

# RAPPORT

## **Risicobeoordeling voor Winningsplan zoutwinning**

Nedmag, Veendam

Klant: Nedmag B.V.

Referentie: BG2717I&BRP1808092320

Versie: 0.1/Finale versie

Datum: 12 november 2018

HASKONINGDHV NEDERLAND B.V.

Postbus 151  
6500 AD Nijmegen  
Netherlands  
Industry & Buildings  
Trade register number: 56515154

+31 88 348 70 00 **T**  
+31 24 323 93 46 **F**  
info@rhdhv.com **E**  
royalhaskoningdhv.com **W**

Titel document: Risicobeoordeling voor Winningsplan zoutwinning

Ondertitel: Risicobeoordeling  
Referentie: BG2717I&BRP1808092320  
Versie: 0.1/Finale versie  
Datum: 12 november 2018  
Projectnaam:  
Projectnummer: BG2717  
Auteur(s): Marc Giesberts, Ben Teuben

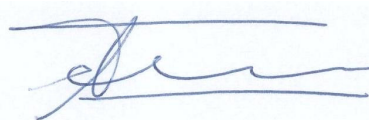
Opgesteld door: Marc Giesberts, Ben Teuben

Gecontroleerd door: Marc Giesberts

Datum/Initialen: 12 november 2018

Goedgekeurd door: Marcel Ticheloven

Datum/Initialen: 12 november 2018



Classificatie

Projectgerelateerd



## Disclaimer

No part of these specifications/printed matter may be reproduced and/or published by print, photocopy, microfilm or by any other means, without the prior written permission of HaskoningDHV Nederland B.V.; nor may they be used, without such permission, for any purposes other than that for which they were produced. HaskoningDHV Nederland B.V. accepts no responsibility or liability for these specifications/printed matter to any party other than the persons by whom it was commissioned and as concluded under that Appointment. The integrated QHSE management system of HaskoningDHV Nederland B.V. has been certified in accordance with ISO 9001:2015, ISO 14001:2015 and OHSAS 18001:2007.

## Inhoud

|          |                                               |           |
|----------|-----------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b> | <b>Introductie</b>                            | <b>6</b>  |
| 1.1      | Doel van Nedmag B.V.                          | 6         |
| 1.2      | De stakeholders                               | 6         |
| 1.3      | Leeswijzer                                    | 6         |
| <b>2</b> | <b>De winning</b>                             | <b>7</b>  |
| 2.1      | Geologie                                      | 7         |
| 2.2      | Algemeen                                      | 8         |
| 2.3      | Fasering                                      | 9         |
| 2.4      | Hulpstof                                      | 10        |
| <b>3</b> | <b>Bodemdaling</b>                            | <b>11</b> |
| <b>4</b> | <b>Bestaande winning</b>                      | <b>13</b> |
| 4.1      | Winlocaties en putten                         | 13        |
| 4.2      | Beschrijving van de winning                   | 15        |
| 4.3      | Incident                                      | 16        |
| <b>5</b> | <b>Nieuwe winning</b>                         | <b>18</b> |
| 5.1      | Algemeen                                      | 18        |
| 5.2      | Vier nieuwe putten                            | 18        |
| 5.3      | Bodemdaling                                   | 19        |
| 5.4      | Nieuwe operationele condities                 | 21        |
| 5.5      | Uitgevoerde onderzoeken                       | 21        |
| 5.6      | Uitgangspunten risicobeoordeling              | 21        |
| <b>6</b> | <b>Beoordelen van risico's</b>                | <b>23</b> |
| 6.1      | Methodiek                                     | 23        |
| 6.2      | Risico's per fase van winning                 | 27        |
| 6.3      | Bespreking generieke risico's                 | 31        |
| 6.4      | Toelichting risico's bij caverne ontwikkeling | 33        |
| 6.5      | Toelichting risico's actieve winning          | 34        |
| 6.6      | Toelichting risico's bleed off                | 35        |
| 6.7      | Bespreking risico's abandonnering             | 36        |

## 7 Conclusie 38

### Tabellen

|                                                                    |    |
|--------------------------------------------------------------------|----|
| Tabel 4-1: Eigenschappen van de bestaande putten.                  | 14 |
| Tabel 6-1: Fasering van winning voor putten en cluster van putten. | 26 |

### Figuren

|                                                                                                                |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figuur 2-1: Geologische dwarsdoorsneden, diepe ondergrond Veendam.                                             | 7  |
| Figuur 2-2: Identificatie van de zoutlagen.                                                                    | 8  |
| Figuur 2-3: Schematische weergave van de winning van Bischofiet                                                | 9  |
| Figuur 3-1: Bodemdaling volgens het vigerend Winningsplan (2013).                                              | 12 |
| Figuur 4-1: De putten van winlocaties WHC-1 en WHC-2.                                                          | 13 |
| Figuur 4-2: Op maaiveld geprojecteerde ligging van de putten van WHC-1 (indicatie VE) en WHC-2 (indicatie TR). | 14 |
| Figuur 5-1: De ligging van de nieuwe putten ten opzichte van het zoutvoorkomen Veendam.                        | 18 |
| Figuur 5-2: Verwachte bodemdaling als gevolg van de totale zoutwinning door Nedmag.                            | 20 |
| Figuur 6-1: Bow-tie.                                                                                           | 23 |
| Figuur 6-2: Risico-matrix.                                                                                     | 25 |

### Bijlagen

|                                                     |
|-----------------------------------------------------|
| Bijlage 1: Uitgevoerde onderzoeken met korte uitleg |
| Bijlage 2: Geraadpleegde literatuur                 |
| Bijlage 3: Verklarende woordenlijst                 |

## Managementsamenvatting

In het licht van het Winningsplan 2018 van Nedmag B.V. is een risicobeoordeling opgesteld. Een dergelijke risicobeoordeling is voorgeschreven in de Mijnbouwwet en maakt duidelijk welke risico's gepaard gaan met de zoutwinning door Nedmag en of de onderscheiden stakeholders daarvan schade kunnen ondervinden.

Deze risicobeoordeling gaat in op de bestaande en nieuwe praktijk van zoutwinning door Nedmag. Anders dan de vorming van grote separate cavernes voor de winning van steenzout, leidt de winning van magnesiumchloride tot de vorming van relatief kleine (al of niet verbonden) cavernes aansluitend op magnesiumzoutlagen van variërende dikte. De winning van magnesiumchloride vindt plaats op een 1.400 tot 1.800 meter. De optredende bodemdaling is geleidelijk. De winning van zout vindt plaats over een periode van vele jaren en is verspreid over een groot gebied. Binnen de winning van magnesiumchloride door Nedmag worden vier fasen onderscheiden: de fase van ontwikkeling van een caveerne, de fase van actieve winning, de bleed-off fase en de abandonneringsfase.

Op 20 april 2018 er is vastgesteld dat in korte tijd pekkel is weggelekt uit een aantal verbonden cavernes. Nadere analyse laat zien dat er hoogstwaarschijnlijk een scheur is gevormd in één van de cavernes. Daaropvolgend zijn (succesvol gebleken) maatregelen getroffen om de situatie onder controle te krijgen. In het kader van het Winningsplan 2018 zijn meerdere onderzoeken uitgevoerd. In een aantal studies is nadrukkelijk ingegaan op het incident van april 2018 en de betekenis daarvan voor de zoutwinning door Nedmag.

In het winningsplan 2018 wordt uitgegaan van het boren van vier nieuwe putten, het continueren van de winning uit bestaande putten en het udfaseren van bestaande putten. De winning omvat een gelijkblijvend jaarlijks productievolume van 315 Kton magnesiumchloride.

Bij het in beeld brengen van de risico's van de (ondergrondse) activiteiten van Nedmag zijn in eerste instantie ongewenste situaties, de mogelijke oorzaken die ertoe leiden dat de situaties optreden en de mogelijke gevolgen ervan geïdentificeerd. Vervolgens zijn (reeds toegepaste en/of aanvullende) preventieve maatregelen benoemd. Gebruik gemaakt is van de risicomatrix uit 'De staat van de sector zout' (Staatstoezicht op de Mijnen, 2018).

Een risico is gedefinieerd als het resultaat van een kans dat een incident optreedt en het effect op de omgeving dat daarvan het gevolg is. In deze analyse is de score van de risico's tot stand gekomen voor de situatie ná het toepassen van preventieve maatregelen. Er is onderscheid gemaakt tussen generiek optredende risico's en de (specifieke) risico's voor afzonderlijke putten binnen de onderscheiden fasen van winning.

De risicobeoordeling laat zien dat met het treffen van specifieke preventieve maatregelen (bovenop 'vanzelfsprekende' basale maatregelen c.q. werkwijzen) de risico's voor het overgrote deel als laag worden gekwalificeerd.

In een aantal situaties is er een verhoogd risico gescoord voor het optreden van olie- en/of pekellekkage in de diepe ondergrond door scheurvorming in het zoutdak:

- In de bleed-off fase voor het zogenaamde TR-cluster,
- In de abandonneringsfase voor het TR-cluster, voor caveerne TR-9, voor caveerne VE-2, voor caveerne VE-3, voor de nieuwe cavernes VE-5 t/m VE-8.

Door operationele aanpassingen in de winning wordt bewerkstelligd dat in de abandonneringsfase nog slechts een beperkt restvolume pek en/of diesel via scheurvorming (als dat optreedt) kan uitstromen naar bovenliggende gesteentelagen. Hiermee wordt voorkomen dat er een situatie ontstaat die bovengronds tot schade kan leiden.

In de risicobeoordeling zijn géén activiteiten of processen samenhangend met de winning naar voren gekomen die een hoog risico scoren.

Met het treffen van de preventieve maatregelen worden risico's van de zoutwinning door Nedmag verminderd en wordt bereikt dat er sprake is van een voor mens en milieu veilige winning. De belangen van de diverse stakeholders groepen worden niet geschaad.

## 1 Introductie

In het kader van het winningsplan (Mijnbouwwet, artikel 34) moeten de risico's in beeld worden gebracht (Mijnbouwwet, artikel 35). De te beschrijven risico's zijn (artikel 35 onder g.): de risico's voor omwonenden, gebouwen en infrastructurele werken of de functionaliteit daarvan met een risicobeoordeling, voor zover het winnen van delfstoffen niet geschiedt in het continentaal plat.

Dit document vormt de risicobeoordeling bij het Nedmag Winningsplan 2018. Deze risicobeoordeling heeft meer gewicht gekregen, nu op 20 april 2018 drukverlies is geconstateerd in het zoutveld Tripscompagnie, waarbij pek en mogelijk een deel van de toegepaste dieselolie is weggestroomd naar bovenliggende lagen.

### 1.1 Doel van Nedmag B.V.

Het planmatig winnen van magnesiumzout op een voor mens en milieu veilige wijze waarbij er geen onacceptabele gevolgen optreden.

### 1.2 De stakeholders

Onderstaande tabel geeft aan welke partijen betrokken zijn bij - of invloed ondervinden van de zoutwinning door Nedmag B.V. en de doelen die zij hebben.

| Overzicht stakeholders en doelen                           |                                                                                                                                |
|------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Stakeholder                                                | Doel, c.q. belang                                                                                                              |
| Omwonenden zoutwinlocaties                                 | Veilige woonomgeving zonder schade en/of overlast                                                                              |
| Ministerie EZK                                             | Een voor mens en milieu veilige en maatschappelijk verantwoorde manier van zoutwinning en een planmatig beheer van delfstoffen |
| SodM                                                       | Een voor mens en milieu veilige en verantwoorde manier van zoutwinning                                                         |
| Gemeenten Veendam en Midden-Groningen, Provincie Groningen | Voorkomen gebouwschade en schade aan infra en landbouw                                                                         |
|                                                            | Voorkomen gezondheidsrisico's voor mens en dier                                                                                |
|                                                            | Voorkomen bodemverontreiniging                                                                                                 |
|                                                            | Economische versterking van de regio                                                                                           |
| Waterschap Hunze & Aa's                                    | Beheer van de waterhuishouding van het gebied.                                                                                 |
| Waterbedrijf Groningen                                     | Bescherming waterwingebieden, leveringszekerheid van drinkwater                                                                |
| Landeigenaren/gebruikers                                   | Voorkomen gebouwschade en vermogensschade                                                                                      |
|                                                            | Bescherming grondwatergebruik                                                                                                  |
|                                                            | Voorkomen van schade aan gewassen en/of gezondheidsschade vee                                                                  |

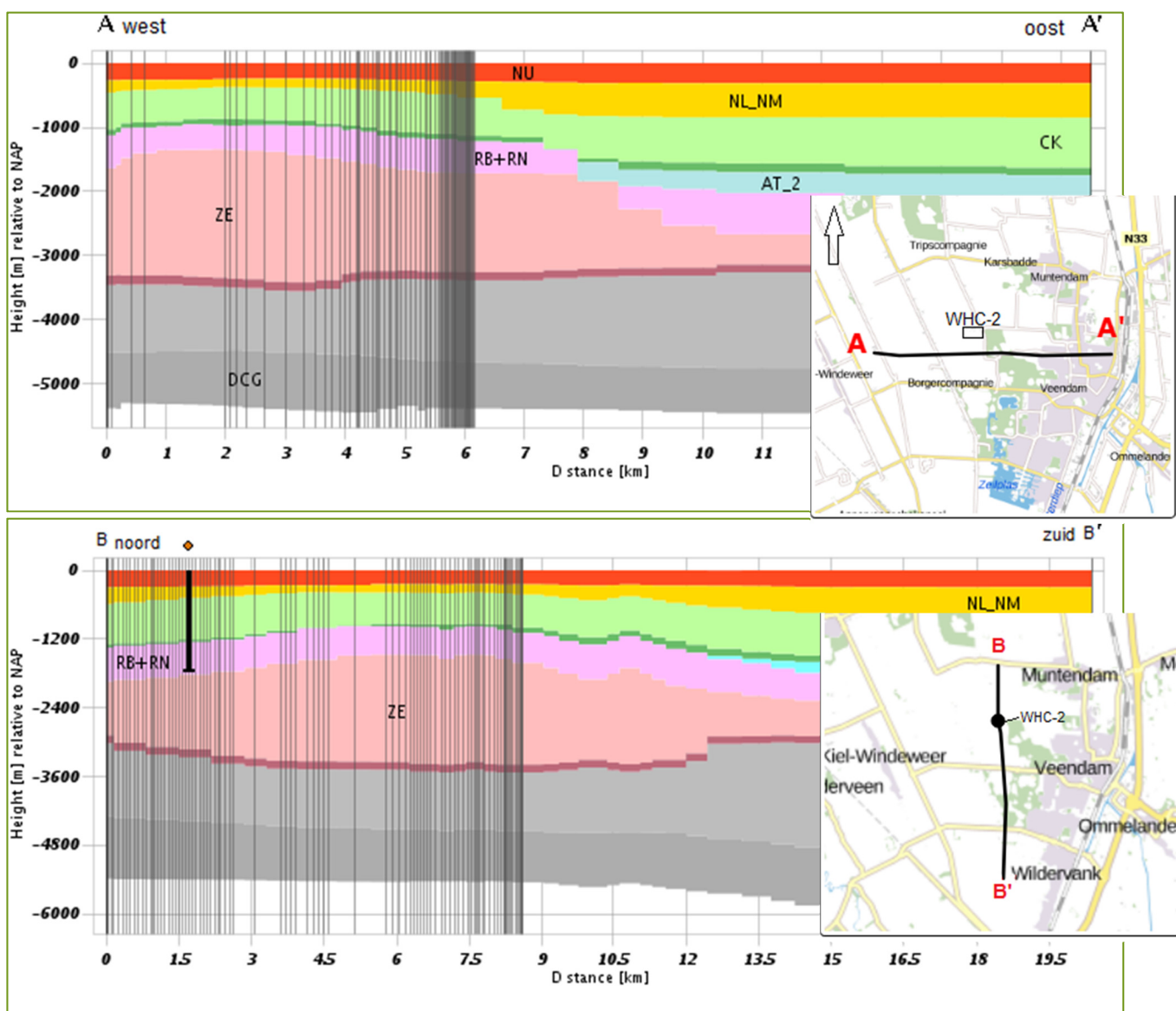
### 1.3 Leeswijzer

De wijze van zoutwinning door Nedmag wordt toegelicht in hoofdstuk 2. Hoofdstuk 3 gaat in op bodemdaling. Hoofdstuk 4 beschrijft de bestaande winning, waarna in hoofdstuk 5 op de nieuwe winning wordt ingegaan. De risicobeoordeling volgt in hoofdstuk 6. De conclusies staan weergegeven in het afsluitende hoofdstuk 7. In bijlage 3 is een verklarende woordenlijst opgenomen.

## 2 De winning

### 2.1 Geologie

Onderstaande figuren – dwarsdoorsneden - geven in twee richtingen de geologische opbouw van de ondergrond aan. Hierin is duidelijk het Zechstein-zoutkussen (indicatie ZE) bij Veendam zichtbaar, waaruit Nedmag zout wint. Het Zechstein vormt een dik pakket (meer dan 2 km) van verschillende typen zouten in een aantal te onderscheiden lagen. Slechts uit een aantal van die lagen wint Nedmag zout. Het gaat daarbij om lagen die magnesiumzouten bevatten.



Figuur 2-1: Geologische dwarsdoorsneden, diepe ondergrond Veendam.

Nu=Bovenste Noordzee-groep (Kwartair)  
 NL-NM=Onderste en Midden Noordzeegroep (Tertiair)  
 CK=Kalkgroep (Krijt)  
 AT=Brabant Formatie (Vroeg-Jura)  
 RB+RN=Bontzandsteen, Muschelkalk, Keuper (Trias)  
 ZE=Zechstein (Laat-Perm)  
 DCC-DCD-DCH=Limburg groep (Carboon)



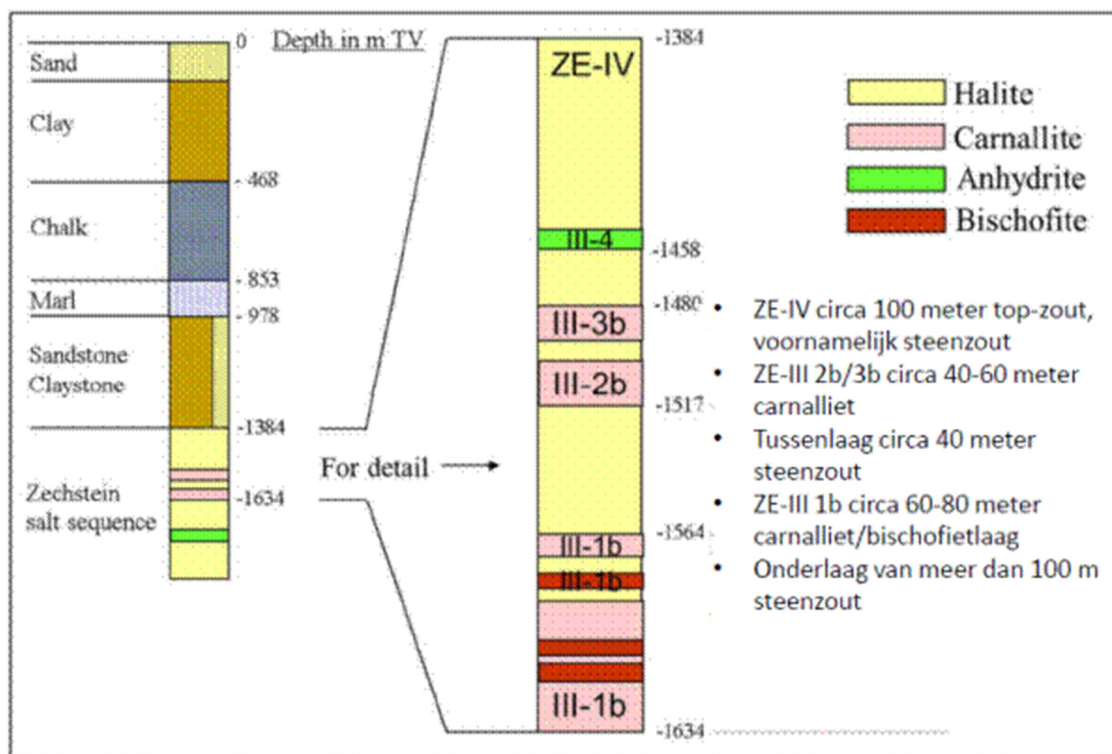
## 2.2 Algemeen

Nedmag wint magnesiumzout uit de Zechstein III zoutlagen. Binnen Zechstein III worden 3 lagen onderscheiden waar de winning zich op concentreert.

De onderste laag betreft de Zechstein III-1b laag waaruit vooral de Bischofiet zouten ( $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) worden gewonnen. De cavernes die in deze laag worden gevormd, worden aangeduid als onder-cavernes.

De lagen daarboven zijn de Zechstein III-2b/3b, die vooral Carnalliet zouten ( $\text{KMgCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) bevatten. De cavernes in de 2b/3b lagen staan in verbinding met de caverne in de 1b laag. Deze boven-cavernes ontsluiten zowel de 2b als de 3b laag.

De lagen 1b, 2b en 3b worden geologisch gezien van elkaar gescheiden door de aanwezigheid van (onder meer) steenzout ( $\text{NaCl}$ , Haliet ofwel keuzenzout). Deze opeenvolging is afgebeeld in Figuur 2-2

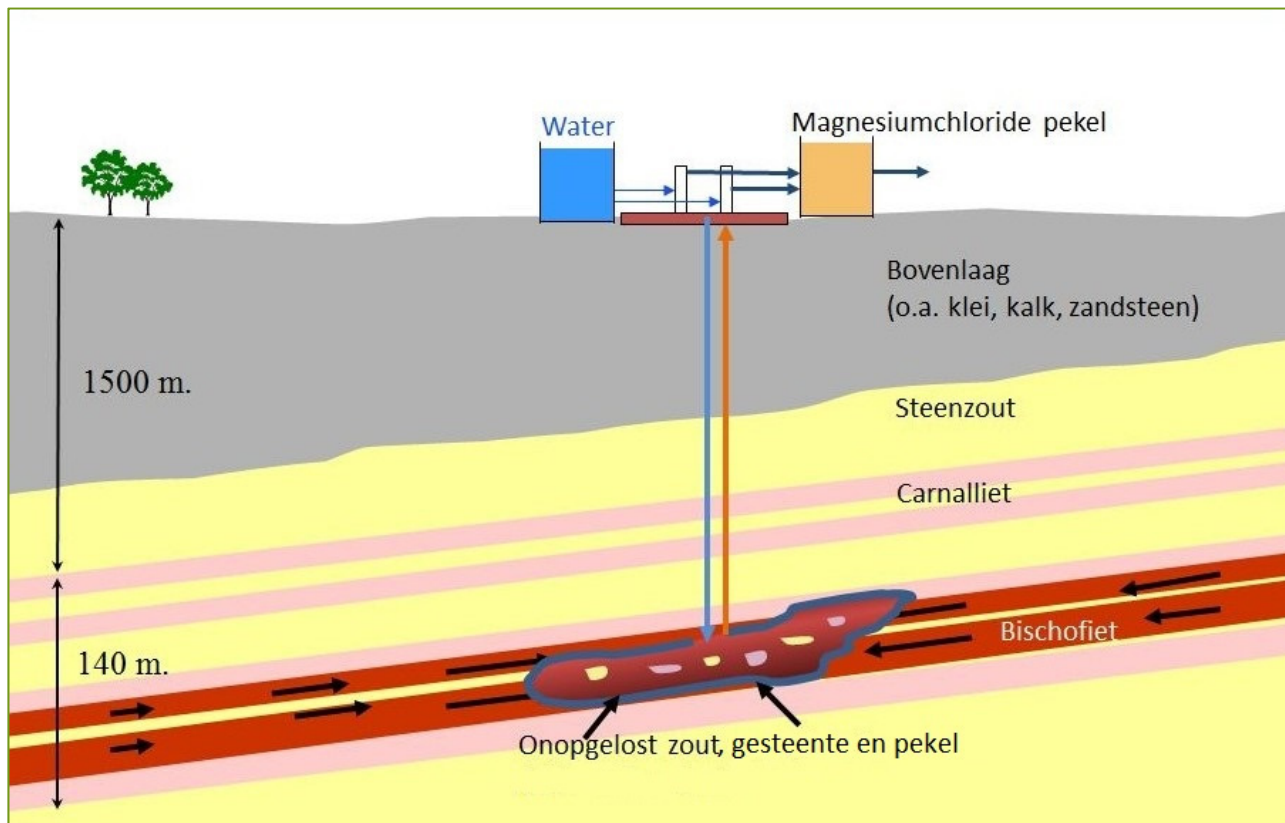


Figuur 2-2: Identificatie van de zoutlagen.

De cavernes bevinden zich op diepten tussen de 1.400 en 1.800 meter beneden het maaiveld. Op die diepte heerst er een hoge druk (gesteentedruk, ook wel lithostatische druk genoemd) en een vrij hoge temperatuur van rond de 60 tot 70 graden Celsius. Het Bischofiet gedraagt zich onder die druk en temperatuur (veel) meer als een taaie vloeistof dan het harde steenzout en is daardoor meer mobiel bij veranderende drukken. Carnalliet is veel minder mobiel. Sinds de tweede helft van de jaren negentig wint Nedmag met name Bischofiet.

Nedmag lost met name de Bischofiet zoutlagen op, die zich in de Zechstein-III-1b bevinden. De oplosbaarheid van Bischofiet is veel groter dan die van Haliet. Per geïnjecteerde kubieke meter water wordt circa 2,5 kubieke meter Bischofiet zout opgelost. Ter vergelijking, bij de winning van Haliet lost een kubieke meter water slechts 0,15 kubieke meter zout op. Omdat de Bischofiet zoutlagen slechts 5 -20 meter dik zijn groeit de caverne voornamelijk in zijwaartse richting en wordt een caverne stelsel gevormd.

De winning is weergegeven in Figuur 2-3.



Figuur 2-3: Schematische weergave van de winning van Bischofiet

## 2.3 Fasering

Bij het winnen van zout wordt water gebruikt. Schoon water wordt onder druk in de aangeboorde zoutlaag geperst. Door het oplossen van het zout ontstaat pekkel die door de hoge druk (via een buis in de winningsput) naar boven stroomt. Bij steenzout vormt zich een holte, genaamd caverne (veelal met een verticale sigaarvorm). In het geval van de winning door Nedmag vormt zich een caverne ter plaatse van Bischofiet lagen, die gevuld blijft met pekkel, precipitaat (stoffen die zijn neergeslagen) en inert materiaal (stoffen die niet oplossen). Deze eerste fase na de boring, waarin de caverne nog moet groeien en er nog geen continue (of met beperkte capaciteit) zoutwinning plaatsvindt, heet de ontwikkelingsfase.

In de daaropvolgende fase, die van actieve winning, wordt er continu water geïnjecteerd waarmee een bepaalde productiecapaciteit van verzadigde pekkel wordt gerealiseerd.

De druk in de caverne bepaalt hoe 'makkelijk' zout kan vloeien naar de caverne. De motor van dit vloeiproces is het gewicht van het bovenliggende gesteente wat leidt tot een verschil in druk tussen de caverne en de druk in het op enige afstand aanwezige zout. Deze verschillendruk veroorzaakt de squeeze van met name Bischofiet, waarbij dit zout als het ware naar de caverne toe worden geperst. Bij een hoge cavernedruk, dus met een relatief klein verschil met de lithostatische druk, verloopt dat vloeien minder makkelijk dan bij een lagere druk – de hoge druk vormt een soort rem. Door het toepassen van een druk die niet te hoog is (niet te veel remt), is te regelen dat met name het Bischofiet (uiterst) langzaam naar de caverne stroomt. In de caverne wordt het zout vervolgens opgelost en als pekkel afgevoerd.

Na afloop van de periode van actieve winning (het stoppen van het inbrengen van water) blijft dit vloeiproces ('squeeze') van Bischofiet nog enige tijd langzaam doorgaan. Het winnen of aflaten van de Carnallitische pekkel uit de boven-cavernes gaat nog langere tijd door. De dan nog gewonnen pekkel volume komt alleen

voort uit squeeze en krimp van de eerder gevormde ruimten in het netwerk inclusief de caverne. Deze fase heet de bleed-off fase. Hierbij wordt op een gecontroleerde wijze de vrije pekkel gewonnen (aflaten van pekkel). Het einde van deze fase wordt bepaald door het bereiken van de maximale krimp van de caverne ruimte, waarbij nog pekkelvolumes kunnen worden afgelaten. Het dan nog resterende pekkelvolume is relatief (heel) klein.

Hierop wordt de winning stilgelegd en de winningsput afgesloten. Dit wordt de abandonneringsfase genoemd. Na abandonnering zal de druk in de caverne langzaam toenemen tot de lithostatische druk opnieuw is bereikt. Vóórdat dit moment bereikt wordt, is het aannemelijk dat er scheurvorming optreedt, waardoor het resterende (beperkte) pekkelvolume weglekt naar de bovenliggende gesteentelagen. Vanaf het moment dat er vrijwel geen pekkel meer aanwezig is komt de druk in een caverne weer in evenwicht met de omringende gesteentedrukken en zal alleen nog (zeer) geringe bodemdaling optreden over een zeer lange periode van mogelijk duizenden jaren.

## **2.4 Hulpstof**

In de ontwikkelingsfase van een caverne wordt een hulpstof gebruikt om de groeirichting van een caverne te sturen. Dit houdt in dat verticale groei wordt geremd door het gebruik van een stof die op de pekkel drijft en zo voorkomt dat het zoutdak (bestaande uit Haliet) van een (beginnende) caverne oplost. De groeirichting is daardoor veeleer in de breedte in plaats van verticaal. Als hulpstof in de ontwikkelingsfase wordt diesel gebruikt, omdat daarin geen zout oplost en diesel zelf ook niet oplost of mengt met de pekkel. Op het moment dat de caverne een zekere grootte heeft bereikt en de pekkelconcentratie voldoende hoog is geworden, lost hierin geen Haliet meer op en verliest de diesel zijn functie. Vanaf dat moment lost het ingepompte verse water vrijwel alleen nog de Bischofiet op en blijft het zoutdak (Haliet) intact. In de fase van actieve winning is er daarom geen noodzaak meer voor het gebruik van een hulpstof. Omdat de diesel langs het dak van de caverne verwijderd is geraakt van de boring, kan het niet of beperkt worden teruggewonnen en blijft voor een groot deel achter in de diepe ondergrond.

### 3 Bodemdaling

Door de winning van zout ontstaat bodemdaling. De mate van bodemdaling hangt samen met de diepte (beneden maaiveld) van de winning en het volume van het zout dat gewonnen is. De bodemdaling is geleidelijk, immers de winning van zout vindt plaats over een periode van vele jaren en is verspreid over een groot gebied in de ondergrond.

De omvang van het gebied waarin bodemdaling optreedt, wordt bepaald door het gebied waar ondergronds het zout wordt gewonnen, in combinatie met de diepte waarop dat plaatsvindt. De optredende bodemdaling houdt verband met de verbreiding van het Bischofiet en Carnalliet in de eerdergenoemde 1b, 2b en 3b lagen in combinatie met de aanwezige cavernes en de verbindingen daartussen.

De bodemdaling wordt door modellen berekend en door metingen aan het maaiveld geverifieerd. Figuur 3-1 geeft de bodemdaling weer zoals opgenomen in het vigerende Winningsplan van Nedmag.





Figuur 3-1: Bodemdaling volgens het vigerend Winningsplan (2013).

De bodemdaling in het zoutwingsgebied van Nedmag wordt iedere twee jaar gemeten (Antea) en aan de hand van een groot aantal meetpunten bepaald. Op basis van de resultaten vindt een beoordeling plaats van de kans op het optreden van schade (Deltares<sup>1</sup>).

<sup>1</sup> Invloed van bodemdaling door zoutwinning Nedmag op bebouwing, Deltares, 2016.  
Pagina 12 van 43

## 4 Bestaande winning

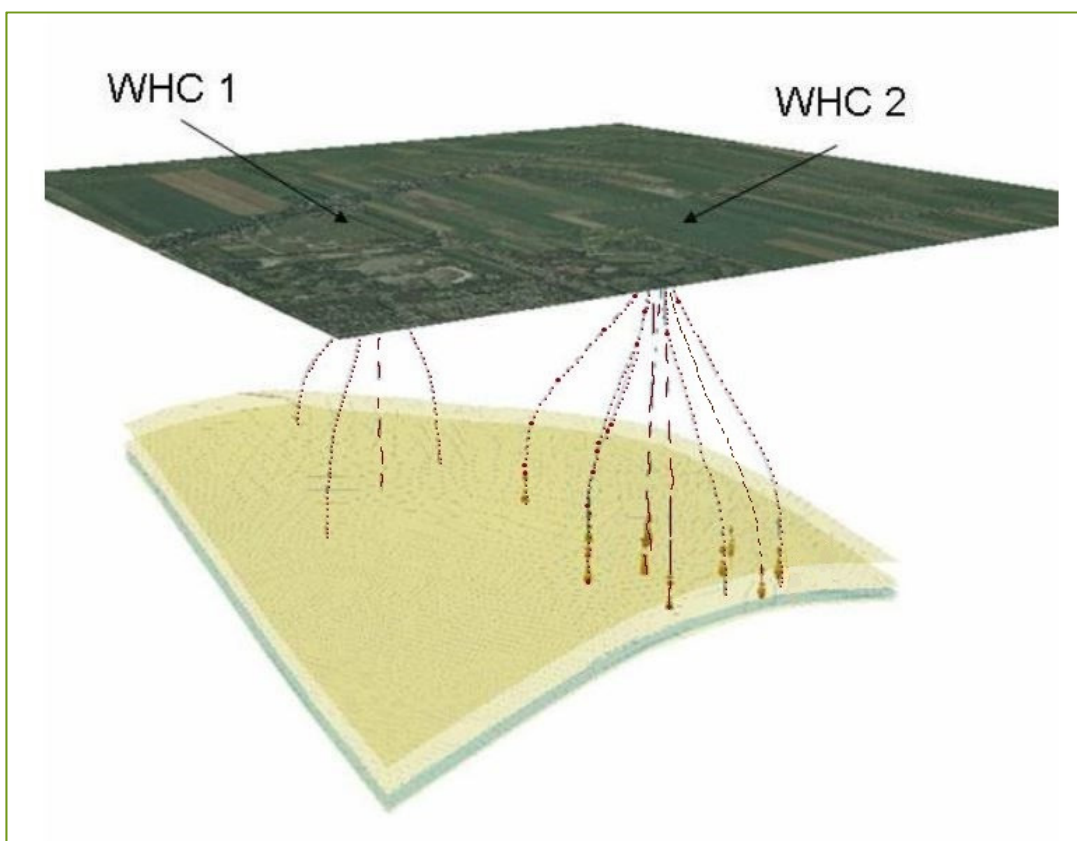
### 4.1 Winlocaties en putten

De bestaande winning van Nedmag vindt plaats vanuit twee locaties: well head center 1 en well head center 2 (WHC 1 en WHC 2). Vanaf deze winlocaties zijn meerdere putten geboord. Door de leidingen in het boorgat van een put stroomt water en/of pekkel.

WHC 1 is de oudste winlocatie, ontwikkeld in 1972 en gestart in 1977. Op WHC1 zijn vier putten aanwezig, VE-1 tot en met VE-4 (VE staat voor Veendam).

WHC-2 heeft negen putten: TR-1 tot en met TR-9 (TR staat voor Tripscompagnie). Gestart in 1982.

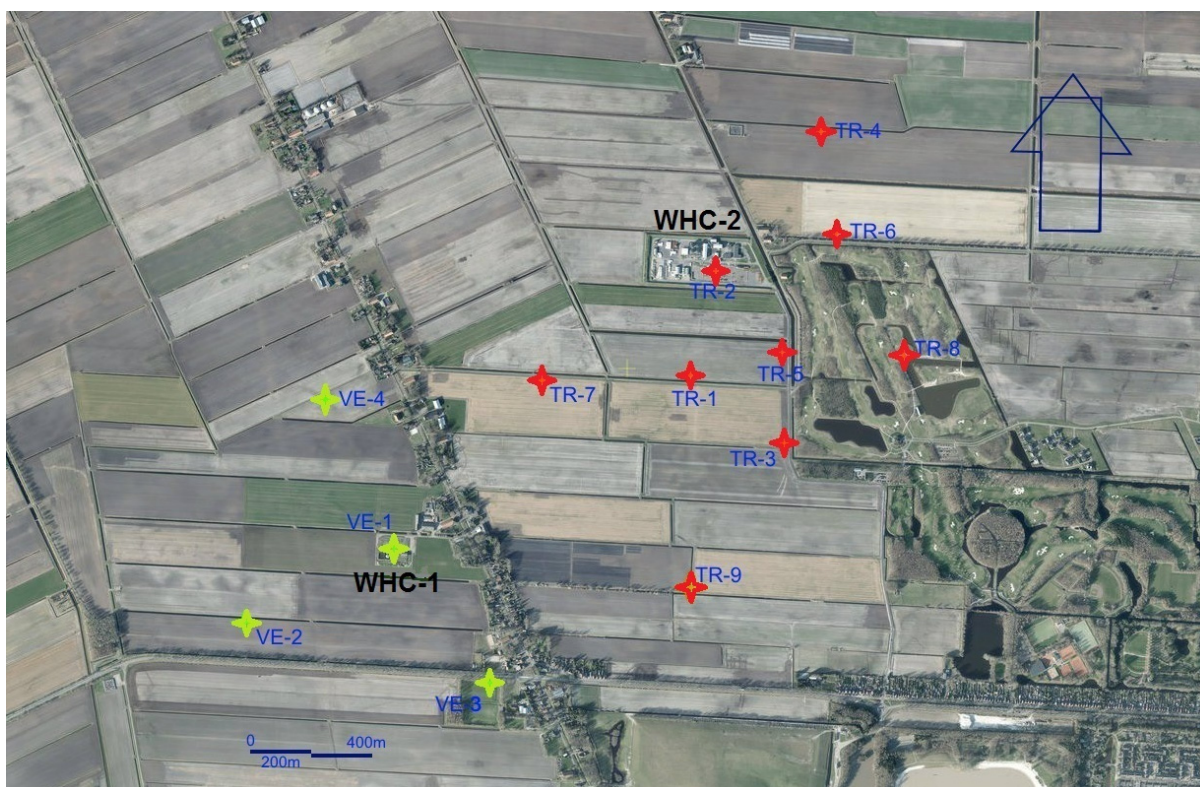
Figuur 4-1 geeft de winlocaties en de (veelal gedeveerd, of schuin geboorde) putten weer.



Figuur 4-1: De putten van winlocaties WHC-1 en WHC-2.

In figuur 4.2 is de geprojecteerde ligging op maaiveldniveau van de ondergrondse putten weergegeven.





Figuur 4-2: Op maaiveld geprojecteerde ligging van de putten van WHC-1 (indicatie VE) en WHC-2 (indicatie TR).

Elke put heeft een ondergrondse caverne. Zoals boven aangegeven wordt er onderscheid gemaakt tussen onder- en bovencavernes. Een aantal van de onder-cavernes zijn met een netwerk in de Bischofietlagen met elkaar verbonden geraakt. Er heerst één drukregime in deze cavernes, die dan beschouwd worden als een cluster. De eigenschappen van de VE- en TR-putten<sup>2</sup> staan in Tabel 4-1.

| Bron / Cluster                      | Kenmerkende / bepalende eigenschappen                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|-------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| TR-cluster<br>TR 1 t/m 8<br>en VE 4 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• TR-8 heeft alleen een onder-caverne</li> <li>• Overige cavernes hebben een onder-caverne en boven-caverne</li> <li>• Vrij volume in onder-cavernes is ongeveer 2x volume boven-cavernes</li> <li>• Vrij volume in totaal in ongeveer <math>3,6 \cdot 10^6 \text{ m}^3</math></li> </ul>                                                                                        |
| TR-9<br>(enkelvoudige bron)         | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Alleen een onder-caverne</li> <li>• Niet verbonden met TR-cluster</li> <li>• Beperkt vrij volume (ongeveer <math>0,25 \cdot 10^6 \text{ m}^3</math>)</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                |
| VE-1<br>(enkelvoudige bron)         | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Alleen kleine boven-caverne</li> <li>• Geen tubings aanwezig</li> <li>• Nauwelijks nog vrij volume aanwezig</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                         |
| Cluster VE-2 & VE-3                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Onder- en boven-caverne aanwezig</li> <li>• VE-2: winning stilgelegd en casing voorzien van cementplug</li> <li>• VE-3: Oudere put met lichtere casing</li> <li>• Vrij volume van VE-2 en VE-3 is <math>0,65 \cdot 10^6 \text{ m}^3</math></li> <li>• Nieuw inzicht (Q2 2018) leidt ertoe dat niet met zekerheid is te zeggen dat de cavernes (nog) zijn verbonden.</li> </ul> |

Tabel 4-1: Eigenschappen van de bestaande putten.

<sup>2</sup> In deze rapportage worden de term put, caverne en bron door elkaar gebruikt, maar wordt een en hetzelfde bedoeld.  
Pagina 14 van 43

## 4.2 Beschrijving van de winning

Anders dan de winning van steenzout (Halië) in Zuidwending en Heiligerlee waarbij grote solitaire cavernes ontstaan, vindt de winning van magnesiumzout door Nedmag vindt plaats vanuit relatief kleine pannenkoek vormige cavernes met een daaraan verbonden netwerk van aders.

Het ontstaan van verbindingen tussen cavernes komt voort uit helling-opwaarts gericht selectief oplossen van Bischofiet dat aanwezig is in doorlopende lagen met variërende dikten. Dit resulteert uiteindelijk in een netwerk van aders. De cavernes van het TR-cluster zijn zo via een netwerk van aders in de magnesiumzoutlagen met elkaar verbonden geraakt.

Het netwerk omvat lagen magnesiumzout die via “knijpen” (squeeze) richting (een van) de cavernes beweegt en vaste delen (minder mobiele zouten en zand, klei of kalk) die achterblijven. Het gewicht van het circa 1,5 kilometer dikke gesteentepakket bovenop het zout zorgt voor deze verplaatsing van magnesium zouten richting de cavernes. Met het oplossen en afvoeren van de magnesiumchloride houdende pekels neemt het ondergrondse volume zout (Bischofiet) af, wat zich vertaalt in een geleidelijke bodemdaling op maaiveldniveau.

Nadat een (groot) deel van de aanwezige pekels is verdwenen, zorgen de achterblijvende vaste onoplosbare delen voor ondersteuning van het zoutdak en het gesteentepakket. Deze vaste delen bieden steeds meer weerstand tegen verdere inzakking en leiden ertoe dat squeeze langzaam afneemt.

Wanneer de squeeze uit het netwerk afneemt of zelfs stopt, neemt de hoeveelheid en de druk van vrije pekels geleidelijk af waarmee het einde van de winningsmogelijkheden aanbreekt. De overgang van bleed-off naar einde winning verloopt geleidelijk en heeft als gevolg dat de mate van bodemdaling aan het maaiveld in de tijd eveneens afneemt.

Het optreden van dit mechanisme, namelijk het selectief winnen van een bepaalde hoeveelheid Bischofiet uit relatief dunne lagen uit een totaal-pakket van vele tientallen meters dikte, is de reden dat uiteindelijk slechts een bodemdaling van tientallen centimeters tot ongeveer 1 meter optreedt.

In theorie is het mogelijk dat door veranderende spanningen in het gesteente boven de caverne instorting plaatsvindt van het cavernedak. Bij instorting komt los materiaal vrij (uit de bovenliggende zout- en aardlagen) dat de ruimten opvult. Door de bulking factor (los materiaal neemt een groter volume in dan het vaste oorspronkelijke materiaal) dooft de groei naar boven toe van een instortingsholte op die diepte snel uit en ontstaat na verloop van tijd een stabiele situatie: het puin ondersteunt het bovenliggende gesteente. De bodemdaling ten gevolge van de instorting komt daarmee vrijwel tot stilstand.

Vertaald naar de winning ná de actieve fase van Nedmag betekent bovenstaande het volgende.

- In de bleed off fase wordt geen vers water meer toegevoerd maar staan de putten gecontroleerd open en kan de pekels uitstromen. Er heerst in de caverne een druk (gerelateerd aan de dichtheid van de pekels en de overdruk die geregeld wordt aan de well head) die lager is dan de lithostatische druk en die lager is dan de werkdruk tijdens de actieve winningsfase. Er vindt een geleidelijke bodemdaling plaats, mogelijk wat sneller dan tijdens de actieve winning. Geleidelijk aan neemt de squeeze af en ontstaat weerstand tegen verdere krimp van de holtes: de bodemdaling komt vrijwel tot stilstand op het moment dat de achtergebleven onoplosbare delen ondersteuning bieden aan het bovenliggend gesteente. Vanwege de afnemende druk aan de well head en het afnemende productievolume is het op enig moment voortzetten van het aflaten van vrije pekels niet langer zinvol. De winning wordt gestopt en putten worden dichtgedraaid. In de caverne resteert nog slechts een klein volume aan vrije pekels.



- Na het dichtdraaien van de putten kan besloten worden tot het definitief abandonneren van de putten. In de abandonneringsfase zal de druk in de caveerne langzaam toenemen tot vrijwel de lithostatische druk. Het is de verwachting dat vanwege de veranderde spanningstoestand in het dakgesteente de toename van druk leidt tot scheurvorming. Met het uitstromen van pekkel via deze scheur wordt de druk enigszins verlaagd. De uitstroming van pekkel beperkt zich tot de direct boven het zout gelegen lagen. Er zijn daarvan geen merkbare gevolgen anders dan het optreden van enige bodemdaling. Hierbij neemt het resterende caveerne volume steeds verder af en neemt de ondersteunende functie van het losse materiaal steeds meer toe. Met andere woorden, het risico van het sluiten van putten is het langzaam oplopen van de cavernedruk (tot bijna lithostatisch) en het ontstaan of heropenen van scheuren. Indien de scheurvorming optreedt, dan heeft dat op (middel-) lange termijn bodemdaling als gevolg. Dit zal zich voortzetten, echter steeds langzamer, totdat er uiteindelijk geen pekkel meer door de scheur ontsnapt en de druk stijgt tot lithostatisch niveau. De dan overgebleven pekkel verspreidt zich gedurende duizenden jaren langzaam over de caveerne(s) en het verbonden netwerk, met een nauwelijks waarneembare bodemdaling.

Een beheersmaatregel is – in de eindfase van bleed off fase - het langer benutten van de putten (ofwel uitstellen van de abandonneringsfase) voor het aflaten van pekkel en druk monitoring en daarmee monitoring van de krimp van de caveerne mogelijk te maken. In die overgangsfase kan worden ‘getest’ in welke mate het losse materiaal in de caveerne weerstand biedt tegen verdere volume verkleining van de cavernes en het ontstaan of heropenen van een scheur. Daarmee wordt ook de bodemdaling gecontroleerd. Door het monitoren van de druk kan bepaald worden bij welke druk scheurvorming optreedt. Er is dan een betere inschatting (in vergelijking met de situatie zonder monitoring) te maken van de in de tijd te verwachten lek volumes. Deze lek volumes zullen doordringen tot in de doorlatende lagen boven het zoutpakket.

Daar waar hierboven wordt gesproken over het heropenen van een scheur, wordt gerefereerd aan het in paragraaf 4.3 beschreven incident.

### 4.3 Incident

Op vrijdag 20 april 2018 is er onverwacht een snelle drukdaling gemeten in het TR-cluster. Een dergelijke plotselinge drukdaling is niet eerder waargenomen bij de zoutwinning door Nedmag. Na een aanvankelijke snelle daling in druk in TR-1, TR-2 en TR-5, daalde het hele cluster langzaam in druk (circa 30 bar in 2 dagen).

De meest plausibele verklaring dat de drukdaling is veroorzaakt door een lekkage van pekkel uit het cluster. Omdat het zout zelf geen pekkel kan opnemen, het niet poreus is en dus geen bergingsvolume heeft, en omdat er onder de cavernes nog een gesloten “vloer” van honderden meters zout aanwezig is, is de vrijgekomen pekkel nagenoeg zeker via een lek weggestroomd naar de gesteenteformaties boven het zout.

Een analyse van het drukverloop in de verschillende putten lijkt er op te duiden dat het incident gestart is in of rond het zoutdak van put TR-2. Door het incident was de relatie tussen druk in de caveerne en productievolume tijdelijk afwezig. Vanaf begin mei wordt er weer een duidelijke afhankelijkheid van druk en productievolumes waargenomen. Dat duidt erop dat de opening weer is gesloten. In een conservatieve benadering is berekend dat ten gevolge van het incident circa 100.000 m<sup>3</sup> pekkel is weggelekt naar bovengelegen formaties.

In verhouding tot het totale pekkel volume in het TR-cluster is dit een beperkt volume. Het TR-cluster kent (juni 2018), naast gebonden pekkel met een volume van circa 4 miljoen m<sup>3</sup> en een volume vrije pekkel van circa 3,5 miljoen m<sup>3</sup>. Het weglekken van een hoeveelheid van circa 100.000 m<sup>3</sup> vertegenwoordigt daarmee ongeveer een hoeveelheid van 1,5% van het totale volume.

Als reactie op het incident is door Nedmag de pekeldruk zoveel mogelijk naar beneden gebracht om verdere lekkage via het lek te voorkomen en de uitstroom van pekkel alleen via de putten te laten plaatsvinden. In een

nadere analyse is een drukregime vastgesteld, waarbij het opnieuw optreden van lekkages in de toekomst niet waarschijnlijk wordt geacht.

Het ontstaan van een scheur in het zoutdak en de bovenliggende gesteente formaties daarboven lijkt op dit moment de meest voor de hand liggende oorzaak om de snelle drukdaling te verklaren. Scheurvorming lijkt een gevolg te zijn van een combinatie van caverndruk en spanningen in het bovenliggende zout. Bij het TR-cluster is tijdens de operationele fase (over een periode van circa 10 jaar) de pekeldruk gestegen van 8 MPa naar 5 MPa onder de lithostatische waarde. Volgens de uitgevoerde modellering is in de periode 1993-2018 de minimum zoutspanning met 5 tot 6.5 MPa verlaagd ten opzichte van de oorspronkelijke lithostatische waarde. Doordat de pekeldrukken in de cavernes hoger werden dan de minimum spanningen in het zout is waarschijnlijk een scheur ontstaan.

Deze analyse van het incident in het TR-cluster is mede bepalend voor de risicobeoordeling van zoutwinning van de andere en toekomstige locaties, omdat het aanwijzingen geeft welke caverndrukken dienen te worden gehanteerd om herhaling van dit event te voorkomen en over de manier waarop de zoutwinning door Nedmag uiteindelijk beëindigd moet worden.

## 5 Nieuwe winning

### 5.1 Algemeen

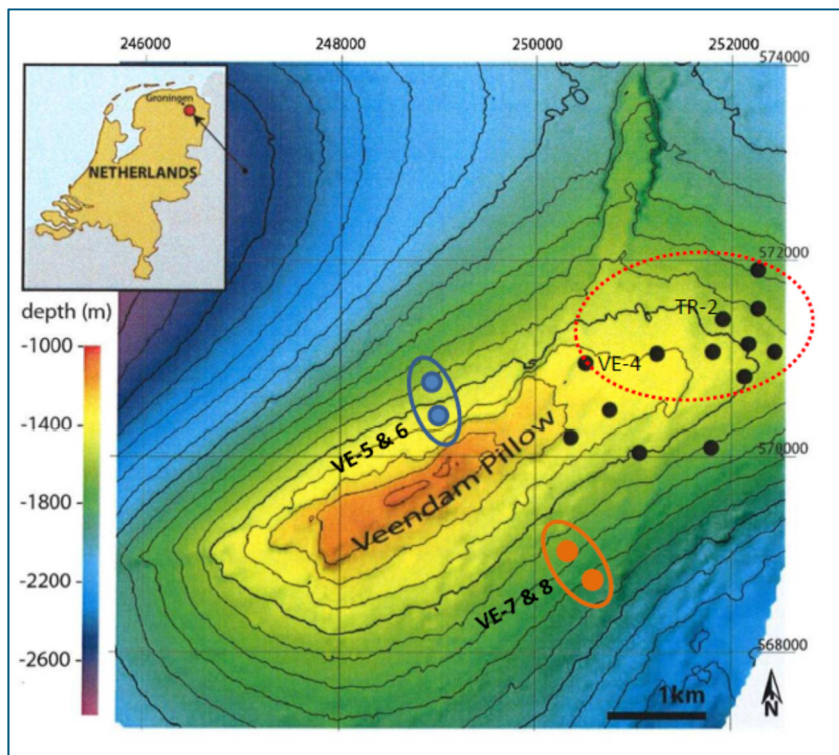
Voordat de winning kan worden gestart wordt een Winningsplan opgesteld, conform de verplichte wettelijke procedure in de Mijnbouwwet (artikel 34, lid 1). Onderdeel van het Winningsplan is een beoordeling van risico's (artikel 34, lid 4, onder b. sub 3).

In dit hoofdstuk wordt ingegaan op de uitvoering van de winning conform het Winningsplan 2018, de uitvoering van onderzoeken en de uitgangspunten van de risicobeoordeling.

### 5.2 Vier nieuwe putten

Onderdeel van het Winningsplan 2018 is het vormen van vier ondergrondse cavernes, VE-5 tot en met VE-8. De booractiviteiten worden uitgevoerd vanaf WHC-1. Door de diepe ligging van de Bischofiet en Carnalliet lagen kan er schuin ('gedevieerd') geboord worden vanaf één locatie. Zo kunnen de cavernes op voldoende afstand van elkaar gevormd worden.

De vier nieuwe putten bestaat uit twee tandems: te weten VE-5&6 en VE-7&8. De tandems worden onderling niet verbonden, echter de putten van een tandem wel. Met andere woorden, voorzien is dat een cluster VE-5&6 ontstaat en een cluster VE-7&8. De ligging ervan is weergegeven in onderstaande Figuur 5-1.



Figuur 5-1: De ligging van de nieuwe putten ten opzichte van het zoutvoorkomen Veendam.

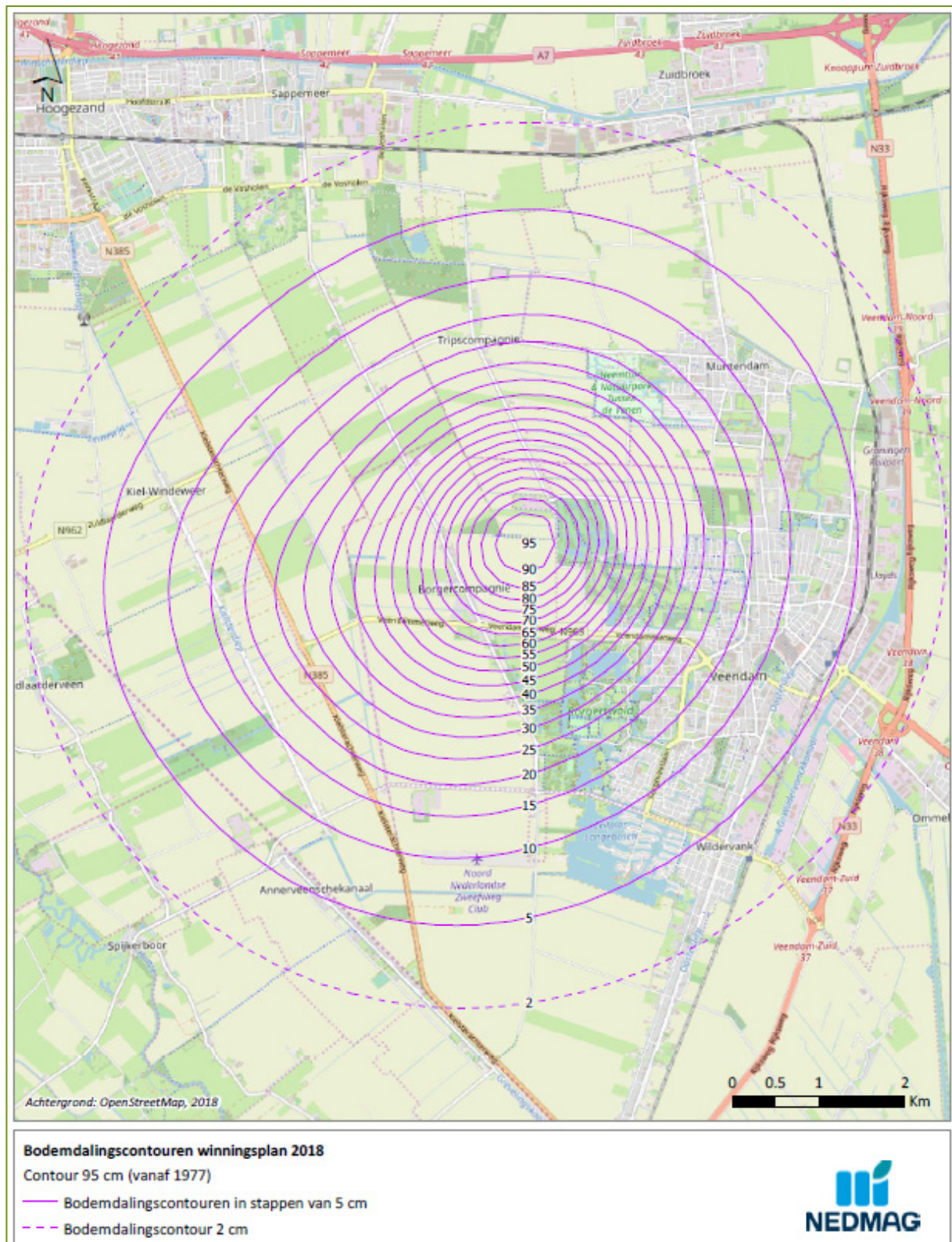
De tandems worden naar verwachting niet tegelijkertijd geboord.

De geplande bronnen VE-5 en VE-6 liggen op minimaal 1 km afstand van de overige cavernes. Hetzelfde geldt voor de bronnen VE-7 en VE-8.

### 5.3 Bodemdaling

De mogelijke bodemdaling in het jaar 2045 als gevolg van de in het Winningsplan 2018 beschreven wijze van zoutwinning is afgebeeld in onderstaande contourkaart, Figuur 5-2. Deze contourkaart is opgesteld met een conservatieve benadering, waarbij rekening gehouden is met onzekerheden in de voorspelde bodemdaling.





Figuur 5-2: Verwachte bodemdaling als gevolg van de totale zoutwinning door Nedmag.



## 5.4 Nieuwe operationele condities

Tijdens de actieve winning en de daaropvolgende bleed-off fase is er in de cavernes sprake van een relatief groot volume aan vrije pekkel. Het (ongecontroleerd) vrijkomen daarvan door vorming van een scheur vormt een risico. Door het hanteren van nieuwe operationele condities door Nedmag wordt dergelijke scheurvorming voorkomen door de cavernedruk (ofwel pekeldruk) niet te hoog te laten oplopen.

Dit houdt in dat tijdens de actieve winningsfase en de bleed-off fase een maximum pekeldruk in cavernes wordt aangehouden. Door een maximum pekeldruk van 1,5 MPa boven het de laagste voortschrijdende jaargemiddelde te hanteren, kan voorkomen worden dat de trekspanning in het zoutdak wordt overschreden. Hiermee wordt in integriteit van het zoutdak bewaakt en treedt scheurvorming niet op.

Alleen voor de bestaande caveerne VE-2 is een dergelijke beheersing van de pekeldruk niet (meer) mogelijk, omdat deze is voorzien van een cementplug

Na de abandonnering loopt de pekeldruk geleidelijk aan op door het optreden van squeeze (zoutkruip) en bodemdaling.

Wanneer de pekeldruk groter wordt dan de afgenomen spanning in het zoutdak, treedt scheurvorming op. Dit heeft geen gevolgen voor activiteiten of structuren aan het maaiveld, gelet op de diepte waarop deze scheurvorming plaatsvindt en de beperkte nog aanwezige volumes van pekkel (en/of diesel).

## 5.5 Uitgevoerde onderzoeken

In het licht van het beschreven incident (paragraaf 4.3) en het winningsplan 2018 zijn onderzoeken uitgevoerd, die zich richten op die punten in het winningsproces die gepaard gaan met het ontstaan van risico's en de beheersing ervan.

In bijlage 1 is de lijst van onderzoeken weergegeven, waarbij per onderzoek is aangegeven wat het belang is voor deze risicobeoordeling. Bijlage 2 bevat een literatuurlijst.

## 5.6 Uitgangspunten risicobeoordeling

De risico's zijn beoordeeld op basis van de beschikbare kennis en inzichten per september 2018. De nieuwe operationele omstandigheden voor het TR-cluster zijn meegenomen in deze risicobeoordeling. Ook de naar aanleiding van het incident (paragraaf 4.3) genomen beheersmaatregelen zijn onderdeel van de risicobeoordeling.

Als uitgangssituatie wordt het door Nedmag ontwikkelde scenario gehanteerd. Daarvan maken de volgende elementen deel uit.

- De productie van magnesiumchloride door winning bedraagt in totaal 1,7 Mton zout uit:
  - de bleed off van pekkel uit het TR-cluster (TR-1 t/m 8 en VE-4)
  - de actieve winning uit de putten VE-3, TR-9
  - de nieuwe putten VE 5 t/m VE-8,
- VE-5 t/m VE-8 moeten nog geboord en ontwikkeld worden,
- De hoeveelheid vrije pekkel (alle cavernes) in juni 2025 is  $4,2 \cdot 10^6 \text{ m}^3$  met daarin 2,0 Mton  $\text{MgCl}_2$ ,
- De maximale productie bedraagt 315 Kton  $\text{MgCl}_2$  per jaar (ongewijzigd ten opzichte van de afgelopen jaren en het Winningsplan 2013). Dit volume komt overeen met ongeveer  $90 \text{ m}^3/\text{uur}$ .
- Bodemdalingscontouren conform prognose voor juni 2025:
  - Bodemdaling in het diepste punt door actieve winning bedraagt 69 cm vanaf 1977 (begin van de winning) op basis van de uitgangspunten voor de productie uit squeeze, het door SGS Horizon

- ontwikkelde bodemdalingsmodel, de recente inzichten t.a.v. ondergrondse pekelvolumes en het gehanteerde productiescenario voor een productie van maximaal 315 kton per jaar,
- Potentiele bodemdaling in het diepste punt als gevolg van bleed off van alle vrije pekels levert een bodemdaling op van 88 cm (vanaf 1977). Rekening houdend met onzekerheden wordt uitgegaan van een bodemdaling in het diepste punt van 95 cm, gerekend vanaf 1977.
  - Injecteren van gips (restproduct productieproces) in het TR-cluster, gericht op het beperken van bodemdaling,
  - Het injecteren van Carnallitische pekels uit de bronnen VE-5 t/m VE-8 in de TR-bronnen, voor naverzadiging
  - Het gebruik van diesel als dakolie voor de ontwikkeling van de bronnen VE-5 t/m VE-8 dan wel een alternatief indien beschikbaar.

Na de actieve winning en de bleed off fase worden uiteindelijk alle putten geabandonneerd. Dit wordt stapsgewijs uitgevoerd op basis van de fase waarin de bron of het cluster zich bevindt. De volgorde van abandonneren is:

- Vanaf 2020: de niet meer gebruikte bronnen VE-1, VE-2 en TR-2,
- Vanaf 2025: het stapsgewijs abandonneren van de bronnen uit het TR-cluster (TR-1 t/m TR-8 en VE-4),
- Op termijn abandonneren van bronnen VE-3 en TR-9,
- Op lange termijn abandonneren van de nieuwe bronnen VE-5 t/m VE-8.

De beoogde pekelsproductie in de tijd verloopt als volgt (als startpunt is 2018 gehanteerd):

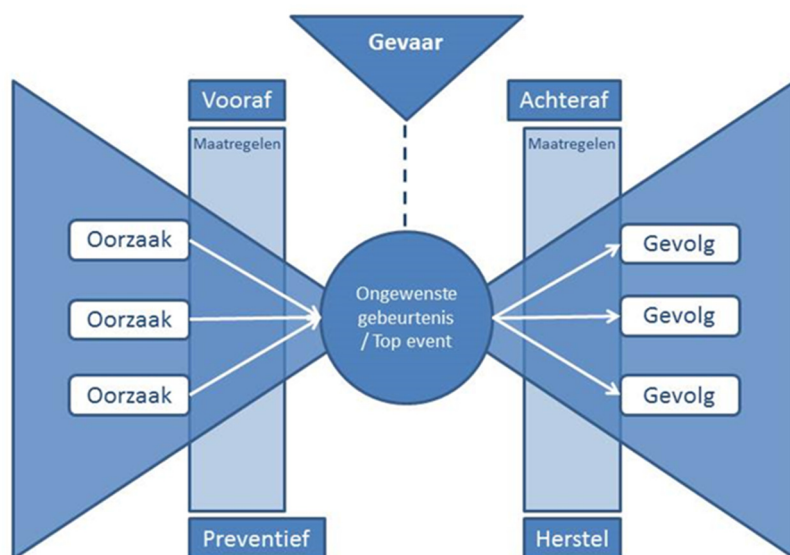
1. Aflaten pekels uit TR-cluster (bleed-off) tot ongeveer medio 2020 met 90 m<sup>3</sup>/h (= productie behoefte),
2. Vanwege drukdaling in het TR-cluster loopt (theoretisch) de flow terug tot 10 m<sup>3</sup>/h in jaar 3,
3. Ter compensatie van de afnemende productie uit het cluster worden de bronnen TR-9 en VE-3 weer in bedrijf genomen voor actieve winning, met een gezamenlijke capaciteit van 80 m<sup>3</sup>/h,
4. Vervolgens komt pekels beschikbaar uit de nieuwe bronnen VE-5 en VE-6 (eind 2020),
5. In 2022 komt pekels beschikbaar uit VE-7 en VE-8.

## 6 Beoordelen van risico's

### 6.1 Methodiek

In het algemeen worden de risico's van ondergrondse activiteiten door middel van de 'bow-tie' methode in kaart gebracht. In deze methode worden ongewenste situaties, de mogelijke oorzaken die ertoe leiden dat de situaties optreden en de mogelijke gevolgen ervan geïdentificeerd. Op basis van de eerste analyse worden vervolgens barrières bepaald die de kans op het optreden van een incident beperken (linkerzijde van de bow-tie – Figuur 1) en barrières die de gevolgen beperken indien de ongewenste situatie toch plaats vindt (rechterzijde van de bow-tie – Figuur 1).

Dergelijke barrières worden hier als preventieve maatregelen omschreven, terwijl het beperken van gevolgen plaatsvindt door het treffen van beheersmaatregelen.



Figuur 6-1: Bow-tie.

De risicobeoordeling is tot stand gekomen in een aantal werksessies met een team van deskundigen. De volgende stappen zijn gevolgd:

- In kaart brengen van de risico's die het gevolg kunnen zijn van de zoutwinning door Nedmag,
- Onderscheid aanbrengen tussen generiek optredende risico's en risico's die aan een specifieke put of cluster zijn toe te kennen,
- Het formuleren van preventieve maatregelen die een ongewenste gebeurtenis moeten voorkomen,
- Het formuleren van beheersmaatregelen die de gevolgen van een ongewenste gebeurtenis moeten beperken,
- Het scoren van de waarschijnlijkheid van het optreden van een risico (kans) en het effect daarvan. Het scoren vindt plaats voor de situatie waarin een aantal basale preventieve maatregelen is getroffen en in het geval waarin alle benoemde preventieve maatregelen zijn genomen.
- Het bepalen van het uiteindelijk risico (kans maal effect) inclusief het treffen van preventieve maatregelen.

Voor het scoren is gebruik gemaakt van de risicomatrix die gebaseerd is op de in 'De staat van de sector zout' (Staatstoezicht op de Mijnen, 2018) gebruikte risicomatrix, zie Figuur 6-2.

Op de horizontale as is de kans aangegeven van het optreden van een ongewenste gebeurtenis (of top event). Van links naar rechts is een oplopende schaal, van 'zeer kleine kans' tot 'nagenoeg zeker'.

De effecten (oplopend van onder naar boven; van 'geen tot nauwelijks effect' tot onomkeerbare schade) zijn op de verticale as aangegeven.

De laatstgenoemde stap, de effect – kans combinatie ('het risico'), vormt de uitkomst van de risicobeoordeling en wordt hier gerapporteerd. De hoogte van een risico wordt uitgedrukt in een kleur. Er is sprake van een toenemend risico gaande van groen, naar geel naar rood.

In Tabel 6 1 is aangegeven welke fasen van winning van toepassing zijn op de bestaande en toekomstige putten. Er vindt (uiteraard) geen risicobeoordeling plaats voor situaties die niet (meer) van toepassing zijn.

In paragraaf 6.2 is een tabel opgenomen met per put de risico's per onderscheiden fase van winning. De scores zijn uitgedrukt conform de termen uit de risico-matrix. Dit houdt in dat risico's worden gekwalificeerd met een groene, gele of rode kleur.

| Effect op mensen                                                                                                                    | Effect bodembeweging                                                                 | Effect verontreiniging                               | Ernst/ effect | Risico           |             |                          |                 |                | Frequentie van optreden             | Beschrijving                                                                                              |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|---------------|------------------|-------------|--------------------------|-----------------|----------------|-------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Eén of meer doden buiten bedrijfsterrein of meerdere doden op het bedrijfsterrein of meerdere zwaargewonden buiten bedrijfsterrein. | Structurele schade aan infrastructuur of gebouwen. Lichte schade aan unieke gebouwen | Verontreiniging van drinkwater                       | 5             |                  |             |                          |                 |                | F0:<br>≤ 1 per 10 <sup>6</sup> jaar | Extreem onwaarschijnlijk, tot Zeer onwaarschijnlijk in gebied met weinig bewoning.                        |
| Dodelijk ongeluk of meerdere zwaargewonden op bedrijfsterrein of één zwaargewonde buiten bedrijfsterrein.                           | Lichte schade aan infrastructuur of gebouwen                                         | Verontreiniging van grondwater                       | 4             |                  |             |                          |                 |                | F1:<br>≤ 1 per 10 <sup>5</sup> jaar | Zeer onwaarschijnlijk tot Plausibel, maar vereist dat meerdere beschermingslagen/-mechanismen falen.      |
| Ernstige verwonding van een werknemer of bezoeker op het bedrijfsterrein. Ziekenhuisopname.                                         | Vereist aanpassingen aan infrastructuur                                              | Schade aan natuur, landbouw, lokaal oppervlaktewater | 3             |                  |             |                          |                 |                | F2:<br>≤ 1 per 10 <sup>4</sup> jaar | Onwaarschijnlijk, tot Te voorzien, maar vereist het falen van meer dan één beschermingslaag /-mechanisme. |
| Gerapporteerd ongeluk. Medische behandeling, geen opname in ziekenhuis.                                                             | Meetbaar effect, weinig aanpassingen nodig                                           | Lichte, beperkte lokale schade                       | 2             |                  |             |                          |                 |                | F3:<br>≤ 1 per 10 <sup>3</sup> jaar | Vindt verafgelegen plaats tot Een enkelvoudig incident heeft in overeenkomstige industrie plaatsgehad.    |
| Geen effect tot behandeling van een kwetsuur                                                                                        | Geen tot nauwelijks meetbaar effect                                                  | Geen tot nauwelijks meetbaar effect                  | 1             |                  |             |                          |                 |                | F4:<br>≤ 1 per 10 <sup>2</sup> jaar | Vindt af en toe plaats, niet verwacht tijdens levensduur van bedrijf                                      |
|                                                                                                                                     |                                                                                      |                                                      |               |                  |             |                          |                 |                | F5:<br>≤ 1 per 10 jaar              | Waarschijnlijk; kan optreden tijdens bestaan van bedrijf                                                  |
|                                                                                                                                     |                                                                                      |                                                      |               |                  |             |                          |                 |                | F6:<br>> 1 per 10 jaar              | Frequent; Is gebeurd tijdens bestaan van bedrijf                                                          |
|                                                                                                                                     |                                                                                      |                                                      |               | 1                | 2           | 3                        | 4               | 5              |                                     |                                                                                                           |
|                                                                                                                                     |                                                                                      |                                                      |               | F0               | F1          | F2                       | F3              | F4, F5, F6     |                                     |                                                                                                           |
|                                                                                                                                     |                                                                                      |                                                      |               | Zeer kleine kans | Kleine kans | Enigszins waarschijnlijk | Waar-schijnlijk | Nagenoeg zeker |                                     |                                                                                                           |
|                                                                                                                                     |                                                                                      |                                                      |               | Kans             |             |                          |                 |                |                                     |                                                                                                           |

Figuur 6-2: Risico-matrix.



Tabel 6-1: Fasering van winning voor putten en cluster van putten.

| Bron / Cluster                        | Kenmerkende / bepalende eigenschappen                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Fase 0<br>Ontwikkeling caveerne | Fase 1<br>Actieve winning | Fase 2<br>Bleed off   | Fase 3<br>Abandonnering |
|---------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|---------------------------|-----------------------|-------------------------|
| TR-cluster<br>TR 1 t/m 8<br>plus VE 4 | <ul style="list-style-type: none"> <li>TR-8 heeft alleen een onder-caverne</li> <li>Overige cavernes hebben een onder-caverne en boven-caverne</li> <li>Vrij volume in onder-cavernes is ongeveer 2x volume boven-cavernes</li> <li>Injectie van gips (restproduct)</li> <li>In toekomst injectie van carnallitische pekkel uit VE-5 t/m VE-8</li> <li>Aflaten van vrije pekkel uit cluster (bevatte juni 2018 circa <math>3,6 \cdot 10^6</math> m<sup>3</sup> vrije pekkel)</li> </ul> | Niet meer aan de orde           | Niet meer aan de orde     | Huidige fase          | Toekomstige fase        |
| TR-9                                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Alleen een onder-caverne</li> <li>Niet verbonden met TR-cluster</li> <li>Beperkt vrij volume (ongeveer <math>0,25 \cdot 10^6</math> m<sup>3</sup>)</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Niet meer aan de orde.          | Huidige fase              | Toekomstige fase      | Toekomstige fase        |
| VE-1                                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Alleen kleine boven-caverne</li> <li>Geen tubings aanwezig</li> <li>Nauwelijks nog vrij volume aanwezig</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | Niet meer aan de orde           | Niet meer aan de orde     | Huidige fase          | Toekomstige fase        |
| VE-2                                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Winning stilgelegd (partiele abandonnering: casing voorzien van cementplug)</li> <li>Ondergronds verbonden met VE-3</li> <li>Onder- en boven-caverne aanwezig</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                         | Niet meer aan de orde           | Niet meer aan de orde     | Niet meer aan de orde | Huidige fase            |
| VE-3                                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Ondergronds verbonden met VE-2, hoewel de kans bestaat dat deze verbinding er niet (meer) is (inzicht Q2 2018)</li> <li>Vrij volume van VE-2 en VE-3 is <math>0,65 \cdot 10^6</math> m<sup>3</sup></li> <li>Onder- en boven-caverne aanwezig</li> </ul>                                                                                                                                                                                          | Niet meer aan de orde           | Huidige fase              | Toekomstige fase      | Toekomstige fase        |
| VE-5 & 6                              | <ul style="list-style-type: none"> <li>Nog te boren en ontwikkelen cavernes</li> <li>Alleen winning uit 1b laag (onder caverne)</li> <li>LCC wordt diep geplaatst in Zechstein III 2a</li> <li>Gepositioneerd om onderling verbonden te worden. Geen verbondenheid met andere cavernes.</li> </ul>                                                                                                                                                                                      | Toekomstige fase                | Toekomstige fase          | Toekomstige fase      | Toekomstige fase        |
| VE-7 & 8                              | <ul style="list-style-type: none"> <li>Nog te boren en ontwikkelen cavernes</li> <li>Alleen winning uit 1b laag (onder-caverne)</li> <li>LCC wordt diep geplaatst in Zechstein III 2a</li> <li>Gepositioneerd om onderling verbonden te worden. Geen verbondenheid met andere cavernes.</li> </ul>                                                                                                                                                                                      | Toekomstige fase                | Toekomstige fase          | Toekomstige fase      | Toekomstige fase        |

## 6.2 Risico's per fase van winning

De score van de risico's is tot stand gekomen voor de situatie waarin preventieve maatregelen zijn getroffen.

| Generiek                                                                                                                                                             | Risico |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| <b>1 Bodembeweging</b>                                                                                                                                               |        |
| 1.1 Schade als gevolg van geleidelijke bodemdaling                                                                                                                   |        |
| 1.2 Schade als gevolg van ongelijkmatige bodemdaling (sinkhole).                                                                                                     |        |
| 1.3 Schade als gevolg van ongelijkmatige bodemdaling (verzakking).<br>effect op grondwaterpeil<br>effect op bouwwerken (scheefstand)<br>effect op landbouw en natuur |        |
| 1.4 Schade als gevolg van trillingen                                                                                                                                 |        |
| 1.5 Versterkt door bodemdaling gaswinning                                                                                                                            |        |
| <b>2 Lekkage uit transportleidingen</b>                                                                                                                              |        |
| 2.1 Lekkage van water                                                                                                                                                |        |
| 2.2 Lekkage van pek                                                                                                                                                  |        |
| <b>3 Lekkage van diesel</b>                                                                                                                                          |        |
| 3.1 Ondergronds vrijkomen van diesel bij cave                                                                                                                        |        |
| 3.2 Vrijkomen van diesel bij well heads                                                                                                                              |        |
| <b>4 Schade aan well head</b>                                                                                                                                        |        |
| 4.1 Schade aan wellhead                                                                                                                                              |        |

| Fase 0   | Ontwikkeling cave                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Risico |
|----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| <b>5</b> | <b>Specifieke risico's cluster VE-5 &amp; VE-6, VE-7 &amp; VE-8 (nieuw)</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |        |
| 5.1      | Lekkage (pek en/of olie) uit cave als gevolg van:<br>a. Scheur in dak, instorting dak<br>b. Oplossen van het dak                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |        |
| 5.2      | Lekkage uit de putten<br>a. Diesellekkage langs casing<br>b. Diesellekkage door casing, onder surface casing shoe<br>c. Diesellekkage door casing, boven surface casing shoe<br>d. Blow out met diesel (en pek) a.g.v. well head defect<br>e. Diesellekkage (significant) a.g.v. well head defect<br>f. Pekellekkage langs casing<br>g. Pekellekkage door casing, onder surface casing shoe<br>h. Pekellekkage door casing, boven surface casing shoe<br>i. Blow out met pek a.g.v. well head defect<br>j. Pekellekkage (significant) a.g.v. well head defect |        |

| Fase 1   | Actieve winning                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Risico | Fase 1   | Actieve winning                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Risico |
|----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| <b>6</b> | <b>Specifieke risico's TR-9 (onder-caverne)</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |        | <b>9</b> | <b>Specifieke risico's VE-7 en VE-8 (nieuwe onder-cavernes)</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |        |
| 6.1      | Lekkage (pekel en/of olie) uit caverne als gevolg van:<br>a. Scheur in dak, instorting dak<br>b. Oplossen van het dak<br>c. Aansluiting bij TR-cluster                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |        | 9.1      | Lekkage (pekel en/of olie) uit caverne als gevolg van:<br>a. Scheur in dak, instorting dak<br>b. Oplossen van het dak                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |        |
| 6.2      | Lekkage uit de put en/of verbuizing<br>a. Diesellekkage uit caverne langs casing<br>b. Blow out met diesel (en pekel) a.g.v. well head defect<br>c. Diesellekkage (significant) a.g.v. well head defect<br>d. Pekellekkage langs casing<br>e. Pekellekkage door casing, onder surface casing shoe<br>f. Pekellekkage door casing, boven surface casing shoe<br>g. Blow out met pekel a.g.v. well head defect<br>h. Pekellekkage (significant) a.g.v. well head defect    |        | 9.2      | Lekkage uit de putten en/of verbuizing<br>a. Diesellekkage uit caverne langs casing<br>b. Blow out met diesel (en pekel) a.g.v. well head defect<br>c. Diesellekkage (significant) a.g.v. well head defect<br>d. Pekellekkage langs casing<br>e. Pekellekkage door casing, onder surface casing shoe<br>f. Pekellekkage door casing, boven surface casing shoe<br>g. Blow out met pekel a.g.v. well head defect<br>h. Pekellekkage (significant) a.g.v. well head defect |        |
| <b>7</b> | <b>Specifieke risico's VE-3 (onder- en boven-caverne)</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |        |          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |        |
| 7.1      | Lekkage (pekel en/of olie) uit caverne als gevolg van:<br>a. Scheur in dak, instorting dak<br>b. Oplossen van het dak<br>c. Aansluiting bij TR-cluster                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |        |          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |        |
| 7.2      | Lekkage uit de put en/of verbuizing<br>a. Diesellekkage uit caverne langs casing<br>b. Blow out met diesel (en pekel) a.g.v. well head defect<br>c. Diesellekkage (significant) a.g.v. well head defect<br>d. Pekellekkage langs casing<br>e. Pekellekkage door casing, onder surface casing shoe<br>f. Pekellekkage door casing, boven surface casing shoe<br>g. Blow out met pekel a.g.v. well head defect<br>h. Pekellekkage (significant) a.g.v. well head defect    |        |          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |        |
| <b>8</b> | <b>Specifieke risico's VE-5 en VE-6 (nieuwe onder-cavernes)</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |        |          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |        |
| 8.1      | Lekkage (pekel en/of olie) uit caverne als gevolg van:<br>a. Scheur in dak, instorting dak<br>b. Oplossen van het dak                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |        |          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |        |
| 8.3      | Lekkage uit de putten en/of verbuizing<br>a. Diesellekkage uit caverne langs casing<br>b. Blow out met diesel (en pekel) a.g.v. well head defect<br>c. Diesellekkage (significant) a.g.v. well head defect<br>d. Pekellekkage langs casing<br>e. Pekellekkage door casing, onder surface casing shoe<br>f. Pekellekkage door casing, boven surface casing shoe<br>g. Blow out met pekel a.g.v. well head defect<br>h. Pekellekkage (significant) a.g.v. well head defect |        |          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |        |

| Fase 2    | Bleed-off fase                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | Risico | Fase 2    | Bleed-off fase                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | Risico |
|-----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|-----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| <b>10</b> | <b>Specifieke risico's cluster TR-1 t/m TR-8 en VE-4</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |        | <b>14</b> | <b>Specifieke risico's VE-5 en VE-6 (nieuwe onder-cavernes)</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |        |
| 10.1      | Lekkage (pekkel en/of olie) uit caveerne als gevolg van:<br>a. Scheur in dak, instorting dak                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |        | 14.1      | Lekkage (pekkel en/of olie) uit caveerne als gevolg van:<br>a. Scheur in dak, instorting dak                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |        |
| 10.2      | Lekkage uit de putten en/of verbuizing<br>a. Diesellekkage uit caveerne langs casing<br>b. Blow out met diesel (en pekkel) a.g.v. well head defect<br>c. Diesellekkage (significant) a.g.v. well head defect<br>d. Pekellekkage langs casing<br>e. Pekellekkage door casing, onder surface casing shoe<br>f. Pekellekkage door casing, boven surface casing shoe<br>g. Blow out met pekkel a.g.v. well head defect<br>h. Pekellekkage (significant) a.g.v. well head defect |        | 14.2      | Lekkage uit de putten en/of verbuizing<br>a. Diesellekkage uit caveerne langs casing<br>b. Blow out met diesel (en pekkel) a.g.v. well head defect<br>c. Diesellekkage (significant) a.g.v. well head defect<br>d. Pekellekkage langs casing<br>e. Pekellekkage door casing, onder surface casing shoe<br>f. Pekellekkage door casing, boven surface casing shoe<br>g. Blow out met pekkel a.g.v. well head defect<br>h. Pekellekkage (significant) a.g.v. well head defect |        |
| <b>11</b> | <b>Specifieke risico's TR-9 (onder-caverne)</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |        | <b>15</b> | <b>Specifieke risico's VE-7 en VE-8 (nieuwe onder-cavernes)</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |        |
| 11.1      | Lekkage (pekkel en/of olie) uit caveerne als gevolg van:<br>a. Scheur in dak, instorting dak<br>b. Aansluiting op TR-cluster                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |        | 15.1      | Lekkage (pekkel en/of olie) uit caveerne als gevolg van:<br>a. Scheur in dak, instorting dak                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |        |
| 11.2      | Lekkage uit de put en/of verbuizing<br>a. Diesellekkage uit caveerne langs casing<br>b. Blow out met diesel (en pekkel) a.g.v. well head defect<br>c. Diesellekkage (significant) a.g.v. well head defect<br>d. Pekellekkage langs casing<br>e. Pekellekkage door casing, onder surface casing shoe<br>f. Pekellekkage door casing, boven surface casing shoe<br>g. Blow out met pekkel a.g.v. well head defect<br>h. Pekellekkage (significant) a.g.v. well head defect    |        | 15.2      | Lekkage uit de putten en/of verbuizing<br>a. Diesellekkage uit caveerne langs casing<br>b. Blow out met diesel (en pekkel) a.g.v. well head defect<br>c. Diesellekkage (significant) a.g.v. well head defect<br>d. Pekellekkage langs casing<br>e. Pekellekkage door casing, onder surface casing shoe<br>f. Pekellekkage door casing, boven surface casing shoe<br>g. Blow out met pekkel a.g.v. well head defect<br>h. Pekellekkage (significant) a.g.v. well head defect |        |
| <b>12</b> | <b>Specifieke risico's VE-1 (boven-caverne)</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |        |           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |        |
| 12.1      | Lekkage (pekkel en/of olie) uit caveerne als gevolg van:<br>a. Scheur in dak, instorting dak                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |        |           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |        |
| 12.2      | Lekkage uit de put en/of verbuizing<br>a. Diesellekkage uit caveerne langs casing<br>b. Blow out met diesel (en pekkel) a.g.v. well head defect<br>c. Diesellekkage (significant) a.g.v. well head defect<br>d. Pekellekkage langs casing<br>e. Pekellekkage door casing, onder surface casing shoe<br>f. Pekellekkage door casing, boven surface casing shoe<br>g. Blow out met pekkel a.g.v. well head defect<br>h. Pekellekkage (significant) a.g.v. well head defect    |        |           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |        |
| <b>13</b> | <b>Specifieke risico's VE-3 (onder- en boven-caverne)</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |        |           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |        |
| 13.1      | Lekkage (pekkel en/of olie) uit caveerne als gevolg van:<br>a. Scheur in dak, instorting dak<br>b. Aansluiting op TR-cluster                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |        |           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |        |
| 13.2      | Lekkage uit de put en/of verbuizing<br>a. Diesellekkage uit caveerne langs casing<br>b. Blow out met diesel (en pekkel) a.g.v. well head defect<br>c. Diesellekkage (significant) a.g.v. well head defect<br>d. Pekellekkage langs casing<br>e. Pekellekkage door casing, onder surface casing shoe<br>f. Pekellekkage door casing, boven surface casing shoe<br>g. Blow out met pekkel a.g.v. well head defect<br>h. Pekellekkage (significant) a.g.v. well head defect    |        |           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |        |

| Fase3     | Abandonneringsfase                                                                           | Risico |
|-----------|----------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| <b>16</b> | <b>Specifieke risico's cluster TR-1 t/m TR-8 en VE-4</b>                                     |        |
| 16.1      | Lekkage (pekel en/of olie) uit caveerne als gevolg van:<br>a. Scheur in dak                  |        |
| 16.2      | Lekkage uit de putten<br>a. Diesellekkage langs de casing<br>b. Pekellekkage langs de casing |        |
| <b>17</b> | <b>Specifieke risico's TR-9 (onder-caverne)</b>                                              |        |
| 17.1      | Lekkage (pekel en/of olie) uit caveerne als gevolg van:<br>a. Scheur in dak                  |        |
| 17.2      | Lekkage uit de put<br>a. Diesellekkage langs de casing<br>b. Pekellekkage langs de casing    |        |
| <b>18</b> | <b>Specifieke risico's VE-1 (kleine boven-caverne)</b>                                       |        |
| 18.1      | Lekkage (pekel en/of olie) uit caveerne als gevolg van:<br>a. Scheur in dak                  |        |
| 18.2      | Lekkage uit de put<br>a. Diesellekkage langs de casing<br>b. Pekellekkage langs de casing    |        |
| <b>19</b> | <b>Specifieke risico's VE-2 (stilgelegd, cementplug)</b>                                     |        |
| 19.1      | Lekkage (pekel en/of olie) uit caveerne als gevolg van:<br>a. Scheur in dak                  |        |
| 19.2      | Lekkage uit de put<br>a. Diesellekkage langs de casing<br>b. Pekellekkage langs de casing    |        |
| <b>20</b> | <b>Specifieke risico's VE-3 (onder- en boven-caverne)</b>                                    |        |
| 20.1      | Lekkage (pekel en/of olie) uit caveerne als gevolg van:<br>a. Scheur in dak                  |        |
| 20.2      | Lekkage uit de put<br>a. Diesellekkage langs de casing<br>b. Pekellekkage langs de casing    |        |
| <b>21</b> | <b>Specifieke risico's VE-5 t/m VE-8 (nieuwe onder-cavernes)</b>                             |        |
| 21.1      | Lekkage (pekel en/of olie) uit caveerne als gevolg van:<br>a. Scheur in dak                  |        |
| 21.2      | Lekkage uit de putten<br>a. Diesellekkage langs de casing<br>b. Pekellekkage langs de casing |        |



### 6.3 Bespreking generieke risico's

#### *Algemeen*

Generieke risico's gelden voor alle cavernes en voor de daaraan verbonden infrastructuur als leidingen, verbuizingen en well heads. Met andere woorden, voor generieke risico's bestaat geen onderscheid per caverne.

Generieke risico's zijn daarmee ook van toepassing op het optreden van bodembeweging. Immers bodembeweging is een gevolg van zoutwinning uit alle cavernes en voor iedere fase. Onder het begrip bodembeweging vallen zowel het optreden van bodemdaling en van bodemtrillingen.

#### *Bodembeweging*

Bij zoutwinning zoals door Nedmag wordt een zeker volume aan zouten uit de diepe ondergrond weggehaald. Dit leidt tot een geleidelijke inzakking van de bovenliggende gesteentepakketten met een bodemdaling aan het maaiveld tot gevolg. Om de effecten op (geleidelijke) bodemdaling in beeld te brengen is voorafgaand aan de winning een modelstudie verricht.

De modelstudie is gebaseerd op de uitkomsten van de periodiek uitgevoerde waterpasmetingen, waarmee bodemdaling is vastgesteld. Het totale volume van de winning wordt afgestemd op een toelaatbare geachte bodemdaling. Een dergelijke modelstudie wordt vergeleken met of geijkt aan uitgevoerde hoogtemetingen aan bebouwing ter plaatse (waterpassing). Zo draagt een regelmatig modelleren van bodemdaling bij aan aanpassing van de winning en kan een ontoelaatbaar geachte bodemdaling worden voorkomen.

Op basis van een betrouwbare voorspelling van bodemdaling kan met het Waterschap tijdig afspraken worden gemaakt over aanpassingen aan het peil van grond- en oppervlaktewater, zodat peilverschillen binnen de perken blijven en het optreden van schade aan bebouwing, landbouwgronden en/of infrastructuur wordt voorkomen. De maatregelen die daarvoor nodig zijn worden door Nedmag gefinancierd.

Door tijdens de winning periodiek waterpasmetingen uit te voeren, worden eventuele afwijkingen in de verwachte hoogteverschillen die tot schade kunnen leiden, tijdig gesignaleerd.

Hoe dieper de winning uit een zoutpakket plaatsvindt, hoe minder risico bestaat op ongelijkmatige verzakkingen aan de bovengrond vanwege de slechts flauwe doorbuiging zonder scherpe overgangen van de gesteentepakketten boven de caverne. Dit leidt tot vrijwel onmerkbare verschillen in hoogte aan maaiveld. Alleen een geleidelijke, lokale verandering van het grondwaterpeil zal een indicatie zijn voor bodemdaling.

Door het gebruik van een olielaag bovenop de pekkel wordt in de ontwikkelingsfase de groeirichting van de caverne gestuurd. Met zo'n afdekkende olielaag wordt voorkomen dat een caverne ongecontroleerd in de hoogte groeit, waardoor het bovenliggende Haliëtzoutdak te ver oplost, daarmee zijn sterkte verliest en in kan storten.

Bij ondiepe cavernes kan in theorie een zich naar boven verplaatsende instorting op den duur tot een sinkhole leiden. Aangezien de cavernes van Nedmag zich op grote diepte bevinden zal vanwege de 'bulking factor' (los materiaal neemt een groter volume in dan het vaste oorspronkelijke materiaal) deze instortingsruimte (als die al ontstaat) niet naar het maaiveld kunnen doorgroeien.

Ongelijkmatige bodemdaling wordt voorkomen door op een gecontroleerde wijze de zoutwinning te spreiden over een groter gebied. Het aan de ondergrond onttrokken zoutvolume komt tot stand door een verdeling over meerdere winningsputten, aanwezig over een groter gebied.

Daarbij geldt dat onregelmatigheden (zijnde de lokale cavernes) die door zoutwinning in de diepe ondergrond ontstaan, zich aan maaiveld uiten als een gelijkmatige bodemdalingsschijf. Dit is een gevolg van het meebuigen van het boven de cavernes liggende gesteentepakket. Hoe groter het gebied (binnen het zoutkussen) waarover die diepe winning plaatsvindt, hoe gelijkmatiger de vorm van de bodemdalingsschijf.

Bodemtrillingen kunnen ontstaan door reactivering van bestaande (fossiele) breukvlakken. Door middel van geologisch onderzoek zijn de breukvlakken in beeld gebracht. Uit geo-mechanische studies (Urai) blijkt dat het zeer onwaarschijnlijk is dat deze (fossiele) breuken gereactiveerd worden door de veranderende spanningstoestand samenhangend met de daling van het bovenliggende gesteentepakket als gevolg van de zoutwinning.

In theorie kan door het lekken van pekkel uit cavernes de poriëndruk in het bovenliggend gesteente toenemen en leiden tot het activeren van een eventueel aanwezige (fossiele) breuk. Nieuw geo-mechanisch onderzoek (Urai) heeft aangetoond dat ook dit zeer onwaarschijnlijk is. De kans op merkbare trillingen is daarmee uiterst klein.

Met nieuwe operationele condities (paragraaf 5.4) wordt voorkomen dat lekkage van cavernevloeistof via een nieuwe scheur naar het bovenliggend gesteente kan optreden, waardoor een (abrupte) toename van de poriëndruk onmogelijk wordt.

Opgemerkt wordt dat aardbevingstrillingen vrijwel onbekend zijn bij zoutwinning door oplossing. Blijkbaar leiden de condities die optreden bij deze vorm van zoutwinning vrijwel nooit tot merkbare reactivering van oude breuken in het gesteente boven cavernes.

Bodemdaling als gevolg van dit type diepe zoutwinning kan onder bepaalde omstandigheden mogelijk negatieve gevolgen hebben voor de directe omgeving. In het rapport naar bouwkundige schades (TUDelft) wordt geconcludeerd dat bodemdaling aan het maaiveld als gevolg van de diepe zoutmijnbouw geen rol speelt bij het ontstaan van schade door zettingen. De door de bodemdaling veroorzaakte hellingen, krommingen en verlengingen in de bodem of in een gebouw zijn hiervoor te gering. Dit geldt ook voor locaties met een zeer lokale, relatief diepe bodemdalingskom en voor locaties met zogenaamde gestapelde mijnbouwactiviteiten, zoals nabij Veendam, waar gaswinning en zoutmijnbouw beiden een effect kunnen hebben.

Met het oog op de bevindingen van Deltares en TUDelft wordt geconcludeerd dat het gebied met effecten van bodemdaling door de bestaande winning van Nedmag wordt begrensd door de 2 cm contour (de gestippelde lijn in Figuur 3 1). Alleen daarbinnen zijn effecten door bodemdaling aan de orde zoals die hierboven zijn beschreven.

#### *Lekkages uit transportleidingen*

Naast risico's die samenhangen met processen in de ondergrond zijn er beheersmaatregelen te treffen voor risico's aan het maaiveld. Om lekkage van water en/of pekkel te vermijden wordt uitgegaan van het gebruik van deugdelijk leidingwerk (conform NRB), het monitoren van druk en verpompte volumes en het periodiek controleren van het tracé tussen WHC-1 en WHC-2. In dat kader is er het Beheersplan ondergrondse leidingen en vindt er regulier onderhoud plaats.

Stalen leidingen die voor hoge druk transport van pekkel en water, hebben een kathodische bescherming waarmee aantasting door corrosie wordt voorkomen.

Voor transport onder lage druk worden kunststofleidingen gebruikt die ongevoelig zijn voor corrosie. Voor beide typen leidingen geldt dat met debietmeting en drukverschilmeting (aan begin en einde) een breuk of lek kan worden gedetecteerd.

Om te voorkomen dat een spill van diesel bij de well heads optreedt, wordt uitgegaan van vloeistofdichte voorzieningen (conform NRB) en deugdelijk leidingwerk.

Lekkage uit putten kan betrekking hebben op pekkel en op dieselolie. Door het toepassen van deugdelijk leidingwerk en aansluitingen, het monitoren van druk, annuli-drukken en vloeistoffen, het registreren van het volume van de pekkelstroom, het uitvoeren van operationele metingen en controles (of inspecties) en het tijdig plannen en uitvoeren van workovers, wordt lekkage vermeden.

WHC-1 en WHC-2 zijn niet toegankelijk voor derden. Aan te brengen aanrijbeveiliging voorkomt schade aan de well heads.

Voor de in deze risicobeoordeling besproken generieke aspecten is er geen sprake van (verhoogde) risico's.

## 6.4 Toelichting risico's bij caverne ontwikkeling

Na het boren van de putten van winningslocaties VE-5 t/m VE-8 moeten de cavernes de eerste fase – ontwikkeling – ondergaan. Hierbij zijn de volgende risico's aan te wijzen.

### *Olielekkage en pekellekkage*

Lekkage van olie en pekkel uit een caverne kan het gevolg zijn van een scheur in het dak, instorting van het dak en/of het oplossen van het dak. Scheur en instorting worden voorkomen door het beheersen van het drukregime, waarbij er geen plotselinge toe- of afnames in druk optreden, die aanleiding zijn voor het ontstaan van te grote (boog)spanningen in het dak. Tevens wordt met het beperken van de hoeveelheid injectiewater de grootte van de caverne beheerst, zodat de overspanning van het dak beperkt blijft. Gaandeweg de winning, met het geleidelijk groeien van de caverne, kunnen te hoge spanningen in het dak worden voorkomen door het voldoende aanpassen van de druk op de berekende initiatie-spanning waarboven een scheur kan optreden.

Voor de nieuwe putten VE-5 t/m VE-8 geldt daarnaast dat de Zechstein III 2b/3b lagen niet worden geloofd, zodat er een relatief dik zoutdak blijft bestaan van circa 180 meter. Om het oplossen van het dak te beletten wordt de injectie van water voldoende diep onder de Zechstein III 2a laag (haliet) uitgevoerd. Daarnaast verhindert in de ontwikkelfase het gebruik van een oliedeken het oplossen van het haliet zoutdak.

Om er zeker van te zijn dat er geen cavernevorming optreedt in de Zechstein III 2b/3b lagen moet het oplossen van het onderliggende Zechstein III 2a haliet worden vermeden. Daarop wordt monitoring door middel van metingen en registratie toegepast.

Om het lekken van olie te vermijden is het wenselijk om het oliegebruik te beperken of zelfs niet toe te passen. Waar mogelijk wordt olie teruggenomen ter reductie van het ongewenst weglekken.

### *Lekkage uit putten*

Bij lekkage uit de putten zijn mogelijk zowel olie als pekkel betrokken. Er zijn meerdere paden te onderscheiden waarlangs lekkage kan optreden. Om dat te ondervangen wordt een aantal maatregelen getroffen, zoals het cementeren van de casings bij aanleg van de putten en het bewaken van de integriteit van de casings door de jaren heen. Overigens is de ervaring dat de afdichting tussen gesteente en zout door zoutkruip van het zoutdak altijd goed is. Aan de basis staat een goed ontwerp van de put en het toepassen van overdrukbeveiligingen op de manifolds. Op de well heads worden op afstand bedienbare afsluiters aangebracht. Indien ondanks deze maatregelen een blow-out optreedt dan wordt het blow-out contingency plan in werking gesteld dat een groot aantal acties voorschrijft waarmee gevolgen worden beperkt.

Voor de in deze risicobeoordeling besproken aspecten bij caverne ontwikkeling (fase 0) is er geen sprake van (verhoogde) risico's.

## 6.5 Toelichting risico's actieve winning

### *TR-9 (onder-caverne)*

Lekkage van olie en pekkel uit de onder-caverne TR-9 kan het gevolg zijn van een scheur in het dak, instorting van het dak en/of het oplossen van het dak. Scheur en instorting worden voorkomen door het beheersen van het drukregime, waarbij er geen plotselinge toe- of afnames in druk optreden, die aanleiding kunnen zijn voor het ontstaan van te grote (boog)spanningen in het dak of die het dak verzwakken. Met het beperken van de hoeveelheid injectiewater wordt de grootte van de caverne beheerst, zodat ook de overspanning van het dak beperkt blijft.

Met het oog op een gemiddelde horizontale oplossingsnelheid van 38 m/jaar met een maximum van 65 m/jaar, kan de vorming van een connectie tussen TR-9 met het grote TR-cluster niet volledig worden uitgesloten na het weer opstarten van waterinjectie (actieve winning) in TR-9 in juni 2020. De totstandkoming van de verbinding duurt naar verwachting nog tot 2029. Als een dergelijke verbinding ontstaat, blijft de toename van de pekeldruk in het TR-cluster ver beneden de druk (96 bar) waarbij de scheur (in caverne TR-2 van het cluster) zich weer opent.

Om het oplossen van het dak te beletten moet de injectie van water voldoende diep onder de Zechstein III 2a laag (haliet) plaatsvinden. Dit wordt bewaakt door wekelijks uit te voeren metingen.

### *VE-3 (onder- en boven-caverne)*

Lekkage van olie en pekkel uit de onder- en boven-caverne VE-3 kan het gevolg zijn van een scheur in het dak, instorting van het dak en/of het oplossen van het dak. Scheur en instorting worden voorkomen door het beheersen van het drukregime, waarbij er geen plotselinge toe- of afnames in druk optreden, die aanleiding kunnen zijn voor het ontstaan van te grote (boog)spanningen in het dak dan wel het dak verzwakken. Met het beperken van de hoeveelheid injectiewater wordt de grootte van de caverne beheerst, zodat ook de overspanning van het dak beperkt blijft.

Met het oog op het weer opstarten van waterinjectie (actieve winning) in VE-3 geldt het volgende. Gelet op een gemiddelde oplossingsnelheid van 38 m/jaar met een maximum van 65 m/jaar, kan een connectie tussen VE-3 met het grote TR-cluster niet volledig worden uitgesloten. Als zo'n aansluiting ontstaat, blijft de toename van de pekeldruk in het TR-cluster ver beneden de druk (96 bar) waarbij de scheur (in caverne TR-2 van het cluster) zich weer opent.

Om het oplossen van het zoutdak te beletten moet de injectie van water voldoende diep onder de Zechstein III 2a laag en Zechstein III 3a laag (beiden haliet) plaatsvinden. Dit wordt bewaakt door wekelijks uit te voeren metingen.

### *VE-5 t/m VE-8*

Lekkage van olie en pekkel uit de onder-caverne van de nieuwe putten VE-5 t/m VE-8 kan het gevolg zijn van een scheur in het dak, instorting van het dak en/of het oplossen van het dak. Scheur en instorting worden voorkomen door het beheersen van het drukregime, waarbij er geen plotselinge toe- of afnames in druk optreden, die aanleiding kunnen zijn voor het ontstaan van te grote (boog)spanningen in het dak dan wel het dak verzwakken. Met het beperken van de hoeveelheid injectiewater wordt de grootte van de caverne beheerst, zodat ook de overspanning van het dak beperkt blijft. Het laag houden van de druk belet het ontstaan van een te grote spanning in het dak. De pekeldruk moet in ieder geval beneden de berekende scheurgrens blijven.

Bij de actieve winning wordt het oplossen van het zoutdak voorkomen door te bewaken dat de injectie voldoende diep plaatsvindt. Er is sprake van een (verhoogd) risico.

Om het oplossen van het dak te beletten moet de injectie van water voldoende diep onder de Zechstein III 2a laag (haliet) plaatsvinden.

Het is onwaarschijnlijk dat tijdens de fase van actieve winning de cavernes van het tandem VE-5 & 6 onderling verbonden raken. Hetzelfde geldt voor de cavernes van het tandem VE-7 & 8. Mocht dat gebeuren, dan moet de pekeldruk verlaagd worden met 5 bar.

Ook wordt het onwaarschijnlijk geacht zich een verbinding tussen caverne VE-5 en het grote TR-cluster vormt, omdat dat het neerwaarts gericht oplossen van Bischofiet vergt, hetgeen fysiek onrealistisch is.

Gelet op de grote afstand tussen cavernes VE-7 en VE-2 is het onwaarschijnlijk dat er een aansluiting ontstaat tijdens de actieve winning van VE-7. Een eventuele verbinding verhoogt de pekeldruk in VE-7 met maximaal 25 bar. Dat kan gecorrigeerd worden door de injectiedruk bij VE-7 te verminderen en pekelpductie weer in balans te brengen.

#### *TR-9, VE-3 en de nieuwe putten VE-5 t/m VE-8*

Voor alle putten geldt dat lekkage kan plaatsvinden van olie en pekels. Er zijn meerdere paden te onderscheiden waarlangs een dergelijke lekkage kan optreden. Om dat te ondervangen wordt een aantal maatregelen getroffen, zoals het cementeren van de casings, en het bewaken van de integriteit van de casings. Overigens is de ervaring dat de afdichting tussen gesteente en zout door zoutkruip van het zoutdak altijd goed is. Aan de basis staat een goed ontwerp van de put en het toepassen van overdrukbeveiligingen op de manifolds. Op de well heads worden op afstand bedienbare afsluiters aangebracht. Bij een blow-out treedt het blow-out contingency plan in werking, dat een aantal acties voorschrijft.

Voor de in deze risicobeoordeling besproken aspecten bij de actieve winning (fase 1) is er geen sprake van (verhoogde) risico's.

## **6.6 Toelichting risico's bleed off**

#### *Cluster TR-1 t/m TR-8 en VE-4 ('TR-cluster')*

Lekkage van olie en pekels uit de onder- en boven-cavernes (behalve TR-8: alleen onder-caverne) kan het gevolg zijn van een scheur in het dak en/of instorting van het dak. Het optreden daarvan wordt voorkomen door het beheersen van het drukregime, waarbij er geen plotselinge toe- of afnames in druk optreden, die in combinatie met grotere (boog)spanningen in het dak aanleiding kunnen geven voor scheurvorming in het zoutdak. Door het monitoren van de druk en de volumestroom aan pekels kunnen te grote schommelingen worden vermeden. In het TR-cluster resteert een relatief groot volume aan vrije pekels. Deze omstandigheid en het incident van april 2018 geven aanleiding voor een (verhoogd) risico.

#### *TR-9*

Lekkage van olie en pekels uit de onder-caverne TR-9 kan het gevolg zijn van een scheur in het dak en/of instorting van het dak. Het optreden daarvan wordt voorkomen door het beheersen van het drukregime, waarbij er geen plotselinge toe- of afnames in druk optreden, die in combinatie met grotere (boog)spanningen in het dak aanleiding kunnen geven voor scheurvorming in het zoutdak. Door het monitoren van de druk en de volumestroom aan pekels en verlagen van druk en/of stroom kunnen (te grote) schommelingen worden vermeden en kan de grootte van de caverne beheerst worden. Doordat de waterinjectie beëindigd is, bestaat er geen kans meer dat TR-9 aansluiting krijgt op het TR-cluster. Er is geen sprake van een (verhoogd) risico.

#### *VE-1*

Lekkage van olie en pekels uit de boven-caverne VE-1 door scheurvorming in het dak is niet erg waarschijnlijk. Er resteert nog een klein volume Carnallitische vrije pekels. Het eventueel oplopen van de cavernedruk wordt voorkomen door het beheersen van het drukregime. Door het monitoren van de druk en de volumestroom aan pekels en verlagen van druk en/of stroom kunnen (te grote) schommelingen worden vermeden. Er is geen sprake van een (verhoogd) risico.



**VE-3**

Lekkage van olie en pekkel uit de onder- en boven-caverne VE-3 kan het gevolg zijn van een scheur in het dak en/of instorting van het dak. Het optreden daarvan wordt voorkomen door het beheersen van het drukregime, waarbij er geen plotselinge toe- of afnames in druk optreden, die in combinatie met grotere (boog)spanningen in het dak aanleiding kunnen geven voor scheurvorming in het zoutdak. Door het monitoren van de druk en de volumestroom aan pekkel en verlagen van druk en/of stroom kunnen (te grote) schommelingen worden vermeden en kan de grootte van de caverne beheerst worden. Er is geen sprake van een (verhoogd) risico.

**VE-5 t/m VE8**

Lekkage van olie en pekkel uit de nieuwe onder-cavernes VE-5 t/m VE-8 kan het gevolg zijn van een scheur in het dak en/of instorting van het dak. Het optreden daarvan wordt voorkomen door het beheersen van het drukregime, waarbij er geen plotselinge toe- of afnames in druk optreden, die in combinatie met grotere (boog)spanningen in het dak aanleiding kunnen geven voor scheurvorming in het zoutdak. Door het monitoren van de druk en de volumestroom aan pekkel en verlagen van druk en/of stroom kunnen (te grote) schommelingen worden vermeden en kan de grootte van de caverne beheerst worden.

In deze bleed-off fase is, in het licht van de verwaarloosbare waterinjectie, het risico op het ontstaan van additionele verbindingen tussen cavernes minimaal. Er is geen sprake van een (verhoogd) risico.

**Cluster TR-1 t/m TR-8 en VE-4, TR-9, VE-3, VE-5 t/m VE-8**

Voor alle putten geldt dat lekkage kan plaatsvinden van olie en pekkel. Er zijn meerdere paden te onderscheiden waarlangs een dergelijke lekkage kan optreden. Om dat te ondervangen wordt een aantal maatregelen getroffen, zoals het cementeren van de casings, en het bewaken van de integriteit van de casings. Overigens is de ervaring dat de afdichting tussen gesteente en zout door zoutkruip van het zoutdak altijd goed is. Aan de basis staat een goed ontwerp van de put en het toepassen van overdrukbeveiligingen op de manifolds. Op de well heads worden op afstand bedienbare afsluiters aangebracht. Bij een blow-out treedt het blow-out contingency plan in werking, dat een aantal acties voorschrijft. Er is geen sprake van (verhoogde) risico's.

## **6.7 Bespreking risico's abandonnering**

**Cluster TR-1 t/m TR-8 en VE-4**

Lekkage van olie en pekkel uit de onder- en boven-cavernes (behalve TR-8: alleen onder-caverne) kan het gevolg zijn van een scheur in het dak. Van belang is om voorafgaande aan de fase van abandonnering voldoende pekkel te hebben afgelaten. Concreet betekent dat het minimaliseren van het volume vrije pekkel. De druktoename in de fase van abandonneren kan dan niet meer leiden tot een lekkage van een groot volume bij het scheuren van het dak van een caverne.

Met het oog op het afbouwen van de winning kunnen de volgende situaties ontstaan:

- De toename van de druk treedt niet meer op door de aanwezigheid van onoplosbare vaste delen in de caverne en in het netwerk van Bischofiet lagen. De bodemdaling stabiliseert.
- De toename van de druk leidt tot het hernieuwd openen van de zwakke plek (de scheur ontstaan bij het incident of eventueel een nieuwe scheur) en het doorgaan van de bodemdaling, maar in een laag tempo.

Omdat het volume vrije pekkel sterk is afgenomen, zal het hernieuwd openen van de scheur ertoe leiden dat slechts een beperkt volume pekkel (en mogelijk dieselolie) zich verspreidt in bovenliggende aardlagen. De kans op het heropenen van de scheur is niet ondenkbeeldig. Om die reden is het aflaten van zoveel



mogelijk vrije pekkel in de bleed-off fase een belangrijke preventieve maatregel. Er is sprake van een (verhoogd) risico op scheurvorming.

#### *TR-9*

Lekkage van olie en pekkel uit de onder-caverne TR-9 kan het gevolg zijn van een scheur in het dak. Van belang is om voorafgaande aan de fase van abandonnering voldoende pekkel te hebben afgelaten. Concreet betekent dat het minimaliseren van het volume vrije pekkel. De druktoename in de fase van abandonneren kan dan niet meer leiden tot een grote lekkage bij het scheuren van het dak van de caverne. Met andere woorden, het aflaten van zoveel mogelijk vrije pekkel in de bleed-off fase vormt een belangrijke preventieve maatregel. Er is sprake van een (verhoogd) risico op scheurvorming.

#### *VE-1*

Lekkage van olie en pekkel uit de boven-caverne VE-1 kan het gevolg zijn van een scheur in het dak. Een groot deel van de vrije pekkel is al afgelaten. Het restant aan vrije pekkel wordt – vóór feitelijke abandonnering – voor zover mogelijk nog verder afgelaten, zodat de druk op hydrostatisch niveau wordt gebracht. Geoordeeld is dat er geen sprake is van een (verhoogd) risico.

#### *VE-2*

De winning uit VE-2 is stilgelegd en de casing is voorzien van een cementplug. Het volume van de caverne is klein, waardoor er weinig vrije pekkel is en de drukopbouw beperkt is. Het risico op een scheur in het dak is daarmee beperkt, maar niet geheel uitgesloten. Er is sprake van een (verhoogd) risico voor scheurvorming.

#### *VE-3*

Lekkage van olie en pekkel uit de onder- en boven-caverne VE-3 kan het gevolg zijn van een scheur in het dak. Van belang is om voorafgaande aan de fase van abandonnering voldoende pekkel te hebben afgelaten. Concreet betekent dat het minimaliseren van het volume vrije pekkel. De druktoename in de fase van abandonneren kan dan niet meer leiden tot een grote lekkage bij het scheuren van het dak van een caverne. Om die reden is het aflaten van zoveel mogelijk vrije pekkel in de bleed-off fase een belangrijke preventieve maatregel. Er is sprake van een (verhoogd) risico voor scheurvorming.

#### *VE-5 t/m VE-8*

Lekkage van olie en pekkel uit de onder-cavernes VE-5 t/m VE-8 kan het gevolg zijn van een scheur in het dak. Van belang is om voorafgaande aan de fase van abandonnering voldoende pekkel te hebben afgelaten. Concreet betekent dat het minimaliseren van het volume vrije pekkel. De druktoename in de fase van abandonneren kan dan niet meer leiden tot een grote lekkage bij het scheuren van het dak van een caverne. Net als opgemerkt bij TR-9 en VE-3 is het aflaten van zoveel mogelijk vrije pekkel in de bleed-off fase een belangrijke preventieve maatregel. Er is sprake van een (verhoogd) risico voor scheurvorming.

#### *Cluster TR-1 t/m TR-8 en VE-4, TR-9, VE-1, VE-2, VE-3, VE 5 t/m VE-8*

Voor alle putten geldt dat lekkage kan plaatsvinden van olie en pekkel langs de casing. Om dat te ondervangen zijn de casings bij de aanleg goed gecementeerd. Daarbij is de ervaring dat de afdichting tussen gesteente en zout door zoutkruip van het zoutdak altijd goed is. Tijdens de fase van abandonnering wordt gecontroleerd of er verspreiding van diesel optreedt dan wel is opgetreden. Bij zo'n constatering kunnen maatregelen worden genomen om verdere verspreiding de diesel te keren. Er vinden inspecties van de put plaats. Er is geen sprake van (verhoogde) risico's.

## 7 Conclusie

Geconcludeerd wordt dat Nedmag uitgaat van het treffen van maatregelen die tot doel hebben om op een voor mens en milieu veilige wijze zout te winnen.

Voor de risicobeoordeling is gebruik gemaakt van een risicomatrix waarin door middel van kleuren de hoogte van risico's is onderscheiden.

De risicobeoordeling laat zien dat met het treffen van preventieve maatregelen (bovenop 'vanzelfsprekende' basale maatregelen c.q. werkwijzen) de risico's voor het overgrote deel als laag worden gekwalificeerd (groene kleur).

In een aantal gevallen is er een verhoogd risico gescoord (gele kleur) voor het optreden van olie- en/of pekellekkage in de diepe ondergrond door:

- Scheurvorming in het zoutdak tijdens de bleed-off fase voor het TR-cluster,
- Scheurvorming in het zoutdak tijdens de abandonneringsfase voor het TR-cluster,
- Scheurvorming in het zoutdak tijdens de abandonneringsfase voor caveerne TR-9.
- Scheurvorming in het zoutdak tijdens de abandonneringsfase voor caveerne VE-2.
- Scheurvorming in het zoutdak tijdens de abandonneringsfase voor caveerne VE-3.
- Scheurvorming in het zoutdak tijdens de abandonneringsfase voor de nieuwe cavernes VE-5 t/m VE-8.

Omdat het grootste deel van de vrije pekkel al via de putten is afgevoerd in de bleed-off fase, kan in de abandonneringsfase nog slechts een beperkt restvolume pekkel en/of diesel via een scheur uitstromen. Daarmee zijn er nog beperkte effecten op de dieper gelegen gesteentelagen en is er in feite geen sprake van een situatie die bovengronds tot schade kan leiden. Door een adequaat uitgevoerde productie controle wordt berekend hoeveel pekkel resteert voorafgaand aan de abandonnering en zou kunnen uitstromen via een scheur. Een beheersmaatregel kan zijn voorwaarden te verbinden aan het maximaal toegestane resterende pekkelvolume.

In de risicobeoordeling zijn géén activiteiten of processen samenhangend met de winning naar voren gekomen die een hoog risico scoren (rode kleur).

De zoutwinning door Nedmag gaat gepaard met het treffen van preventieve maatregelen om risico's te verminderen. Daarmee wordt bereikt dat er sprake is van een voor mens en milieu veilige winning. De belangen van de diverse stakeholders groepen worden niet geschaad. Daar waar schadeherstel aan de orde is (bijvoorbeeld als gevolg van een gewijzigd grondwaterpeil) volgen afspraken over het treffen van maatregelen.

## Bijlage 1: Uitgevoerde onderzoeken met korte uitleg

Beoordeling invloed bodemdaling op de integriteit van de productie verbuizing, WEP, W. Vink, 12 October 2018.

*Gaat in op de invloed van de bodemdaling op de integriteit van de productie-verbuizing. De beoordeling van mogelijke gevolgen gebeurt op basis van een bodemdaling met diepste punt van 95cm. Beschadiging van casing door gesteentevervorming is een bekend fenomeen. De vraag of de bestaande en toekomstige verbuizingen bij Nedmag bestand zijn tegen de gesteentevervormingen is positief beantwoord.*

Gevolgen van bodemdaling door zoutwinning voor de waterhuishouding, Eerste verkenning effecten en maatregelen, Royal HaskoningDHV, M. van Houten, 17 oktober 2018.

*In het licht van het Winningsplan 2018 zijn de gevolgen van de zoutwinning op de waterhuishouding onderzocht. Naast een eerste verkenning is een eerste uitwerking van de maatregelen weergegeven. Het rapport is vertrekpunt voor een vervolgstudie waarbij in meer detail en fasering in de tijd naar de maatregelen moet worden gekeken.*

Hydraulic connections between Nedmag caverns, Underlying mechanism, chance of new connections and possible consequences, Nedmag, J. Visser, versie 3, 19 October 2018.

*Behandelt het tijdens de uitvoering van het Winningsplan 2018 mogelijk optreden of ontstaan van ondergrondse verbindingen tussen cavernes door oplossen van Bischofiet. Het mechanisme van het ontstaan van verbindingen wordt beschreven, waarna de cavernes die in het Winningsplan zijn beschreven de revue passeren in het licht van het beschreven mechanisme.*

Invloed van bodemdaling door zoutwinning Nedmag op bebouwing en infrastructuur (Winningsplan 2018 met maximale bodemdaling van 0,95 m.), Deltares, J. Brinkman, 2018.

*Het onderzoek gaat in op gebouwschade en schade aan infrastructuur door zetting ten gevolge van bodemdaling door zoutwinning. Het rapport stelt dat gebouwschade pas optreedt wanneer zettingsverschillen onder het gebouw tot een zodanige vervorming van het gebouw leiden dat de sterkte van het gebouw of onderdelen ervan overschreden worden, hetzelfde geldt voor infrastructuur. Bodemdaling die door de zoutwinning ontstaat, zal niet tot deze situatie leiden. Uit het onderzoek blijkt dat de bodemdaling die door de zoutwinning aan de oppervlakte ontstaat, ter plaatse van infrastructuur en gebouwen zo gelijkmatig is dat de zettingsverschillen en horizontale rek ver onder de toelaatbare grenzen blijven en niet tot schade aan infrastructuur en gebouwen leidt. Ook bij oudere gebouwen en infrastructuur is het niet te verwachten dat er gebouwschade ontstaat.*

Managing pressures in Nedmag caverns to prevent brine leakage during the mining and bleed off phase, P.A. Fokker, Well Engineering Partners, oktober 2018.

*Dit onderzoek is een vervolg op het incident van 20 april 2018, bevat diepgaande analyses en concludeert dat onder bepaalde omstandigheden het optreden van een scheur in de diepe ondergrond altijd plaatsvindt. Door het toepassen van nieuwe operationele condities (het zoveel mogelijk aflaten van vrije pekel in de bleed-off fase) kan een dergelijke gebeurtenis worden vermeden of wordt bewerkstelligd dat de gevolgen acceptabel zijn.*

Squeeze mining-induced stress changes in the faulted overburden of the Veendam salt Pillow caused by new caverns, Structural Geology, Tectonics and Geomechanics, RWTH Aachen University, Janos L. Urai, 20 oktober 2018.

*Aan de orde is de stressontwikkeling in het boven het Veendamse zoutkussen gelegen gesteentepakket (inclusief aanwezige breuken) veroorzaakt door squeeze in de nieuwe cavernes (VE-5 t/m VE-8), naast de stressveranderingen door winning uit de bestaande cavernes. Doel is om te beoordelen of breuken in dat bovenliggende pakket kunnen worden gereactiveerd. Er zijn twee situaties genomen: reactivering door door zoutoplossingen geïnduceerde stressveranderingen met een intact zoutdak en reactivering door toename van de poriëndruk bij een gescheurd zoutdak. Bij het ontstaan van een lek van het zoutdak in de toekomst, wordt het risico op een niet-verwaarloosbare seismische gebeurtenis als laag beoordeeld.*

## Bijlage 2: Geraadpleegde literatuur

- Evaluatie oorzaak pekellekkage in Nedmag pekelcluster april 2018, WEP, dr.ir. Peter A. Fokker, versie 1, 8 juni 2018
- Kamerbrief, Reactie op rapport 'Staat van de sector zout' van Staatstoezicht op de Mijnen, EZK, Directie Energie en Omgeving, 27 september 2018.
- Onderzoek naar de oorzaken van bouwkundige schade in Groningen, Methodologie en case studies ter duiding van de oorzaken, TU Delft, Faculteit Civiele Techniek en Geowetenschappen, P.C. van Staalduinen, K.C. Terwel, J.G. Rots, 11 juli 2018.
- Staat van de sector zout, Staatstoezicht op de Mijnen, mei 2018

## Bijlage 3: Verklarende woordenlijst

| Begrip                                    | Omschrijving                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|-------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Abandonneren                              | Het verlaten en afsluiten van een caveerne door het plaatsen van cement pluggen in de verbuizing.                                                                                                                                                                                                               |
| Bron                                      | Samenstel van caveerne(stelsel) en winningsput(ten).                                                                                                                                                                                                                                                            |
| Bleed-off                                 | Reduceren van de hoeveelheid ondergrondse vrije pekel in een caveerne na afloop van de actieve zoutwinning, door het verlagen van de druk en het produceren van de pekel naar de oppervlakte via de verbuizing van de put.                                                                                      |
| Bulking factor                            | Los gestort materiaal neemt een groter volume in dan het vaste oorspronkelijke materiaal.                                                                                                                                                                                                                       |
| Casing                                    | Buizen die aan de buitenzijde afgedicht zijn met cement zodat deze een afgesloten geheel vormt met gesteente.                                                                                                                                                                                                   |
| Caverne                                   | De ruimte die ontstaat door het oplossen van zout en die gevuld blijft met pekel, onopgelost zout en precipitaat.                                                                                                                                                                                               |
| Cavernestelsel                            | Netwerk van ondergronds verbonden zoutlagen waaruit magnesiumchloride (bischofiet) is opgelost                                                                                                                                                                                                                  |
| Gebonden pekel                            | Pekel die bij drukverlaging redelijkerwijs niet vrijkomt uit het precipitaat en onoplosbaar residu en niet meer afgelaten kan worden                                                                                                                                                                            |
| Gedevieerd boren                          | Schuin boren. Vanaf één centrale locatie kunnen bronnen op grotere horizontale afstand bereikt worden door schuin in de diepe ondergrond te boren                                                                                                                                                               |
| LCC                                       | Last cemented casing: diepst aanwezige casing die is gecementeerd                                                                                                                                                                                                                                               |
| Lithostatische en sub-lithostatische druk | Bij lithostatische druk is de druk in de caveerne in evenwicht met de omliggende gesteentedruk (gewicht van de bovenliggende aardlagen).<br>Bij sub-lithostatische druk is de druk in de caveerne lager dan de omliggende gesteentedruk.                                                                        |
| precipitaat                               | Stoffen die zijn neergeslagen, bezinksel                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| Winningsput                               | Samenstel van verbuizing (casing en tubings), putmond (wellhead) en afsluiters.                                                                                                                                                                                                                                 |
| Putkelder                                 | Betonnen bak waardoor de buizen doorheen lopen naar de ondergrondse bron (put)                                                                                                                                                                                                                                  |
| Squeeze (caverne convergentie)            | Het verkleinen van het caveerne volume door een verlaagde ondergrondse druk                                                                                                                                                                                                                                     |
| Vrije pekel                               | Pekel die bij drukverlaging vrijkomt en kan worden geproduceerd                                                                                                                                                                                                                                                 |
| Well head (boorgatkop)                    | Set van afsluiters die bovenop het stelsel van buizen geplaatst wordt om veilig onder hoge druk vloeistoffen in en uit de caveerne te pompen                                                                                                                                                                    |
| Well head centre                          | Locatie waar de well heads van de winningsputten zijn geïnstalleerd                                                                                                                                                                                                                                             |
| Winningsvergunning (voorheen concessie)   | Vergunning waarbij een aan een mijnbouwonderneming het recht wordt toegekend binnen een begrensd gebied een delfstof te winnen.                                                                                                                                                                                 |
| Winningsplan                              | Een door de mijnbouwonderneming opgesteld plan waarin de wijze, omvang en duur van de delfstoffenwinning worden beschreven. Een winningsplan wordt van kracht na formele instemming door de minister van Economische Zaken en Klimaat. De inhoud van een winningsplan is voorgeschreven in het Mijnbouwbesluit. |

