteit

Voor de zoutpijlers tussen cavernes geldt dat ze tot 30% van hun sterkte belast mogen worden. Aan de hand van dit percentage is door BGR een verhouding tussen cavernediameter en minimale breedte van de zoutpijler vastgesteld. In de betreffende modellen zijn de cavernes in rijen geordend. Tussen twee rijen moet een zoutpijler van ten minste 68 meter breed blijven. Tussen twee cavernes in dezelfde rij moet een zoutpijler van tenminste 20 meter breed zitten. Ook hierbij geldt dat de hoogte van de caverne maximaal 40 meter mag zijn.

Ook hiervoor geldt dat op het moment van uitloging van de cavernes in fase 2 en 3, de bovengenoemde criteria er nog niet waren. Ze zijn pas later geïntroduceerd en met terugwerkende kracht toegepast op de cavernes die al volop in ontwikkeling waren of waarvan de pekelpductie al beëindigd was. Zoals in paragraaf 4.2 is toegelicht, zijn er dus cavernes in deze fase die potentieel instabiel zijn en/of niet inherent veilig. De putten en bijbehorende cavernes in fase 2 en 3 zijn ten tijde van het veldontwerp zoveel mogelijk langs de bestaande wegen aangelegd om eenvoudig toegang te hebben tot de locaties en de landschappelijke impact te beperken. In sommige gevallen zijn er clusters ontstaan waarin lengteassen van de cavernes verschillende oriëntaties ten opzichte van elkaar hebben en er dus geen sprake is van cavernes in een rij. Toen de rijconfiguratie geïntroduceerd werd, heeft RESPEC in 2004 [10] en 2006 [11] aan de hand van de verhouding tussen pijlerbreedte en pijlerhoogte bepaald tot welke hoogte de cavernes in een cluster rondom een pijler uitgelooagd mochten worden. Voor de cavernes die in een cluster vallen geldt dus een maximale hoogte die kleiner is dan de algemene regel van 40 meter. Bij de berekeningen van RESPEC lag de focus op de mate waarin pijlers vervormen onder de verhoogde belasting waarbij de kruipdeformatie en dus de bodemdaling sneller gaat. Het instorten van een pijler is hierbij dus niet aan de orde, wel het optreden van meer vervorming dan bij caverneconfiguraties die aan de BGR-criteria voldoen. In de afgelopen jaren is een dergelijke clusteranalyse opnieuw gedaan door GeoDetect op basis van meer recente sonarmetingen van de cavernes [12].

Het bergen van vaste stof of bromidepekkel in een caverne wordt niet gedaan om de pijlerstabiliteit te verbeteren, want het heeft geen bewezen positief effect op de pijlerstabiliteit. Het vullen van een caverne met een vaste stof of bromidepekkel zal geen ongunstig effect hebben op de stabiliteit van de pijlers.

5. Mijnbouwwerk

5.1. Beschrijving en ligging mijnbouwwerk

De cavernes in dit winningsplan behoren bij het mijnbouwwerk Twenthe-Rijn voor de winning van steenzout uit het gelaagde Röt zoutvoorkomen. Het mijnbouwwerk bevindt zich ten zuidwesten van Hengelo, in het gebied tussen de steden Hengelo en Enschede. Het grootste deel van de cavernes bevindt zich in het gebied dat Tweekelo wordt genoemd. Op de kaart in Figuur 1 is de verdeling van het mijnbouwwerk in fasen aangegeven. De cavernes waarop dit winningsplan betrekking heeft, liggen in fase 2 en 3.

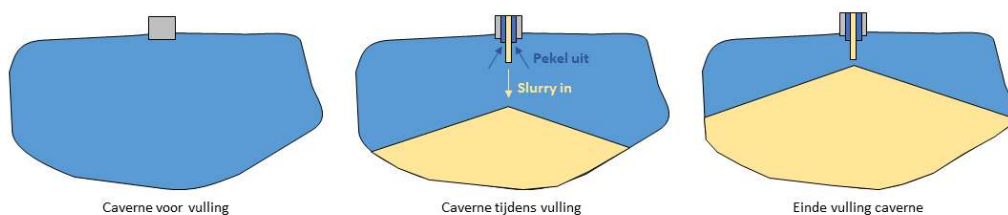
5.2. Aantal putten in het veld

5.2.1. Bestaande putten

Voor de cavernes die beoogd zijn voor de berging van bromidepekels, kalkslurry en boorgruis zijn de details van de bestaande (toegankelijke) putten weergegeven in bijlage 1.

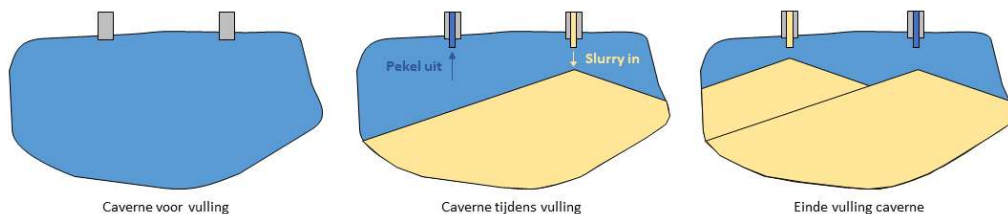
5.2.2. Nieuw aan te leggen putten

Voor het behalen van de beoogde vulgraad met kalkslurry kan te zijner tijd blijken dat het nodig is een extra put aan te leggen. De noodzaak wordt bepaald door de positie van de bestaande put(ten) ten opzichte van het te vullen cavernevolume en of de bestaande put(ten) voldoende mogelijkheid bieden om productiebuizen in te bouwen voor het vulproces. Dit zal per caverne opgenomen worden in het caverne-specifieke vulplan. Hieronder zijn een aantal situaties geschetst die zich kunnen voordoen om de te maken afwegingen te illustreren.



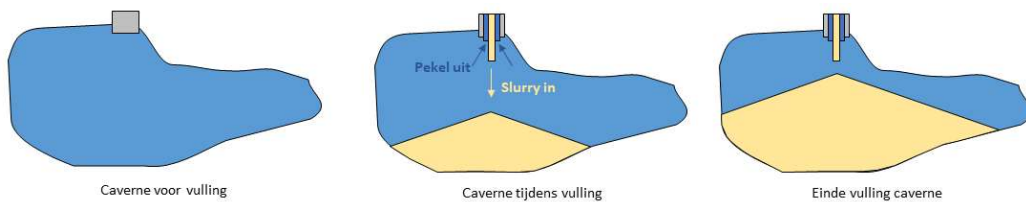
Figuur 6: Voorbeeld van vulling met kalkslurry bij caverne met regelmatige vorm en één geschikte put

In het voorbeeld van Figuur 6 wordt geïllustreerd hoe een caverne met een regelmatige vorm gevuld wordt met behulp van één put met een centrale ligging in de caverne. Deze put wordt zowel voor slurryinvoer als pekelafoer gebruikt.



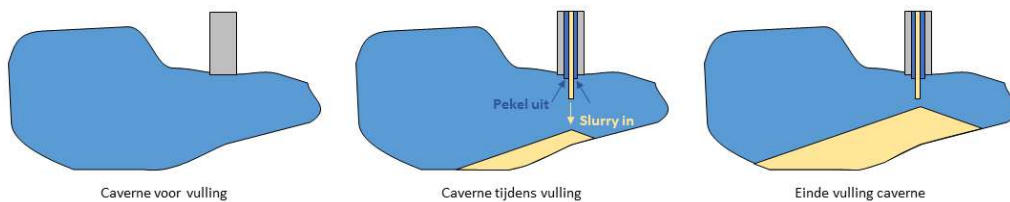
Figuur 7: Voorbeeld van vulling met kalkslurry bij caverne met regelmatige vorm en 2 geschikte putten

In het voorbeeld van Figuur 7 wordt geïllustreerd hoe een caverne met een regelmatige vorm gevuld wordt met behulp van twee putten. Deze putten kunnen afwisselend gebruikt worden voor slurryinvoer en pekelafoer.



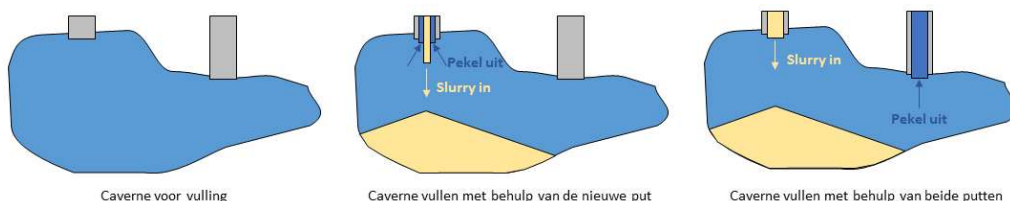
Figuur 8: Voorbeeld van vulling met kalkslurry bij caveerne met onregelmatige vorm en 1 geschikte put in het hoogste deel van de caveerne

In het voorbeeld van Figuur 8 wordt geïllustreerd hoe een caveerne met een onregelmatige vorm gevuld wordt met behulp van één put die op een goede positie ligt om de caveerne voldoende te vullen. Deze put wordt zowel voor slurryinvoer als pekelafoer gebruikt.



Figuur 9: Voorbeeld van vulling met kalkslurry bij caveerne met onregelmatige vorm waarvan de bestaande put niet de geschikte locatie heeft

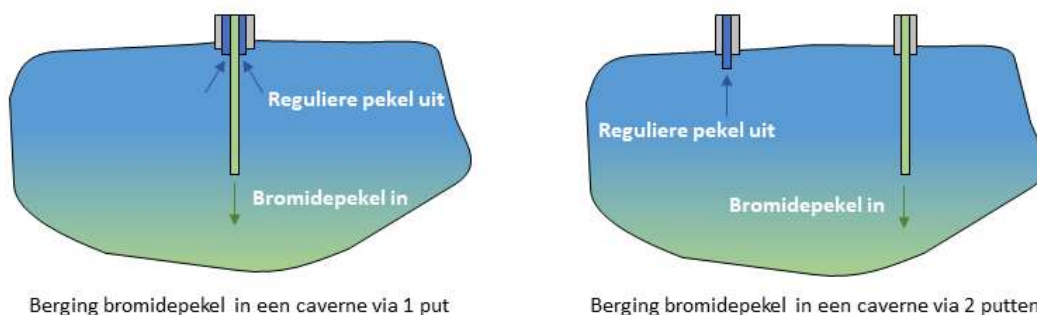
In het voorbeeld van Figuur 9 wordt geïllustreerd hoe een caveerne met een onregelmatige vorm gevuld zou worden met één bestaande put waarvan de locatie niet geschikt is om de caveerne voldoende te vullen. Dit is een situatie waarbij een nieuwe put nodig is om de caveerne voldoende te kunnen vullen. Voorbeelden van de beoogde situatie zijn gegeven in Figuur 10. Er kan voor gekozen worden om de nieuwe put zowel voor slurryinvoer als pekelafoer te gebruiken (Figuur 10, midden) of om de nieuwe put voor slurryinvoer te gebruiken en de andere put voor pekelafoer (Figuur 10, rechts)



Figuur 10: Voorbeeld van vulling met kalkslurry bij caveerne met onregelmatige vorm met behulp van een nieuw aangelegde put.

Naast de ondergrondse situatie wordt er bij de aanleg van nieuwe putten ook rekening gehouden met de situatie aan het maaiveld, zoals de aanwezigheid of nabijheid van bebouwing en natuur. Ook de mogelijkheid om de nieuwe put aan te sluiten op het leidingnetwerk kan van invloed zijn op de locatiekeuze.

Voor de berging van bromidepekelafoer zijn cavernes en putten geselecteerd die qua eigenschappen (zoals caveernevorm en putconfiguratie) geschikt zijn voor de invoer van bromidepekelafoer en de afvoer van pekelafoer. Voor deze toepassing zullen naar verwachting geen nieuwe putten worden aangelegd. In Figuur 11 is geïllustreerd hoe de berging van bromidepekelafoer met behulp van 1 of 2 putten in zijn werk gaat.



Figuur 11: Voorbeeld van vulling met bromidepekkel van een caveerne met behulp van 1 put (links) en met 2 putten (rechts)

In alle gevallen wordt er voor het inbrengen van retourstromen en de uitvoer van pekkel gebruik gemaakt van binnenbuizen zodat de stromen niet in direct contact staan met de laatst gecementeerde casing.

5.3. Volgorde en tijdsbestek aanleg putten

Alleen voor het vullen van cavernes met kalkslurry zal het in sommige gevallen nodig zijn een nieuwe put aan te leggen. Voor het bergen van bromidepekkel en boorgruis zullen naar verwachting geen nieuwe putten aangelegd worden.

De vulvolgorde uit het BMVCT is bepalend voor de volgorde van het aanleggen van eventueel benodigde nieuwe putten. Of er een nieuwe put nodig is en hoelang het zal duren om deze aan te leggen, wordt bepaald wanneer het vullen met kalkslurry van een caveerne wordt voorbereid. Daarbij wordt de informatie gebruikt die op dat moment het meest actueel is. Dit wordt daarom opgenomen in een caveerne-specifiek vulplan. Voor een aantal situatieprincipes wordt verwezen naar de figuren in de voorgaande paragraaf en de bijbehorende omschrijving. Het aanvragen van de benodigde Omgevingsvergunning voor het boren van nieuwe putten en de bijbehorende doorlooptijd hoort ook bij het voorbereidingsproces.

5.4. Ligging en opbouw van de putten

Voor de cavernes die beoogd zijn voor de berging van bromidepekkel, kalkslurry en boorgruis zijn de coördinaten van de bestaande (toegankelijke) putten weergegeven in bijlage 1. Hierin is tevens vermeld welke maat de laatst gecementeerde casing heeft en op welke diepte de schoen (de onderkant) van de laatst gecementeerde casing zich bevindt. De putconfiguratie ten tijde van het vullen van de cavernes (en daarmee de productie van pekkel) zal te zijner tijd bepaald worden op basis van de dan meest recente gegevens zoals sonarmetingen. Dit wordt daarom opgenomen in een caveerne-specifiek vulplan. In alle gevallen wordt er voor het inbrengen van retourstromen en de uitvoer van pekkel gebruik gemaakt van binnenbuizen zodat de stromen niet in direct contact staan met de laatst gecementeerde casing.

6. Wijze van winning

6.1. Aanvang en duur van de winning

Wanneer het inbrengen van een retourstroom in een caveerne begint (en daarmee de aanvang van pekkelwinning), is afhankelijk van de vulvolgorde en de productie van de retourstroom door de zoutfabriek. Per caveerne is de duur afhankelijk van de noodzakelijke en praktisch haalbare vulgraad en ook van de productie van de retourstroom door de zoutfabriek. De beste inschatting hiervan kan

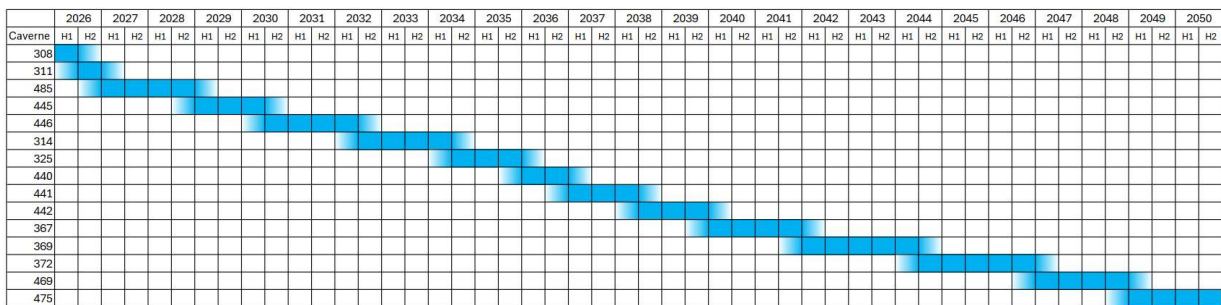
gemaakt worden op het moment dat het vullen van een caveerne daadwerkelijk voorbereid wordt. Daarom wordt dit opgenomen in een caveerne-specifiek vulplan. Naast dit winningsplan en de cavernespecifieke vulplannen wordt er in het jaarlijks te actualiseren (jaar)werkplan opgenomen wat de laatste stand van zaken is met betrekking tot de berging van retourstromen, dit is ook opgenomen in de vigerende milieuvergunning. In algemene zin kan gezegd worden dat passieve pekelpductie door middel van verdringing door retourstromen tenminste blijft doorgaan zolang de zoutfabriek in bedrijf is. De huidige vergunning van de zoutfabriek loopt tot en met 2050.

Op basis van het cavernevolumen, de verwachte hoeveelheid te bergen kalkslurry en een vulgraad van 80% is er een indicatieve planning van de berging van kalkslurry opgesteld voor de eerste zes cavernes die de komende jaren gevuld zullen worden. Deze planning is weergegeven in Figuur 12 en geeft per half jaar aan in het blauw welke caveerne in gebruik is voor de berging van kalkslurry. Deze planning is indicatief omdat de vulperiode per caveerne in de praktijk bijvoorbeeld langer kan zijn wanneer er minder slurry uit het pekeldzuiveringsproces komt of korter wanneer er meer slurry is of de benodigde vulgraad lager is. Ook de volgorde kan wijzigen, of er kan een andere caveerne tussenkomen wanneer deze begint met migreren. Bovendien zal er, naast de caveerne die primair in gebruik is voor berging van kalkslurry, altijd een caveerne binnen de scope van dit winningsplan beschikbaar zijn als uitwijkmogelijkheid. Deze is in geel aangegeven in Figuur 12. Zo wordt ervoor gezorgd dat de berging van kalkslurry kan doorgaan indien geplande of ongeplande werkzaamheden uitgevoerd moeten worden bij de primaire bergingscaverne.

	2026		2027		2028		2029		2030		2031		2032		2033		2034		2035		2036		2037		2038		2039		2040	
Caverne	H1	H2	H1	H2	H1	H2	H1	H2	H1	H2	H1	H2	H1	H2	H1	H2	H1	H2	H1	H2	H1	H2	H1	H2	H1	H2	H1	H2	H1	H2
130																														
90																														
60																														
81																														
140																														
57																														
156																														

Figuur 12: Indicatieve planning berging kalkslurry 2026-2040

Op basis van het cavernevolumen en de verwachte hoeveelheid te bergen bromidepekel is er een indicatieve planning van de berging van bromidepekel opgesteld. Deze is weergegeven in Figuur 13 en geeft per half jaar aan welke caveerne in gebruik is voor de berging van bromidepekel. Deze planning is indicatief omdat de vulperiode per caveerne in de praktijk bijvoorbeeld langer kan zijn wanneer de zoutfabriek minder bromidepekel maakt of korter wanneer er juist meer bromidepekel vrijkomt. Ook de volgorde kan wijzigen, bijvoorbeeld als gevolg van overleg met landeigenaren of de beschikbaarheid van het benodigde leidingwerk. Bovendien zal er, naast de caveerne die primair in gebruik is voor berging van bromidepekel, altijd een caveerne binnen de scope van dit winningsplan beschikbaar zijn als uitwijkmogelijkheid. Zo wordt ervoor gezorgd dat de berging van bromidepekel kan doorgaan indien geplande of ongeplande werkzaamheden uitgevoerd moeten worden bij de primaire bergingscaverne.



Figuur 13: Indicatieve planning berging bromidepekels 2026-2050

6.2. Wijze van winning en daarmee verband houdende activiteiten

De passieve productie van pekels uit de cavernes waar retourstromen in geborgen worden betreft de verdringing van pekels door de inkomende stroom die zwaarder is dan de pekels. Afhankelijk van de positie van de put ten opzichte van het cavernevolume en de diameter van een bestaande put kan het voor het vullen met kalkslurry nodig zijn om een extra put aan te leggen. Er kan gekozen worden om één put te gebruiken voor zowel de ingaande als de uitgaande stroom. Er kunnen ook twee putten gebruikt worden waarbij één put gebruikt wordt voor het inbrengen van de retourstroom en een andere put voor de uitkomende pekels.

De te gebruiken putten en de afhangings van de buizen worden zodanig gekozen dat zoveel mogelijk wordt voorkomen dat de bestanddelen van de ingaande retourstroom in de uitgaande pekelsstroom terecht komen. Wanneer er 1 put gebruikt wordt, betekent dit dat er voldoende verschil moet zijn tussen de afhangdiepte van de binnenste buis (retourstroom in) en de buis daaromheen (pekels uit). Wanneer er 2 putten gebruikt worden, draagt de horizontale afstand tussen deze putten ook bij aan het voorkomen van menging tussen de ingaande en uitgaande stroom.

De samenstelling van de uitkomende pekels wordt gemonitord op bromidegehalte en bestanddelen van kalkslurry. Wanneer er te veel van de te bergen stof met de pekels mee uit de cavernes komt, zijn er twee mogelijkheden. Er kan voor gekozen worden om de putconfiguratie, zoals de afhangdiepte van de buizen, aan te passen om verder te gaan met de berging van de retourstroom. Er kan ook besloten worden het proces te beëindigen voor de betreffende cavernes. De activiteiten die verband houden met de winning hebben voornamelijk het doel om het proces te monitoren en bij te sturen. Voorbeelden zijn het meten van de druk en flow, het in kaart brengen van de cavernes met sonarmetingen, het aanpassen van de afhangings van de buizen en indien nodig spoelacties om verstoppingen te verhelpen.

6.3. Hoeveelheden jaarlijks te winnen delfstoffen

De hoeveelheid pekels die jaarlijks geproduceerd wordt uit de cavernes waarin retourstromen geborgen worden, is gelijk aan de productie van deze retourstromen door de zoutfabriek en daarmee afhankelijk van het zoutproductieproces. In Tabel 3 zijn de hoeveelheden opgenomen die gebaseerd zijn op huidige langjarige gemiddelden. Daarnaast zijn de maximale jaarlijkse volumestromen opgenomen op basis van de maximaal vergunde productiecapaciteit en tot slot wat deze maximale volumes betekenen in maximale volumestroom (flow) per uur naar een individuele cavernes. In paragraaf 3.2.1. is toegelicht hoe de jaarlijkse hoeveelheden retourstromen gekoppeld zijn aan het zoutproductievolumen van de fabriek.

Retourstroom	Huidige hoeveelheid	Maximale hoeveelheid	Maximale flow naar caveerne
Kalkslurry	625.000 m ³ /jaar	900.000 m ³ /jaar	100 m ³ /h
Boorgruis	450 m ³ /jaar	4000 m ³ /jaar	5 m ³ /h
Bromidepekel	125.000 m ³ /jaar	220.000 m ³ /jaar	25 m ³ /h

Tabel 3: Gemiddelde jaarvolumes retourstromen ter indicatie

Omdat zo'n 20% van het ingebrachte volume kalkslurry als kalkslurryberg in de caveerne achterblijft, betekent dit in de huidige situatie 125.000 m³ caveerne-opvulling per jaar. De maximale hoeveelheid caveerne-opvulling is 180.000 m³ per jaar.

Op basis van deze beschouwing wordt voor dit winningsplan aangevraagd (zie ook paragraaf 3.2.1):

- 1) maximaal 900.000 m³/jaar geproduceerde pekels uit cavernes voor berging van slurry,
- 2) 220.000 m³/jaar aan pekels geproduceerd uit cavernes voor berging van bromidepekel
- 3) 4000 m³/jaar aan pekels geproduceerd uit cavernes voor berging van boorgruis

6.4. Hoeveelheden stoffen die jaarlijks bij winning worden geïnjecteerd

Zie paragraaf 6.3

6.5. Wijze waarop de putten buiten gebruik gesteld worden

Nadat het vulproces beëindigd is, kan de betreffende caveerne en de bijbehorende put(ten) gereed gemaakt worden voor het definitief buiten gebruik stellen, ook wel abandonneren genoemd. Hiervoor zal te zijner tijd een verwijderingsplan opgesteld en ingediend worden.

6.5.1. Isolatiestrategie en generieke wijze van abandonneren

Cavernes waar berging van bromidepekel zal plaatsvinden, zijn geclassificeerd als stabiel en inherent veilig. De putten kunnen geabandonneerd worden volgens de principes die omschreven staan in het verwijderingsplan TWR fase 3 [13]. Hierbij wordt de put zo diep mogelijk afgesloten met een mechanische plug en een cementplug en wordt ervoor gezorgd dat sluitlagen hersteld worden. Op deze manier wordt de caveerne geïsoleerd van watervoerende lagen. Indien de kwaliteit van casing en cementatie van een put voldoende is om onderdeel uit te maken van de afsluiting, is het niet nodig om een milling-operatie uit te voeren waarbij de casing en cement weggefreest worden. Wanneer de kwaliteit van casing en cement onvoldoende is, wordt er gemilled om een goede aansluiting tussen cement en formatie te kunnen realiseren. De bovenste 3 meter van de put wordt hierna in alle gevallen afgesneden en verwijderd, inclusief de aanwezige putring. Het maaiveld wordt vervolgens hersteld. Hierover vindt afstemming plaats met de grondeigenaar.

Cavernes waar berging van kalkslurry en boorgruis zal plaatsvinden zijn geclassificeerd als potentieel instabiel en niet inherent veilig. Het inbrengen van de vaste stof verkleint het volume van de caveerne. Dit beperkt niet de kans op migratie van de caveerne, maar wel het effect van de migratie aan het maaiveld. De migratie zal namelijk op diepte uitdoven zodat er geen onacceptabele bodemdaling aan het maaiveld zal ontstaan. Het beperkte migratieproces dat zich ondergronds nog wel kan afspelen, wordt meegenomen in het ontwerp van de definitieve afsluiting van de put door een barrière te plaatsen in het 'isolation window' dat reikt van de cavernediepte tot aan de veiligheidsafstand tot de basis Tertiair. Deze veiligheidsafstand is de minimale dikte die de bovenste laag gesteente moet hebben om de overspanning van de caveerne te kunnen dragen. Dit is vooral afhankelijk van de diameter van de caveerne die kan afnemen tijdens het migratieproces. De veiligheidsafstand is dus per caveerne te bepalen. Ook bij deze putten geldt dat er mogelijk milling-operaties uitgevoerd moeten worden om een goede aansluiting tussen de cementplug en de formatie te realiseren.

De bovenste 3 meter van de put wordt afgesneden en verwijderd, inclusief de aanwezige putring. Het maaiveld wordt hierna hersteld. Hierover vindt afstemming plaats met de grondeigenaar. Voor het buiten gebruik stellen van een put zal tijdig een werkprogramma ingediend worden waarin per put is aangegeven hoe de put definitief wordt afgesloten.

6.5.2. Risico's en mitigerende maatregelen buiten gebruik gestelde caveerne

Na het afsluiten van gevulde cavernes zijn er een aantal risico's. Deze risico's en de beheersing hiervan wordt hier op hoofdlijnen besproken. In het op te stellen en in te dienen verwijderingsplan zal, voorafgaand aan het definitief buiten gebruik stellen van cavernes en putten, een risicoanalyse in systeembenadering worden opgenomen. Hierbij zal gekeken worden naar meest actuele informatie van de cavernes en hun positie binnen het caverneveld.

- Lekkage van cavernevloeistoffen in de ondiepe grondlagen of het grondwater door toename van vloeistofdruk in de caveerne
Dit risico wordt beheerst doordat:
 - De vloeistofdruk niet of zeer beperkt zal toenemen door zoutkruip. Dit blijkt uit drukmonitoring van cavernes die al langere tijd uit productie zijn en observaties bij cavernes die opnieuw aangeboord zijn nadat ze in het verleden al afgesloten waren;
 - De vloeistofdruk niet significant zal toenemen door opwarming van de vloeistof in de cavernes. Er is namelijk niet of nauwelijks temperatuurverschil tussen de vloeistof in de caveerne en het omliggende gesteente;
 - Het intacte zoutgesteente rondom een caveerne heeft een zeer lage permeabiliteit;
 - In en boven het zout bevinden zich kleisteenlagen met een zeer lage permeabiliteit.
- Lekkage van cavernevloeistoffen in de ondiepe grondlagen of het grondwater door cavernemigratie (alleen bij cavernes die potentieel instabiel en niet inherent veilig zijn)
Dit risico wordt beheerst doordat:
 - Migratie op diepere niveaus uitdooft dankzij de vulling met kalkslurry of boorgruis;
 - Kleisteenlagen boven het zout een zeer lage permeabiliteit hebben;
 - De dichtheid van pekkel hoger is dan de dichtheid van grondwater, dit verhindert opwaartse stroming.
- Lekkage van cavernevloeistoffen in de ondiepe grondlagen of het grondwater door een lekpad via de afgesloten put.
Dit risico wordt beheerst door:
 - Het toepassen van de principes die in WIMS omschreven staan om de integriteit van de put te waarborgen zolang deze nog open is.
 - Het ontwerp van de afsluiting van de put aan te laten sluiten bij de principes uit de isolatiestrategie en conform de vereisten van de Mijnbouwregeling
 - De dichtheid van pekkel hoger is dan de dichtheid van grondwater, dit verhindert opwaartse stroming.

Nadere toelichting en onderbouwing van de risicobeheersing is opgenomen in de Isolatiestrategie [16].

6.5.3. Nazorg

Nadat de putten definitief zijn afgesloten en de locaties aan het maaiveld zijn opgeruimd, start een periode van nazorg. Monitoring van bodemdaling en bodemtrillingen zullen conform de Mijnbouwwet tot ten minste 30 jaar na het afsluiten van de putten doorgaan.

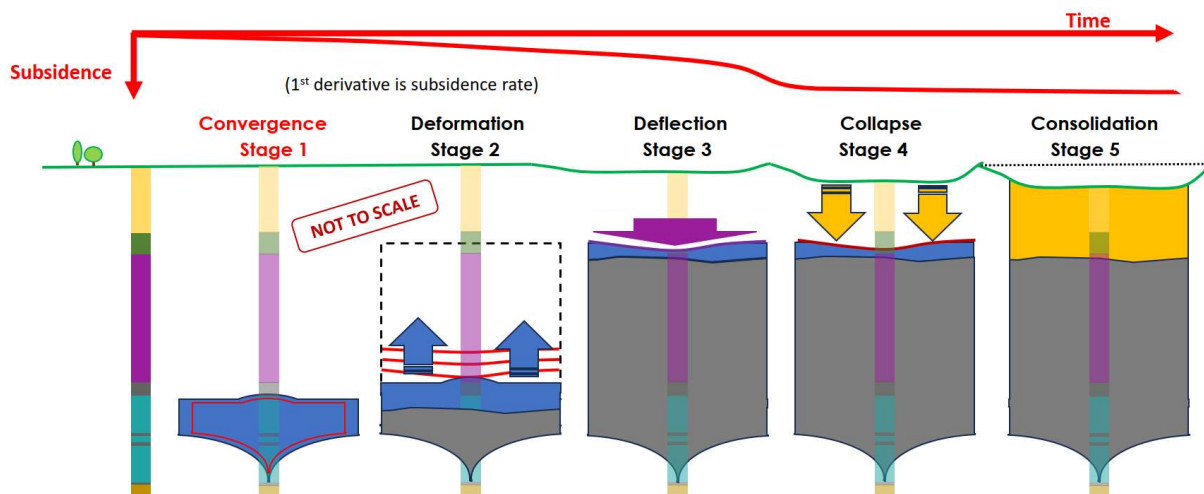
6.6. Secundair gebruik

Voor geen van de cavernes in de scope van dit winningsplan zal na afloop van het bergen van de retourstroom secundair gebruik plaatsvinden.

7. Bodembeweging

7.1. Verwachte bodemdaling

Bij de bodemdaling die boven cavernes in de scope van dit winningsplan kan ontstaan, spreken we van stage 1 t/m 5 bodemdaling. Het verloop van deze 'stages' is aangegeven in Figuur 14. Niet elke stage komt bij elke caverne voor. Het ontstaan van stage 4 en 5 wordt te allen tijde voorkomen. Een toelichting hierop volgt onder de figuur.



Figuur 14: verschillende stages van bodemdaling (afbeelding: RelInvent)

Stage 1 – Bodemdaling door zoutkruip - convergentie

Deze stage treedt op bij alle cavernes en is dus van toepassing op zowel cavernes die gevuld worden met een vaste stof als met bromidepekkel. Door het kruipgedrag van zout wordt de caverne steeds iets kleiner. Dit vertaalt zich naar het maaiveld in de vorm van bodemdaling (rode lijn in Figuur 14). Het is een traag en geleidelijk proces dat al vele decennia gaande is. De bodemdaling wordt ook al decennialang gemonitord. Aan de hand van de bodemdalingmetingen en de caverne-ontwikkeling over de jaren is in een model gereconstrueerd hoeveel de cavernes kleiner worden over de jaren na afloop van de winning en hoe zich dit vertaalt heeft naar bodemdaling aan de oppervlakte. Met hetzelfde model wordt ook een prognose gedaan van de hoeveelheid te verwachten bodemdaling. Voor cavernes die in aanmerking komen voor berging van bromidepekkel is dit de enige vorm van bodemdaling die te verwachten is, omdat deze cavernes stabiel en inherent veilig zijn.

Stage 2 – Bodemdaling bij cavernemigratie door gesteente - deformatie

Cavernes die potentieel instabiel zijn, kunnen beginnen met migreren. Cavernes die niet inherent veilig zijn komen in aanmerking voor vulling met kalkslurry. Bij het migratieproces neemt de bodemdalingssnelheid aan de oppervlakte toe (rode lijn in Figuur 14). Dit is stage 2. De hoeveelheid bodemdaling die tijdens deze fase van migratie optreedt is afhankelijk van de grootte en de diepteligging van de caverne. Met het vullen van een caverne met vaste stof wordt ervoor gezorgd dat het migratieproces op een diepte eindigt waarbij er nog voldoende gesteente boven de gemigreerde caverne aanwezig is om te voorkomen dat er een onacceptabele hoeveelheid bodemdaling ontstaat. Na het eindigen van het migratieproces op deze veilige diepte neemt de bodemdalingssnelheid af en vindt er nog nazakking plaats door het inklinken van de puinkolom die tijdens het migratieproces is ontstaan.

Stage 3 – Bodemdaling bij cavernemigratie in bovenste deel gesteente – doorbuiging

Uit onderzoek aan de documentatie van cavernes die in het verleden gemigreerd zijn, is gebleken dat wanneer het migratieproces doorgaat na stage 2, er opnieuw een toename van de bodemdalingssnelheid optreedt (zie rode lijn in Figuur 14). Dit gebeurt doordat de laatste laag gesteente die als het ware een 'draagbalk' vormt tussen de migrerende caveerne en de grondlagen boven het gesteente dan doorbuigt. Hoe groot deze doorbuiging is, en tot hoeveel bodemdaling dit aan het maaiveld leidt, is met name afhankelijk van de resterende diameter en hoogte van de caveerne tijdens stage 3. De maximaal toelaatbare bodemdaling in Stage 2 en Stage 3 gezamenlijk bedraagt 50 centimeter op het diepste punt van de kom. Grotere dalingen worden als trog beschouwd, ook al ontstaat er dan nog (net) geen stage 4 bodemdaling.

Stage 4 – Bodemdaling bij cavernemigratie in grondlagen – sinkhole of trogvorming

Wanneer de bovenste balk gesteente bezwijkt na stage 3, volgt het instorten van de bovenliggende grondlagen die aanzienlijk minder sterkte hebben dan de gesteentelagen. Dit resulteert in een aanzienlijke bodemdaling, die zichtbaar is aan het maaiveld. Afhankelijk van de resterende caveernehogte ontstaat er een sinkhole in zeer korte tijd (uren tot een dag), of een bodemdalingstrog die zich in de loop van maanden ontwikkelt.

Stage 5 – Bodemdaling door consolidatie – restzakking

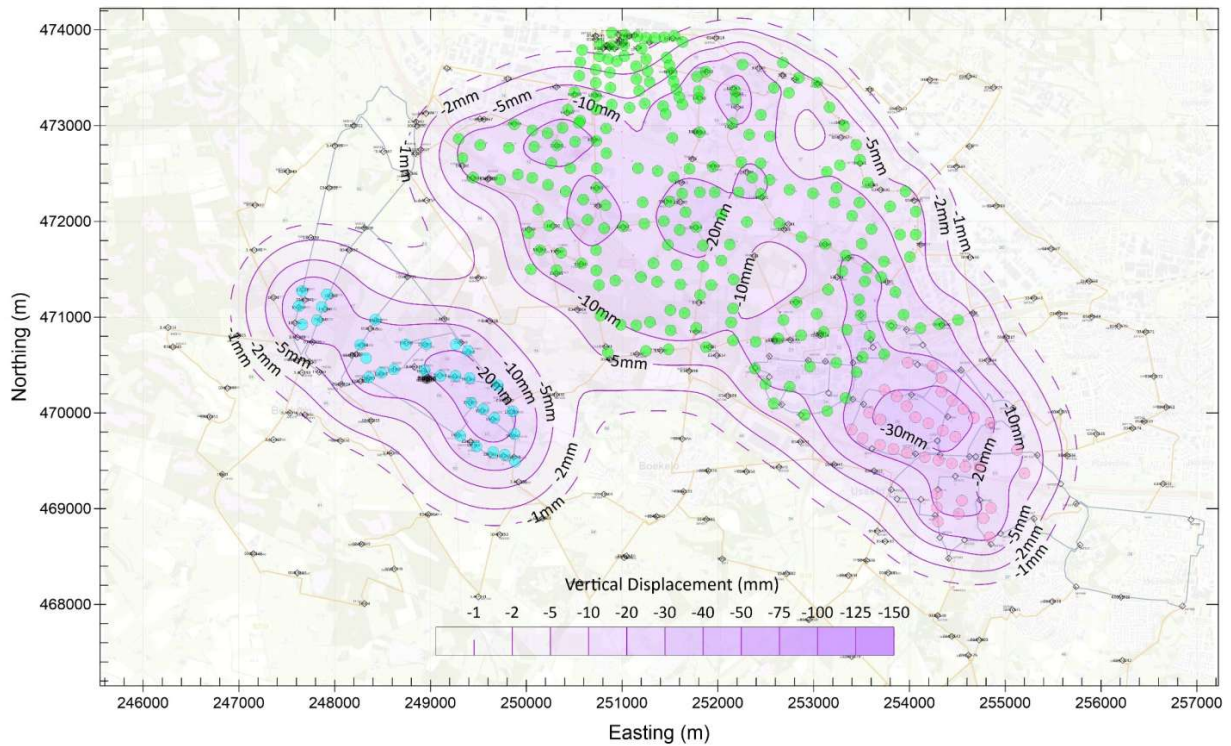
Na afloop van stage 4 bodemdaling treedt er nog nazakking op omdat de ingestorte grondlagen onder hun eigen gewicht zullen consolideren. Dit proces kan tientallen jaren duren. De hoeveelheid bodemdaling en de bodemdalingssnelheid gedurende stage 5 is aanzienlijk minder dan in stage 4 en neemt geleidelijk af met verloop van de tijd.

7.1.1. Methode om bodemdaling te voorspellen

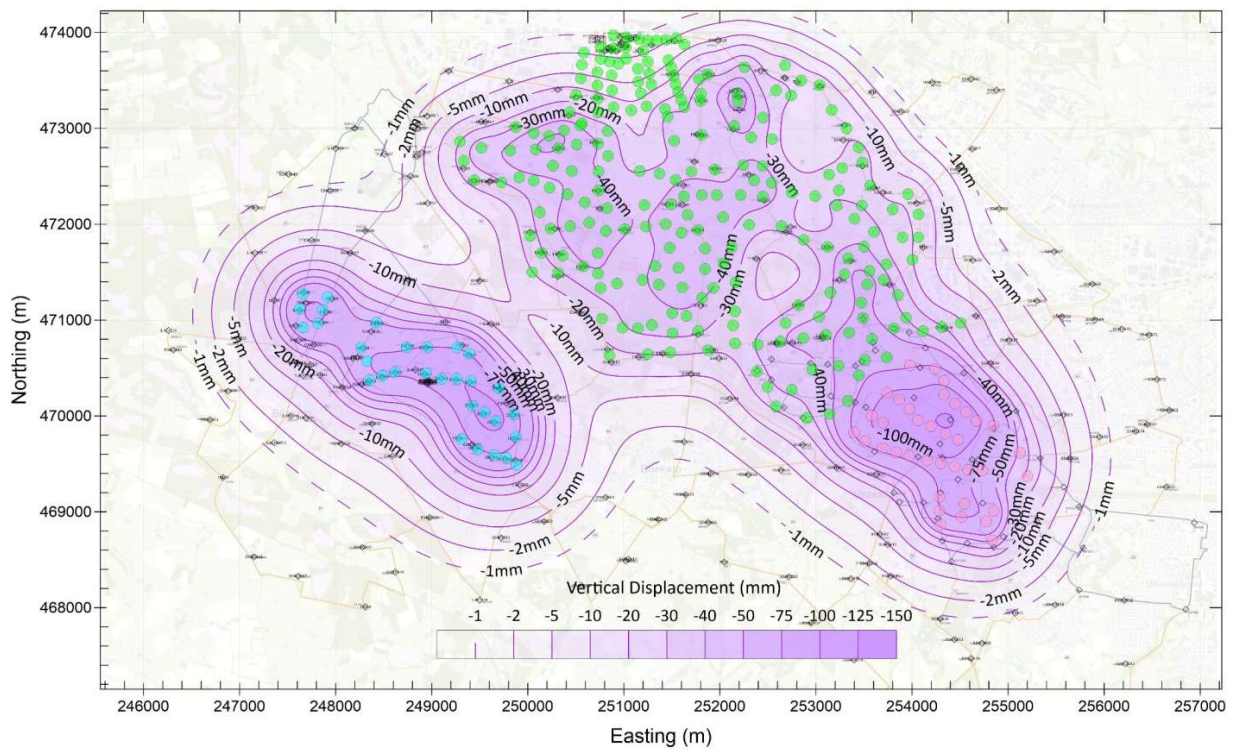
Er worden verschillende methoden gebruikt om de bodemdaling in de verschillende fasen te voorspellen. Voor stage 1 wordt een analytisch model gebruikt waarin aan elke caveerne een referentiediepte en een invloedgebied aan de oppervlakte wordt toegekend. Aan de hand van decennia van bodemdalingsmetingen en de caveerneontwikkeling over die periode is gereconstrueerd hoeveel de cavernes kleiner worden over de jaren en hoe zich dit vertaalt heeft naar bodemdaling aan de oppervlakte. Met ditzelfde model wordt ook een voorspelling gedaan van de hoeveelheid te verwachten bodemdaling. Deze voorspelling is te vinden in [14] en heeft betrekking op de cavernes die met vaste stof gevuld worden en de cavernes die voor berging van bromidepekel bestemd zijn. De berekende hoeveelheid bodemdaling sinds de start van de winning (rond 1960) voor 2025 (start looptijd nieuw winningsplan), 2050 (einde looptijd winningsplan) en 2125 (start looptijd winningsplan + 100 jaar) zijn weergegeven op een kaart in Figuur 15 en Figuur 16. De daaruit afgeleide maximale bodemdalingssnelheid, scheefstelling en horizontale vervorming zijn weergegeven in Tabel 4 voor verschillende jaartallen.

Jaar	Bodemdaling [mm]	Bodemdalingssnelheid [mm/jaar]	Scheefstelling [mm/m]	Rek [mm/m]	Compressie [mm/m]
2025	18	0,4	0,043	0,016	0,033
2050	27	0,4	0,064	0,024	0,051
2125	55	0,4	0,130	0,047	0,101

Tabel 4: Prognose van bodemdaling door zoutkruip voor Twenthe-Rijn fase 2 en 3, uit [14]



Figuur 15: Bodemdalingsprognose TWR fase 2 en 3 voor 2050, uit [14]



Figuur 16: Bodemdalingsprognose TWR fase 2 en 3 voor 2125, uit [14]

In [14] is meer informatie te vinden over de toegepaste methode. Normaalgesproken zit de belangrijkste onzekerheid van bodemdaling door zoutkruip in de waarde van de 'convergence parameter y_{ss} '. Voor de huidige situatie in fase 2 en 3 van het caverneveld (cavernes in de scope van het ingediende winningsplan, nog niet afgesloten) is de waarde van deze parameter al vele decennia geleden bepaald op $y_{ss} = 0,00008 \text{ j}^{-1}$ en in de afgelopen decennia is uit vergelijkingen tussen de voorspelde en gemeten bodemdaling steeds gebleken dat de waarde past bij de gemeten bodemdaling. Dit zorgt ervoor dat in dit caverneveld de onzekerheid over deze parameter klein is.

Daarnaast zijn twee belangrijke conservatieve uitgangspunten gebruikt waardoor de prognose als een worst-case scenario gezien wordt. Deze uitgangspunten worden hier nader toegelicht:

1. Van de cavernes is aangenomen dat er na afsluiting geen drukopbouw plaatsvindt, waardoor de weerstand tegen kruip en daarmee bodemdaling niet afneemt in de loop van de tijd. Dit conservatieve uitgangspunt is gekozen omdat:
 - a. De meeste cavernes onderling met elkaar in verbinding staan via de bovenkant van de Solling Formatie die zich direct onder het zout bevindt. Deze formatie kan als druk-aflaat-mechanisme fungeren.
 - b. Uit meerjarige monitoring van stilstaande cavernes blijkt dat een klein aantal cavernes waar wel sprake is van drukopbouw, de druktoename minder dan 0,1 bar/jaar bedraagt. Voor een caverne op 400 meter diepte zou dit betekenen dat het bij een constante drukopbouw 80 jaar zou duren voordat de druk is toegenomen van halmostatisch (0,12 bar/m) naar de op basis van observaties in andere cavernevelden in gelaagde zoutvoorkomens verwachte evenwichtsdruk behorende bij een gradient van 0,14 bar/m. Daarbij is de verwachting dat de snelheid van drukopbouw niet constant is, maar afneemt in de loop der jaren, waardoor dit proces langer dan 80 jaar duurt.
2. Alle cavernes zijn gevuld met reguliere pekels als uitgangspunt voor de berekening. Het aanbrengen van kalkslurry of boorgruis in de cavernes die daarvoor in aanmerking komen, zal een remmend effect hebben op de zoutkruip en daarmee op de bodemdaling. Omdat bromidepekels een iets hogere dichtheid heeft dan reguliere pekels zal ook dit een licht remmend effect hebben op de zoutkruip en op de bodemdaling. Beide remmende effecten zijn niet meegenomen in de berekeningen waardoor de resultaten als conservatief gezien kunnen worden.

De onzekerheid over in hoeverre een oplopende pekeldruk en de aanwezigheid van de vaste vulstof kalkslurry of de iets zwaardere bromidepekels een remmend effect hebben op de zoutkruip en daarmee een remmend effect op de bodemdaling, is weggenomen door deze mogelijke remmende effecten niet mee te nemen in de berekening van de bodemdaling. De berekende bodemdaling wordt daarom gezien als een worst-case scenario. In paragraaf 7.1.3. van het winningsplan is toegelicht dat deze worst-case bodemdaling door zoutkruip niet kan leiden tot schade aan objecten en geen negatief effect zal hebben op de waterhuishouding. Daar komt nog bij dat de bodemdaling die in de praktijk optreedt zo gering is dat deze nauwelijks meetbaar is. Om bovenstaande redenen is het niet van toegevoegde waarde om onzekerheden nader te kwantificeren.

De berekening van bodemdaling in de stages 2 en verder is alleen van toepassing op de met kalkslurry te vullen cavernes en is zeer cavernespecifiek. Er wordt gebruik gemaakt van een invloedsfunctie om te bepalen hoe groot het gebied is waar bodemdaling aan de oppervlakte kan ontstaan, hoeveel bodemdaling er in het diepste punt zal ontstaan en hoe dit geleidelijk afneemt naar de randen van de bodemdalingskom toe. Cavernespecifieke gegevens, zoals diepte, hoogte, volume en vorm, worden gebruikt om per caverne een bodemdalingskom te bepalen die kan ontstaan bij migratie. Ook de beoogde vulgraad (en daarmee de afname van de caverne-afmetingen) zijn van belang. Vanwege het cavernespecifieke karakter van deze berekeningen

worden deze bij het cavernespecifieke vulplan ingediend. Voor het overzicht van de laatst bekende bodemdalingsprognoses bij migratie wordt verwezen naar het Beleid monitoren en vullen cavernes Twente 2024 [2].

7.1.2. Resultaten voorspellingen

Zoals in de vorige subparagraaf aangegeven, zijn de resultaten van de voorspellingen beschreven in [14] voor de stage 1 bodemdaling door zoutkruip en in [2] voor bodemdaling in stage 2 en verder als gevolg van cavernemigratie.

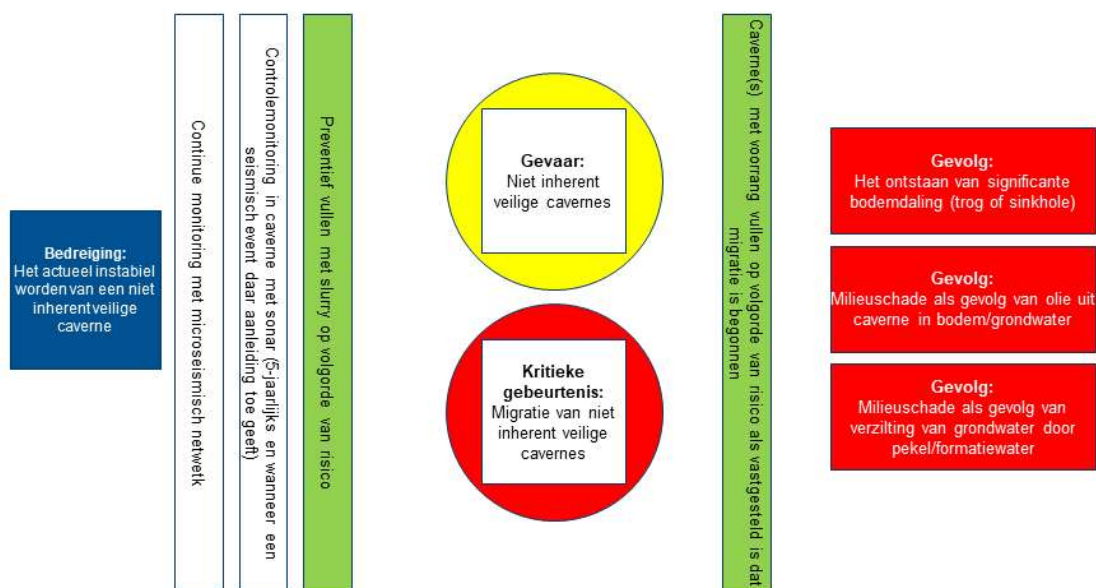
7.1.3. Mogelijke effecten van bodemdaling

Stage 1 bodemdaling is zeer beperkt in grootte en snelheid, te weten 50 mm tot het jaar 2125 en een snelheid van 0,5 mm/jaar [14]. In [15] is beschreven dat bij bodemdalingssnelheden van minder dan 1 mm/jaar er geen negatieve effecten op de waterhuishouding te verwachten zijn. In [14] is ook de scheefstand berekend. Dit is maximaal 1:10.000 in het jaar 2125. Dit is ver verwijderd van de strengste drempelwaarden die doorgaans gehanteerd worden om te bepalen of er schade aan gebouwen kan ontstaan.

Door cavernes te vullen met kalkslurry wordt bodemdaling als gevolg van cavernemigratie beperkt tot maximaal 50 centimeter in het diepste punt van het invloed gebied per caverne. De scheefstelling en horizontale vervormingen zijn dan vrijwel altijd dusdanig gering dat ook hiervan geen effect te verwachten is. Indien de bovengrondse situatie zo is dat onacceptabele effecten kunnen optreden bij een bodemdaling van minder dan 50 centimeter op het diepste punt van de kom, wordt de vulgraad verhoogd zodat de resterende bodemdaling binnen acceptabele grenzen blijft. Per caverne wordt hierop ingegaan in het cavernespecifieke vulplan.

7.2. Maatregelen om bodembeweging te voorkomen of te beperken

De te verwachten bodemdaling als gevolg van zoutkruip (stage 1) is al zeer beperkt, zoals [14] aangeeft. Voor zowel het inbrengen van kalkslurry, boorgruis als bromidepekkel geldt dat het de te verwachten mate van bodembeweging als gevolg van zoutkruip enigszins verkleint. Migratie van cavernes zou, in het geval het zich voordoet, wel tot aanzienlijke bodemdaling kunnen leiden. Het inbrengen van kalkslurry en boorgruis is de belangrijkste preventieve maatregel om bodembeweging (bodemdaling) door cavernemigratie te beperken. De positie van het vullen van een caverne met slurry als maatregel is in Figuur 17 in het groen weergegeven in een risicoanalyse in de vorm van een bow tie.



Figuur 17: Bow tie van cavernemigratie met de maatregel van het opvullen van een caveerne aangegeven in groen

7.3. Risicoanalyse bodemtrilling (schade door seismiciteit)

Het winnen van pekel uit cavernes door middel van het inbrengen van retourstromen leidt niet tot een verhoogd risico op seismiciteit of schade door seismiciteit.

Sinds 2016 worden bodemtrillingen in een deel van het caveerneveld gemeten met een microseismisch meetnet. Dit wordt gedaan om migratie van cavernes in een zo vroeg mogelijk stadium te signaleren. Sinds het begin van de monitoring is een database van monitoringsgegevens opgebouwd. Naast kleine trillingen rondom cavernes worden ook trillingen in lagen boven en onder het zout geregistreerd. Na elke trilling wordt er gehandeld volgens het daarvoor opgestelde 'Traffic Light system' (TLS) dat onderdeel is van het BMVCT2024 [2].

Tot dusver is er sinds het begin van de metingen geen trilling opgetreden die aan het maaiveld voelbaar zou kunnen zijn. De magnitude en daarmee de seismische energie van de trillingen is dusdanig klein dat er geen schade te verwachten is door dergelijke trillingen. Bovendien wordt het risico op seismiciteit beperkt door cavernes, waar een migratieproces kan plaatsvinden, te vullen met kalkslurry en/of boorgruis. Het effect hiervan is dat het migratieproces (en daarmee een oorzaak van trillingen) diep in de ondergrond uitdooft.

7.4. Mogelijke omvang en verwachte aard van schade door bodembeweging

Zoals in paragraaf 7.1.3 en 7.3 is toegelicht wordt er geen schade verwacht als gevolg van bodembeweging. De berging van kalkslurry en boorgruis in cavernes speelt hier een essentiële rol in.

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

Naast het beperken van bodemdaling door kalkslurry in cavernes te brengen zijn er geen extra maatregelen nodig om schade door bodembeweging te voorkomen.

8. Effecten voor de omgeving

8.1. Risico's voor omwonenden, gebouwen en infrastructuur, milieu en natuur

8.1.1. Berging retourstromen in cavernes

Bij het bergen van retourstromen in bestaande cavernes en daarmee de winning van pekels als lopend proces, worden bestaande cavernes niet vergroot. Vanuit dit oogpunt introduceert dit geen nieuwe risico's voor omwonenden, gebouwen en infrastructuur. De opvulling van cavernes waar dit nodig is met kalkslurry en/of boorgruis minimaliseert het risico op negatieve effecten voor de omgeving als gevolg van cavernemigratie, zie Figuur 17.

De aanwezigheid van bromidepekels, kalkslurry of boorgruis in een caverne is anders dan de standaard situatie van een caverne die met de reguliere pekels gevuld is. Om de risico's hiervan in beeld te brengen, zijn bow ties gemaakt voor de gebeurtenis dat bromidepekels, kalkslurry of boorgruis uit de caverne lekt. Deze bow ties zijn te vinden in bijlage 3.

In meer algemene zin zijn risico's beschreven in de managementsystemen die daarvoor opgesteld zijn. Dit betreft het eerdergenoemde CSIMS, het Well Integrity Management System (WIMS) en het Pipeline Integrity Management System (PIMS)

8.1.2. Tijdelijke werkzaamheden

Tijdelijke werkzaamheden ten behoeve van de berging van retourstromen kunnen een impact hebben op de omgeving. Voorbeelden van dergelijke activiteiten zijn:

- Aanleg van een nieuwe put;
- Het geschikt maken van een bestaande put voor berging van een retourstroom met behulp van een mobiele mast;
- Aanleg van nieuwe leidingen;
- Het uitvoeren van (sonar)metingen.

Welke risico's er zijn, is zeer afhankelijk van de specifieke locatie en de nabijheid van woningen, gebouwen en infrastructuur. Daarnaast zijn de risico's ook afhankelijk van welke werkzaamheden er uitgevoerd moeten worden. Het boren van een nieuwe put kent andere risico's dan het aanleggen van een leiding.

Bij de planning en uitvoering van dergelijke werkzaamheden is het inventariseren en beheersen van risico's altijd een integraal onderdeel van de werkzaamheden. Specifieke risicoanalyses komen terug in werkplannen en werkvergunningen bij het aanleggen van nieuwe putten, het aanpassen van bestaande putten, het leggen van leidingen en het uitvoeren van metingen.

Bij het voorbereiden en uitvoeren van werkzaamheden worden de omwonenden en belanghebbenden geïnformeerd over de werkzaamheden.

8.2. Planmatig beheer van bodem en ondergrond

Het bergen van retourstromen draagt bij aan planmatig beheer van de bodem en ondergrond. De cavernes die hiervoor beoogd zijn, kunnen niet meer gebruikt worden voor het uitloggen van zout of het tijdelijk opslaan van stoffen. Het bergen van retourstromen in cavernes is de meest milieuvriendelijke manier van het verwerken van deze stromen. Dit is de conclusie uit de Life Cycle Analysis [1] van het zoutproductieproces die onderdeel is van de revisievergunning.

Omdat het bergen van retourstromen plaatsvindt in reeds bestaande cavernes, introduceert het geen beperkingen op het gebruik van de bodem of ondiepe ondergrond ten opzichte van de situatie van de reeds bestaande pekelsgevulde cavernes.

9. Referenties

- [1] Life Cycle Assessment (LCA) & Total Cost of Ownership (TCO) analysis of residual streams from brine in Hengelo, Ecomatters B.V., version 1.8, 07-11-2023
- [2] Beleid monitoren en vullen cavernes Twente, Nobian, december 2024
- [3] Geological framework TWR Compilation report, Geowulf Laboratories, GL08.502, May 2008
- [4] Detailed geology of the Hengelo solution mining area part 2, Geowulf Laboratories, GL11.901, September 2011
- [5] Kavernenfeld Hengelo Bohrung 480 Arbeitspaket 2: Durchführung von Versuchen an Steinsalzproben aus dem Röt, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Dezember 2004
- [6] Kavernenfeld Hengelo Bohrung 480 Arbeitspaket 3: Durchführung von Versuchen an Proben aus dem Grund- und Deckgebirge, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Dezember 2004
- [7] Kavernenfeld Hengelo, Geomechanische Modellberechnungen zu Geländeoberflächensenkungen im Kavernenfeld Hengelo, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, 2003
- [8] Kavernenfeld Hengelo, Ermittlung der zulässigen Beanspruchung von Pfeilern im Kavernenfeld Hengelo, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, 2004
- [9] Nobian's cavern stability and integrity management system (CSIMS), Nobian, version 2.0, 28-03-2024
- [10] Cluster analysis of active caverns Hengelo Brinefield, Respec, 2004
- [11] Cavern cluster update Hengelo Brinefield, Respec, 2006
- [12] Pijlerstabiliteit van cavernecusters en cavernerijen – Aanvullende analyse bij Verwijderingsplan Mijnbouwwerk Zout Twente-Rijn fase 3, GeoDetect, versie 2, 2022
- [13] Zout aanvraag instemming verwijderingsplan TWR fase 3, Nobian, versie 6, d.d. 21-12-2022
- [14] Subsidence Evaluation of the Hengelo, Usseler Es and Ganzebos brinefields, Respec, 2022
- [15] Bodemdaling door zoutwinning – lange termijn effecten, Witteveen + Bos, 140064/24-004.958, 5 april 2024
- [16] Isolation Strategy Twente-Rijn brine field, Nobian, version 1.0, 18-07-2022

10. Overzicht van bijlagen

- 1. Details putten en cavernes in de scope van het winningsplan
- 2. Holruimtekaart Twente-Rijn, versie 05-06-2024
- 3. Risicoanalyse – Lekkage van retourstromen uit caveerne – bromidepekkel, kalkslurry en boorgruis
- 4. Voorbeeld Cavernespecifiek vulplan – caveerne 130 – berging van kalkslurry
- 5. Voorbeeld Cavernespecifiek vulplan – caveerne 308 – berging van bromidepekkel
- 6. Voorbeeld Cavernespecifiek vulplan – caveerne 156 – berging van boorgruis en kalkslurry

Chemistry
you can count on

