



Winningsplan 2018

Nedmag B.V.

Billitonweg 1

9641 KZ Veendam

www.nedmag.nl

omgeving@nedmag.nl

28 november 2018

Inhoudsopgave

	Samenvatting	3
1.	Inleiding	6
1.1	Reikwijdte winningsplan 2018	6
1.2	Geldende vergunningen en besluiten	7
1.3	Actualisatie winningsplan	7
1.4	Leeswijzer	8
1.5	Vertrouwelijkheid	8
1.6	Zoutwinning algemeen	9
1.6.1	Geschiedenis	9
1.6.2	Nedmag producten en hun maatschappelijke relevantie	10
1.6.3	Belang van Nedmag voor de regio	11
1.6.4	Omgevingscommunicatie	11
1.6.5	Duurzaamheid	12
2.	Het mijnbouwwerk en de ondergrond	13
2.1	Geologie en relevante zoutlagen	13
2.2	Plaats van de winning en positie van de bronnen	16
2.3	Ontwerp winningsputten	18
3.	Zoutwinning	20
3.1	Fasering van de zoutwinning	20
3.2	Ontwikkeling caverne (fase 0)	21
3.2.1	Dakolie	22
3.3	Actieve winning (fase 1)	23
3.4	Bleed off fase (fase 2)	24
3.5	Abandonnering (fase 3)	24
3.6	Jaarlijkse productie	25
3.7	Te injecteren stoffen	26
3.8	Duur van de winning	27
3.9	Toekomstige winning magnesiumzout	27
4.	Gesteente mechanische stabiliteit	29
4.1	Gesteente mechanische stabiliteit van de cavernes tijdens de winning	29
4.2	Gesteente mechanische stabiliteit van de cavernes na de winning	36
4.3	Wijze van beëindiging van de zoutwinning	37
5.	Risico's van de zoutwinning	38
5.1	Risicobeoordeling	38
5.2	Bodembeweging en bodemtrilling	39
5.2.1	Aard van de bodembeweging	39
5.2.2	Huidige en verwachte bodemdaling	40

5.2.3	Risicobeoordeling bodemtrillingen	46
5.2.4	Gevolgen van bodemdaling	47
5.2.5	Maatregelen ter beperking van bodemdaling	51
5.3	Risicobeoordeling verontreiniging van drink- en oppervlaktewater en/of bodem	52
5.3.1	Gebruik dieselolie	52
5.3.2	Transportleidingen	53
5.3.3	Putafdichtingen en integriteit zoutdak	53
5.4	Natuur en grondwaterwinning	54
5.5	Monitoring en rapportage	54
6.	Kosten van de zoutwinning	56
7.	Verklarende woordenlijst	57
8.	Referenties	59
9	Bijlagen	61
	Bijlage 1: Structuur ondergrond Veendam, zoutwinning Nedmag	62
	Bijlage 2: Voorbeeld configuratie winningsput	63
	Bijlage 3: Samenstelling magnesiumchloride pekkel	64
	Bijlage 4: Overzicht waterpas meetnet 2018	65

Samenvatting

Het voorliggende winningsplan 2018 beschrijft de winningsactiviteiten van Nedmag in de gemeente Veendam vanuit de bestaande winningslocaties van magnesiumzout nabij de dorpen Borgercompagnie en Tripscompagnie. De invloedssfeer van de zoutwinning omvat het gebied binnen een straal van circa 5 km rond de Nedmag zoutwinningslocatie WHC-2 (Nedmagweg 199, Veendam).

Het Nedmag winningsplan 2018 is een actualisatie van het winningsplan 2013. Deze actualisatie is noodzakelijk geworden door een in april 2018 ontstane situatie in het zoutveld Tripscompagnie waarbij kortstondig pekelspiegel is weggestroomd. Het instemmingsbesluit bij het Nedmag winningsplan 2013 bevat het voorschrift dat Nedmag vroegtijdig vóór het bereiken van een bodemdaling van 50 cm (vanaf 1977) een geactualiseerd winningsplan indient. Nu een bodemdaling van 50 cm eind 2018 bereikt zal worden, is de voorliggende actualisatie van het winningsplan nodig geworden.

De in april 2018 ontstane opening in het zoutdak was een onvoorziene situatie. Naar aanleiding van de opening in het zoutdak zijn diverse maatregelen genomen en onderzoeken uitgevoerd om aan te tonen dat de winning van magnesiumzout op een veilige en verantwoorde manier voortgezet kan worden. De resultaten van deze onderzoeken en de hieruit voortvloeiende nieuwe inzichten zijn opgenomen in het voorliggende winningsplan 2018.

Nieuwe inzichten ten opzichte van het winningsplan 2013 zijn:

- Voor een veilige winning van magnesiumzout zijn andere operationele grenzen nodig, met name voor de ondergrondse drukken die bij de winning gehanteerd worden. Om de cavernedruk te beheersen dienen onder meer de volgende maatregelen genomen te worden:
 - Geen overmatig regenwater injecteren in de cavernes tijdens periodes met hevige regenval.
 - Doorgaan met de winning tijdens periodes met een lage vraag naar pekelspiegel, en de gewonnen pekelspiegel opslaan voor later gebruik.
- Nieuwe cavernes dienen zodanig ten opzichte van andere cavernes te worden gepositioneerd en te worden bedreven dat er geen groot cluster ontstaat van verbonden cavernes die samen een groot ondergronds volume bergen.
- Voorafgaand aan het verlaten van cavernes dient de aanwezige hoeveelheid vrije pekelspiegel zo veel mogelijk gereduceerd te worden alvorens de cavernes af te sluiten met cement pluggen.
- Het ontwerp van nieuwe winningsputten wordt zodanig aangepast dat de buitenste verbuizingen (casings) dieper geplaatst zullen worden en de hoger gelegen lagen magnesiumzout niet ontwikkeld zullen worden.

Het in de praktijk brengen van de nieuw verworven inzichten betekent:

- Een aanzienlijke verkleining van de kans op het ontstaan van een opening in het zoutdak tijdens de winning.
- Ook na het abandonneren van de winningsputten zijn de risico's beperkt omdat de hoeveelheid aanwezige vrije pekkel op dat moment klein is.
- Met de aangepaste manier van abandonneren worden de consequenties en kosten van de zoutwinning niet verschoven naar de toekomst, maar door Nedmag gedragen tijdens de winning.

Nedmag voldoet hiermee aan de wettelijke vereisten dat mens en milieu geen schade mogen ondervinden als gevolg van de zoutwinning en dat de veiligheid van omwonenden gewaarborgd dient te zijn.

In de verschillende hoofdstukken van dit winningsplan 2018 worden de nieuw verkregen inzichten nader toegelicht. Daarnaast worden de gevolgen en de risico's van de zoutwinning beoordeeld. Daarbij is onder meer rekening gehouden met de adviezen van het Staatstoezicht op de Mijnen (SodM) in haar rapport 'Staat van de sector Zout'¹.

Adviezen in Staat van de sector Zout	Maatregel Nedmag zoals nader beschreven in het winningsplan 2018
Beperk de grootte van de cavernes.	De nieuwe cavernes van Nedmag zullen een kleinere omvang hebben zodat er minder vrije pekkel aanwezig is tijdens en aan het einde van de winning.
Breng de toekomstige effecten van zoutwinning in beeld.	Door de vrije pekkel aan het einde van de zoutwinning af te laten (bleed off) en nuttig in te zetten worden de risico's beheerst en zijn de effecten van de zoutwinning voor de toekomstige generaties veel kleiner dan in de huidige situatie.
Verlaat cavernes en putten tijdig.	Nedmag zal bronnen die verlaten kunnen worden binnen een afzienbare periode afsluiten met cement pluggen, zodat de kosten van het afsluiten niet doorgeschoven worden naar de toekomst. Nedmag zal jaarlijks met het SodM bespreken welke bronnen geabandonneerd kunnen worden.
Gebruik stikstof als alternatief voor diesel waar dat kan. Ga op zoek naar andere alternatieven voor diesel.	Studies naar de risico's van het gebruik van diesel als dakolie en naar voor Nedmag bruikbare alternatieven maken deel uit van dit winningsplan.

¹ Staatstoezicht op de Mijnen, Staat van de sector zout (mei 2018)

Conform de wijzigingen van de Mijnbouwwet uit 2016, is in het kader van dit winningsplan een risicobeoordeling uitgevoerd. Uit de risicobeoordeling en de hieraan ten grondslag liggende onderzoeken en studies blijkt onder meer het volgende:

- Winning van magnesiumzout resulteert in een gelijkmatige bodemdaling die geen nadelige gevolgen heeft voor gebouwen en infrastructuur. Bij de beoordeling van het risico van bodemdaling voor het winningsplan 2018 zijn de scherpe criteria gehanteerd die TU-Delft recent heeft opgesteld². Bij het beoordelen van de gevolgen van bodemdaling is een conservatieve benadering van de optredende bodemdaling gehanteerd. Op basis van deze benadering heeft Deltares geconcludeerd dat er geen schade aan huizen en infrastructuur verwacht mag worden als de oppervlaktewaterpeilen tijdig worden aangepast. Een ambtelijke werkgroep bestaande uit betrokken gemeenten, waterschap, SodM en Nedmag draagt onder voorzitterschap van de provincie Groningen zorg voor tijdige uitvoering van de benodigde waterhuishoudkundige maatregelen. Voorgestelde plannen worden op bestuurlijk niveau geaccordeerd. Nedmag betaalt de kosten van deze maatregelen.
- Magnesiumzoutwinning leidt niet tot sinkholes (zinkgaten).
- Magnesiumzoutwinning leidt niet tot aardbevingen.
- Door het beheersen van de cavernedruk is de kans op verontreiniging van bodem en grondwater met pekels of dakolie verwaarloosbaar klein. Als na het afdalen van de vrije pekels de cavernes worden afgesloten met cementpluggen is de kans aanwezig dat een beperkte hoeveelheid pekels migreert door het zoutdak, maar de risico's hiervan zijn zeer klein.

² Staalduin, P.C. van; Terwel, K.C. en Rots, J.G., TU Delft (11 juli 2018). Onderzoek naar de oorzaken van bouwkundige schade in Groningen

1. Inleiding

1.1 Reikwijdte winningsplan 2018

Het voorliggende Nedmag winningsplan 2018 beschrijft de aspecten van de winning van magnesiumzout³ uit bestaande en nieuw te realiseren bronnen op de locaties WHC-1 (Borgercompagnie, VE-bronnen) en WHC-2 (Tripscompagnie, TR-bronnen), conform de Mijnbouwwet.⁴

Als houder van een winningsvergunning is Nedmag verplicht alle maatregelen te nemen die redelijkerwijs van haar gevegd kunnen worden om te voorkomen dat als gevolg van de zoutwinningsactiviteiten (Mbw artikel 33):

- nadelige gevolgen voor mens en milieu worden veroorzaakt;
- schade door bodembeweging wordt veroorzaakt;
- de veiligheid wordt geschaad, of
- het belang van een planmatig beheer van delfstoffen wordt geschaad.

De beheersing van deze risico's en de wijze van zoutwinning dienen te worden beschreven en gewogen in het winningsplan.

De Minister heeft het recht om nadere voorschriften aan het winningsplan te verlenen en/of zijn instemming met het winningsplan (deels) te weigeren.

Om een compleet beeld te geven van de activiteiten op de Nedmag zoutwinningslocaties, worden in dit winningsplan en de bijbehorende risicobeoordeling ook onderwerpen beschreven die buiten de wettelijke kaders van een winningsplan vallen. Dit geldt bijvoorbeeld voor een aantal in hoofdstuk 3.6 beschreven bovengrondse activiteiten die niet onder de mijnbouwwetgeving vallen, maar onder de vergunningverlening van de Wet algemene bepalingen omgevingsrecht (Wabo).

Het Nedmag winningsplan 2018 omvat:

- Periode 1:
 - Winning door het injecteren van water, het oplossen van zout en het produceren van pekkel uit bestaande en nog aan te leggen bronnen (actieve winning).
 - Winning in de vorm van het afdalen van de vrije pekkel (bleed off) uit het TR-cluster.
 - In totaal 1,7 miljoen ton magnesiumzout, met een maximale productie van 315.000 ton per jaar op basis van 100 % magnesiumchloride.
- Periode 2: Winning in de vorm van het afdalen van de vrije pekkel (bleed off) na afloop van periode 1: circa 4,2 miljoen m³. Dit komt overeen met 2,0 miljoen ton magnesiumchloride (100%).
- Aanleg en/of ontwikkeling van de bronnen VE-5 t/m VE-8⁵ (figuur 6).

³ In het winningsplan 2018 wordt magnesiumzout ook aangeduid als magnesiumchloride.

⁴ WHC-1: Borgercompagnie 156a te Borgercompagnie, gemeente Veendam. WHC-2: Nedmagweg 199 te Veendam.

⁵ Nedmag gaat er vanuit dat VE-5 en VE-6 kunnen worden geboord en initieel ontwikkeld binnen het winningsplan 2013, en dat de verdere ontwikkeling en winning uit deze bronnen onderdeel uitmaken van het winningsplan 2018. Mocht dit uitgangspunt niet correct zijn, dan maken alle fasen van VE-5 en VE-6 integraal deel uit van het winningsplan 2018.

- Her-injecteren van onverzadigde pekkel uit de nieuwe bronnen in de bestaande TR bronnen omdat in de ontwikkelfase de pekkel van de nieuwe bronnen nog onvolgende geconcentreerd is.
- Gebruik van dakolie (dieselolie) als mijnbouwhulpstof voor de ontwikkeling van nieuwe bronnen.
- Injectie van gips afkomstig uit de zuivering (desulfatering) van pekkel.
- Abandonneren van winningsputten die niet meer gebruikt worden voor de zoutwinning.

Het Nedmag winningsplan 2018 is gebaseerd op de huidige kennis van de ondergrond en van winningstechnieken. Indien tijdens het boren van nieuwe cavernes of tijdens het winnen van het zout situaties optreden die anders zijn dan voorzien in dit winningsplan, dan zal het Staatstoezicht op de Mijnen worden geïnformeerd en kan een wijzigings- of actualisatieprocedure het gevolg zijn.

1.2 Geldende vergunningen en besluiten

Nedmag beschikt over een zogeheten winningsvergunning (afgebakend gebied waarbinnen zij het exclusieve recht heeft actief zout op te sporen en te winnen) conform artikel 6 van de Mijnbouwwet voor de winning van zout in de omgeving van Veendam. De winningsvergunning “Magnesium- en Kalium houdende zouten uit het Zechstein III zoutvoorkomen Veendam” is bij Koninklijk Besluit 15 juli 1980, nr. 200 verleend aan de toenmalige concessiehouder Billiton Delfstoffen BV, sinds 1994 NEDMAG INDUSTRIES Mining & Manufacturing B.V. en thans Nedmag B.V. en gewijzigd bij:

- (I) besluit van 30 maart 1985, nr. 42
- (II) besluit van 23 juni 1995, nr. 95.005227
- (III) besluit van 17 augustus 2005 nr. E/EP/5051900
- (IV) besluit van 10 december 2008 nr. ET/EM/8192543

Het Nedmag winningsplan 2013 is 23 maart 2013 ingediend, en op 3 oktober 2014 goedgekeurd door de Minister van Economische Zaken (instemmingsbesluit kenmerk DGETM-EM/14135221).

Voor de locaties WHC-1 en WHC-2 is een omgevingsvergunning Wabo verleend. In deze vergunning zijn de bovengrondse gebouwen en installaties en de beheersing van bijbehorende milieuaspecten opgenomen. Voor het uitvoeren van een diepboring is een separate omgevingsvergunning Wabo vereist.

1.3 Actualisatie winningsplan

Het Nedmag winningsplan 2013 is aan een versnelde actualisatie toe door de gevolgen van de in april 2018 opgetreden opening in het zoutdak van het cluster Tripscompagnie. Het cluster Tripscompagnie bestaat uit de ondergronds verbonden bronnen TR-1 tot en met TR- 8 en VE-4, en wordt verder in het winningsplan 2018 aangeduid als het TR-cluster. Een grote hoeveelheid pekkel met hierin mogelijk een hoeveelheid dakolie is weggestroomd. Om de situatie te beheersen en wegstromen naar hoger gelegen aardlagen zoveel mogelijk te beperken, is de injectie van water om zout op te lossen in het TR-cluster beëindigd en wordt

zo veel mogelijk reeds aanwezige pekels via bestaande winningsputten uit het TR-cluster afgelaten (bleed off).

Nadere analyse heeft uitgewezen dat na circa 1 tot 2 weken de opening in het zoutdak weer is gesloten. Door het, veiligheidshalve, stoppen van de waterinjectie en het blijven aflatens van de pekels is de ondergrondse druk verder gedaald. Deze verlaagde druk leidt tot een versnelde bodemdaling.

In het instemmingbesluit bij het Nedmag winningsplan 2013 is opgenomen dat Nedmag vroegtijdig voor het bereiken van een bodemdaling van 50 cm (vanaf 1977) een geactualiseerd winningsplan moet indienen. Nu een bodemdaling van 50 cm eind 2018 bereikt wordt, is voorliggende actualisatie van het winningsplan (eerder dan gepland) noodzakelijk geworden.

1.4 Leeswijzer

Het winningsplan 2018 is opgesteld conform artikel 34, eerste lid, van de Mijnbouwwet (Mbw). Aan het begin van elk hoofdstuk wordt een verwijzing gemaakt naar de relevante artikelen van deze wet en de daarmee verband houdende regels (artikel 25 en delen van artikel 24) ter uitvoering van deze wet in het Mijnbouwbesluit (Mbb).

- Hoofdstuk 1: beschrijft het kader van het winningsplan en achtergronden van de zoutwinning van Nedmag.
- Hoofdstuk 2: beschrijft de geologie van het zoutvoorkomen, de locatie van bestaande en nieuwe bronnen alsmede het ontwerp van de winningsputten.
- Hoofdstuk 3: beschrijft de wijze en duur van de verschillende fasen van de winning van magnesiumzout.
- Hoofdstuk 4: beschrijft de gesteente mechanische stabiliteit van de cavernes.
- Hoofdstuk 5: beschrijft de risico's van de zoutwinning, aard en omvang van mogelijke negatieve gevolgen, te nemen maatregelen en wijze van monitoring.
- Hoofdstuk 6: geeft inzicht in de kosten van de zoutwinning.

1.5 Vertrouwelijkheid

Dit winningsplan is een publiek document en is derhalve openbaar, behoudens - uit concurrentieoverwegingen - het kostenoverzicht in hoofdstuk 6.

1.6 Zoutwinning algemeen

1.6.1 Geschiedenis

Diep onder Noord-Nederland bevindt zich een dikke laag zout. Deze zoutlaag bestaat voornamelijk uit steenzout (keukenzout). Meestal is ook een laagje kalium- of kalium-magnesiumzout (sylviet of carnalliet) aanwezig. Dit zout wordt gebruikt bij het maken van kunstmest. Specifiek onder Veendam bevindt zich ook een dikke laag puur magnesiumzout (bischofiet).

Zo'n 250 miljoen jaar geleden, in het Perm tijdperk, heerste in Noord-Europa een warm en droog klimaat en lag hier een grote binnensee (figuur 1). Deze Zechstein zee had slechts een nauwe verbinding met de oceaan. Door de warmte van de zon verdampte er constant water uit de zee. Langzaam zakte de waterspiegel en begon het zout uit het water te kristalliseren op de bodem waar het dikke lagen vormde. Af en toe stroomde de oceaan over de "dijken" heen, voerde vers water naar de binnensee, en begon een nieuwe kristallisatiecyclus.



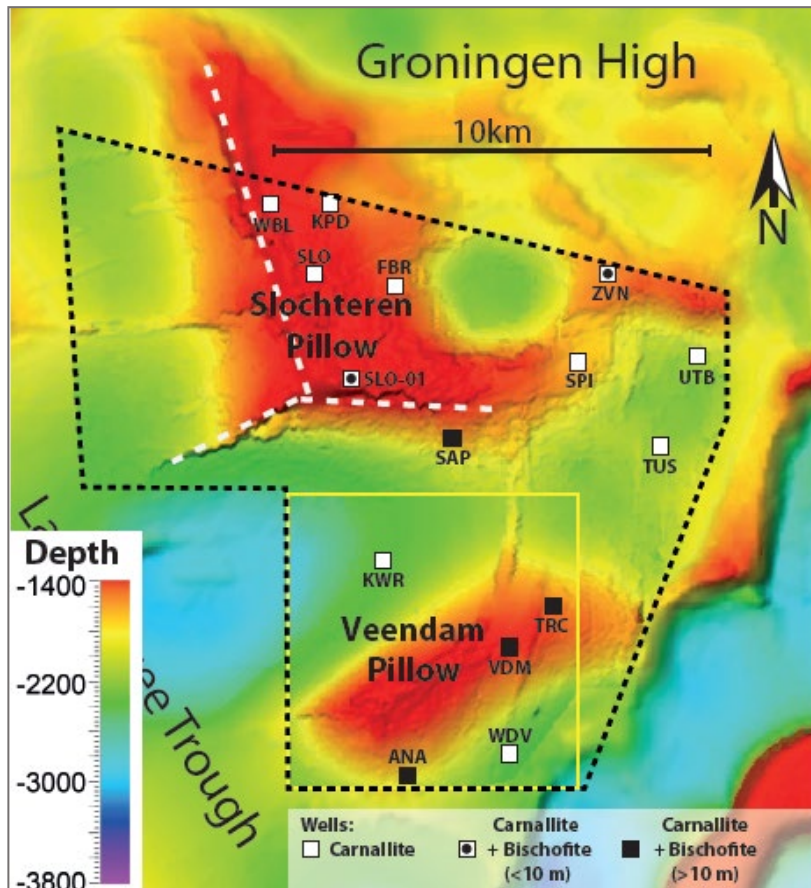
Figuur 1: Ligging Zechstein zee in het Euraziatische continent, 250 miljoen jaar geleden.

Dit proces heeft zo'n 10 miljoen jaar geduurd. Toen de oceaan geen nieuw water meer aanvoerde en al het aanwezige water was verdampt, ontstond een zoutwoestijn die zich uitstreckte van Londen tot Warschau. Op de diepste punten van de Zechstein zee (ongeveer onder Veendam) verzamelde zich een "klein" meertje met bitter warm water met een hoge concentratie magnesiumzout. Dit meertje is als laatste drooggefallen en hier heeft zich een unieke laag van 5 tot 20 meter dik zuiver magnesiumzout afgezet.

In de miljoenen jaren na het ontstaan van de magnesiumzoutlaag werden er zand- en kleilaag afgezet boven op het zout. De zouten bleven niet op een vaste plek: omdat het magnesiumzout het makkelijkst vervormt, werd dit omhoog gedrukt en vormde een soort berg of kussen. Specifiek onder Veendam bevindt zich een voorkomen met een winbare laag zeer

zuiver magnesiumzout oftewel bischofiet, figuur 2 [3]. Deze zoutlaag is in de jaren 60 en 70 van de 20^e eeuw ontdekt tijdens seismologisch onderzoek naar olie- en gasvoorkomens.

Nadat de techniek van zoutwinning is ontwikkeld (1972 – 1979) op de locatie WHC-1 in Borgercompagnie heeft Billiton in 1979 besloten een tweede zoutwinningslocatie bij Tripscompagnie te openen en een magnesiumoxide fabriek in Veendam te bouwen.



Figuur 2: Hoger gelegen zoutstructuren binnen het gebied van de winningsvergunning van Nedmag (zwarte stippellijnen).

1.6.2 Nedmag producten en hun maatschappelijke relevantie

Op basis van het hoog zuivere magnesiumzout vervaardigt Nedmag producten die wereldwijd hun weg vinden in uiteenlopende toepassingen die vaak een hoge maatschappelijke relevantie hebben:

- Magnesiumoxide is een noodzakelijke grondstof voor vuurvaste stenen die gebruikt worden bij de productie van staal en cement. Alternatieven voor de Nedmag magnesiumoxide komen voor een groot deel uit China, waar soortgelijke productieprocessen een veel grotere belasting voor het milieu vormen.
- Magnesiumhydroxide wordt onder meer gebruikt bij het terugwinnen van fosfaat uit afvalwater, waardoor de schaarse fosfaatreserves in de wereld langer benut kunnen

worden. In steeds meer branches (bijvoorbeeld de zeescheepvaart) worden zwavelhoudende rookgassen gereinigd met behulp van magnesiumhydroxide, waardoor de uitstoot van schadelijke zwaveldioxiden fors gereduceerd wordt.

- Het toevoegen van magnesiumzout aan drijfmest reduceert de uitstoot van ammoniak en vormt struviet dat als meststof (slow release fertilizer) in de landbouw ingezet kan worden.
- Met het zuivere Nedmag magnesiumzout als grondstof produceert het naastgelegen Kisuma Chemicals hoogwaardige en milieuvriendelijke vlamvertragers.
- Het zuivere magnesiumzout wordt door Zechstein Minerals uit Veendam wereldwijd gedistribueerd om bij te dragen aan een betere gezondheid van mensen.
- Nedmag onderzoekt de mogelijkheid om magnesiumzout op de markt te brengen als supplement. Veel mensen hebben een tekort aan magnesium, wat tot lichamelijke klachten en een suboptimale gezondheid leidt.
- In het productieproces van magnesiumoxide ontstaat calciumzout dat onder andere gebruikt wordt in de voedingsmiddelenindustrie bij de bereiding van kaas en bier. Ook wordt calciumzout ingezet om de veiligheid op de weg te vergroten door in de winter preventief te strooien.

Op de website van Nedmag (www.nedmag.nl) is uitgebreide informatie vinden over de producten van Nedmag en hun toepassingen.

1.6.3 Belang van Nedmag voor de regio

Nedmag is van groot belang voor de regio Oost-Groningen. Nedmag levert directe werkgelegenheid voor 150 mensen en indirect voor ruim 500 mensen. Inmiddels hebben een aantal bedrijven in de regio zich gespecialiseerd in de hoogwaardige toepassingen van het magnesiumzout, zij vormen het magnesiumcluster. Indien ook rekening gehouden wordt met de afgeleide effecten van het magnesiumcluster en investeringen loopt het aantal banen op tot circa 750.

Het magnesiumcluster is groeiende en trekt voortdurend kennis en innovatiemogelijkheden aan. Nedmag is partner van het UMCG in het onderzoek naar de positieve effecten van magnesium op onder andere hart- en vaatziekten.

Nedmag is nauw betrokken bij verschillende culturele en maatschappelijke initiatieven in de omgeving.

1.6.4 Omgevingscommunicatie

Nedmag vindt het belangrijk een goede buur te zijn. De omgeving wordt op verschillende manieren betrokken bij het hoe en waarom van de zoutwinning. De Nedmag website (www.nedmag.nl) geeft inzicht in de achtergronden van zoutwinning en bodemdaling, vermeldt regelmatig omgevingsnieuws en biedt de mogelijkheid om op een laagdrempelige manier schade te melden. Omgevingsnieuws wordt ook gepubliceerd via Facebook. Nedmag informeert direct omwonenden van een winningslocatie via brieven en inloopbijeenkomsten over merkbare activiteiten. Voor onderwerpen die de hele invloedssfeer van de zoutwinning betreffen – zoals bijvoorbeeld de resultaten van de onderzoeken naar het voorval

van april 2018 en het voorliggende winningsplan – organiseert Nedmag ook informatiebijeenkomsten. Nedmag houdt regelmatig een open dag.

1.6.5 Duurzaamheid

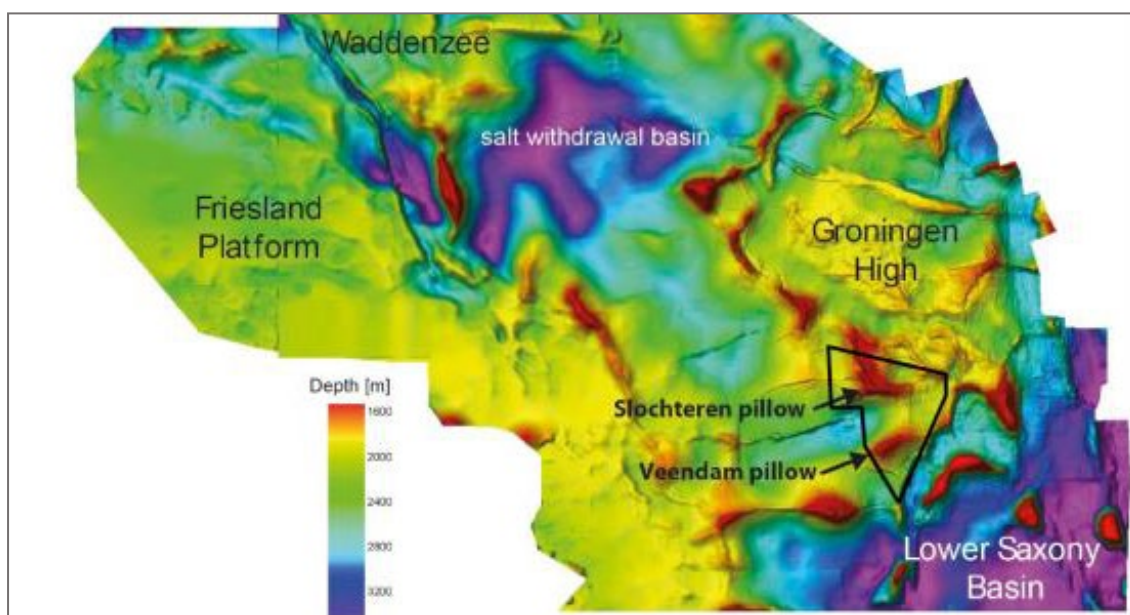
Duurzaamheid is een belangrijk onderwerp voor Nedmag en vormt een integraal onderdeel van de bedrijfsvoering. Nedmag werkt aan een energietransitie en parallel aan het efficiënter gebruik van fossiele brandstof. Zo is in de afgelopen 10 jaar al 17 % minder energie verbruikt per ton product en wordt aardgas voor een deel vervangen door biogas dat door een naburige installatie wordt geproduceerd. Inzet van biogas leidt tot een reductie van het aardgasverbruik met 10 %. Ook is Nedmag een van de deelnemers aan de industrietafel Noord-Nederland die de inzet van waterstof onderzoekt. Hiermee is Nedmag absolute koploper in de wereld van magnesiumoxide producenten.

2. Het mijnbouwwerk en de ondergrond

Ref: Mbb artikel 25 1a, 1c

2.1 Geologie en relevante zoutlagen

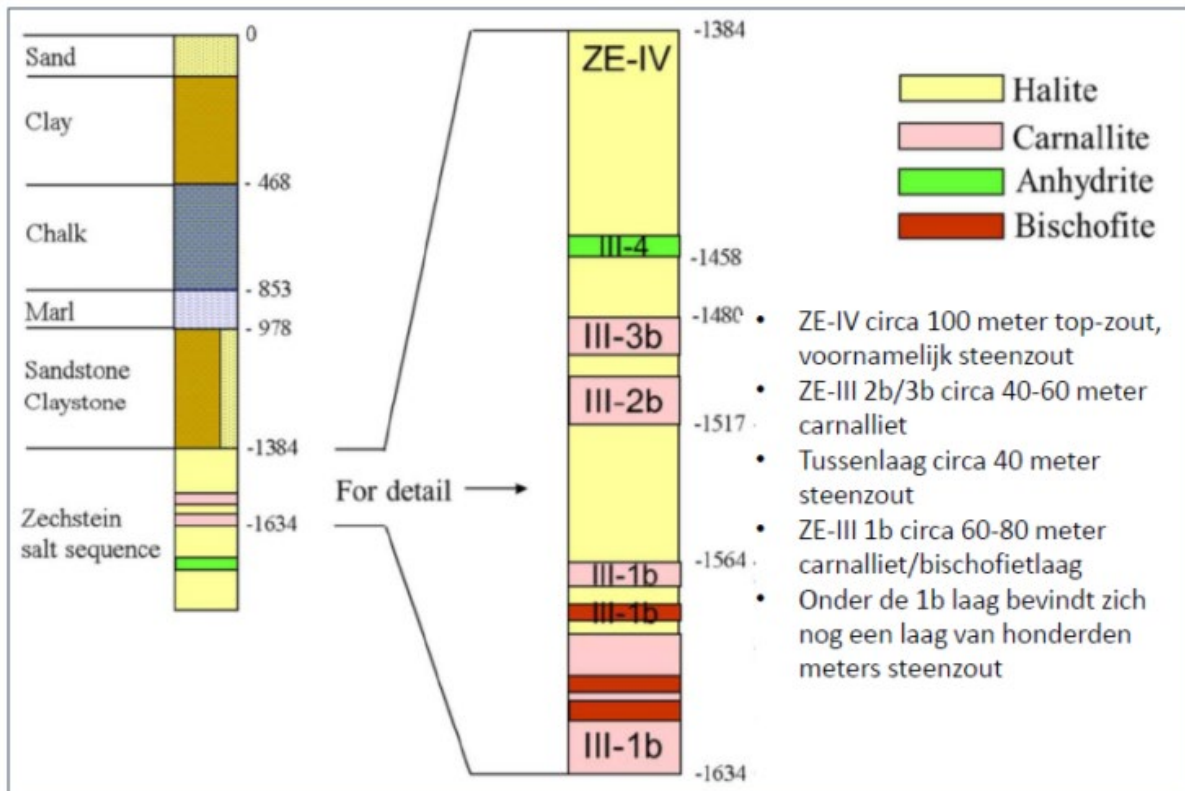
De ondergrondse structuur in Noord-Nederland is, vanwege de gaswinning, goed in kaart gebracht door onder andere de Universiteit van Aken [3]. In het gebied van de winningsvergunning van Nedmag bevinden zich twee zoutkussens, bij Slochteren en bij Veendam (zie figuur 3). Alleen het zoutkussen bij Veendam is geschikt voor de winning door Nedmag omdat het magnesiumzout daar in voldoende mate aanwezig is.



Figuur 3: Geologische structuur (top zout) van de ondergrond van Noord-Nederland met de zoutkussens Slochteren en Veendam gelegen binnen het gebied van de winningsvergunning van Nedmag (zwarte lijnen).

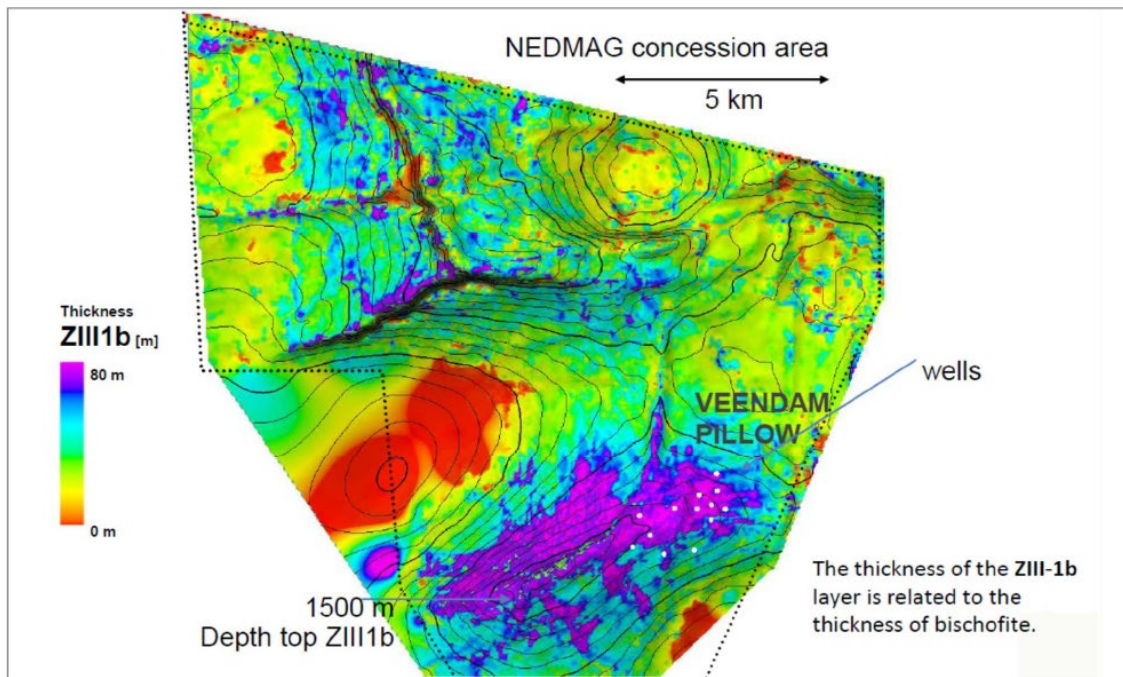
In het Veendam zoutkussen bevinden de lagen magnesiumzout zich op een diepte van 1300 tot 1800 m. In figuur 4 is een schematisch overzicht gegeven van de diverse zoutlagen. De laagopbouw van de diverse zouten verschilt van bron tot bron, maar de hoofdstructuur is gelijk voor alle bronnen en bestaat o.a. uit de volgende magnesiumhoudende zoutlagen:

- De 3b/2b laag die met name carnalliet (kalium magnesiumzout, $\text{MgCl}_2 \cdot \text{KCl} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) bevat.
- De 1b laag die met name bischofiet (zuiver magnesiumzout, $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) bevat. Dit is de meest zuivere soort magnesiumzout.



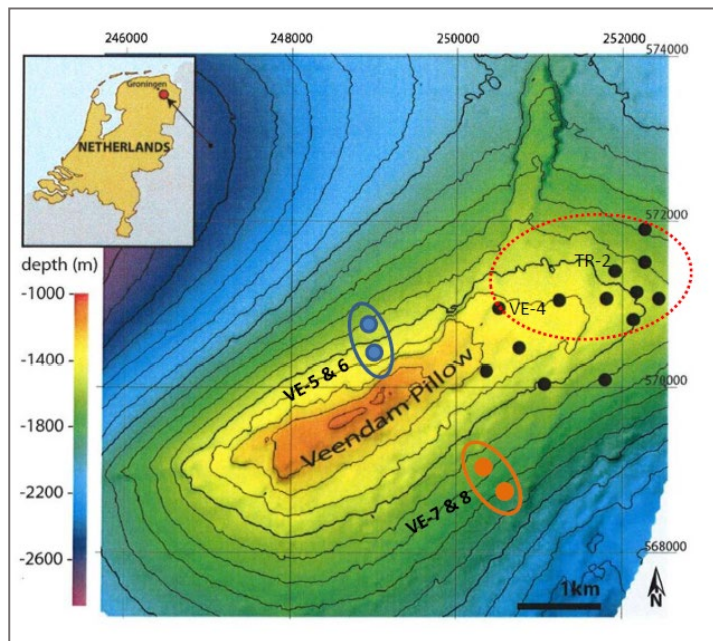
Figuur 4: Schematisch overzicht opbouw zoutlagen bij Veendam.

Om binnen de winningsvergunning van Nedmag doelmatig en planmatig het zuiverste magnesiumzout te kunnen winnen, is het van groot belang dat de cavernes op de juiste posities ontwikkeld kunnen worden. Hiervoor is een goed inzicht nodig in de ondergrondse structuur en in de positie van de magnesiumhoudende zoutlagen. In samenwerking met deskundigen is een 3D geologisch model ontwikkeld, dat in 2016 verder is geoptimaliseerd [3]. Bij de kalibratie van het 3D model is gebruik gemaakt van alle beschikbare informatie over de zoutlagen ter plaatse van de bestaande bronnen. Een belangrijke maat voor de aanwezigheid van bischofiet is de dikte van de Zechstein III 1b laag. Daarnaast is de akoestische impedantie van de diverse zoutlagen in kaart gebracht als maat voor de hoeveelheid bischofiet in de Zechstein III 1b laag. Met name in het zoutkussen bij Veendam zijn deze bischofiet lagen continu en in voldoende mate aanwezig, zoals blijkt uit figuur 5 (paars gebied).



Figuur 5: Weergave dikte Zechstein III 1 b zoutlaag op grond van het 3D geologisch model van Nedmag met als referentie de bestaande bronnen (witte stippen).

Op grond van dit geologische model zijn de posities voor de nieuwe bronnen VE-5 t/m VE-8 bepaald (figuur 6). Bij deze nieuw te ontwikkelen bronnen zal Nedmag alleen nog zout winnen in de onderste Zechstein III 1b laag, en niet meer in de hoger gelegen 2b/3b lagen (zie verder hoofdstuk 2.3).

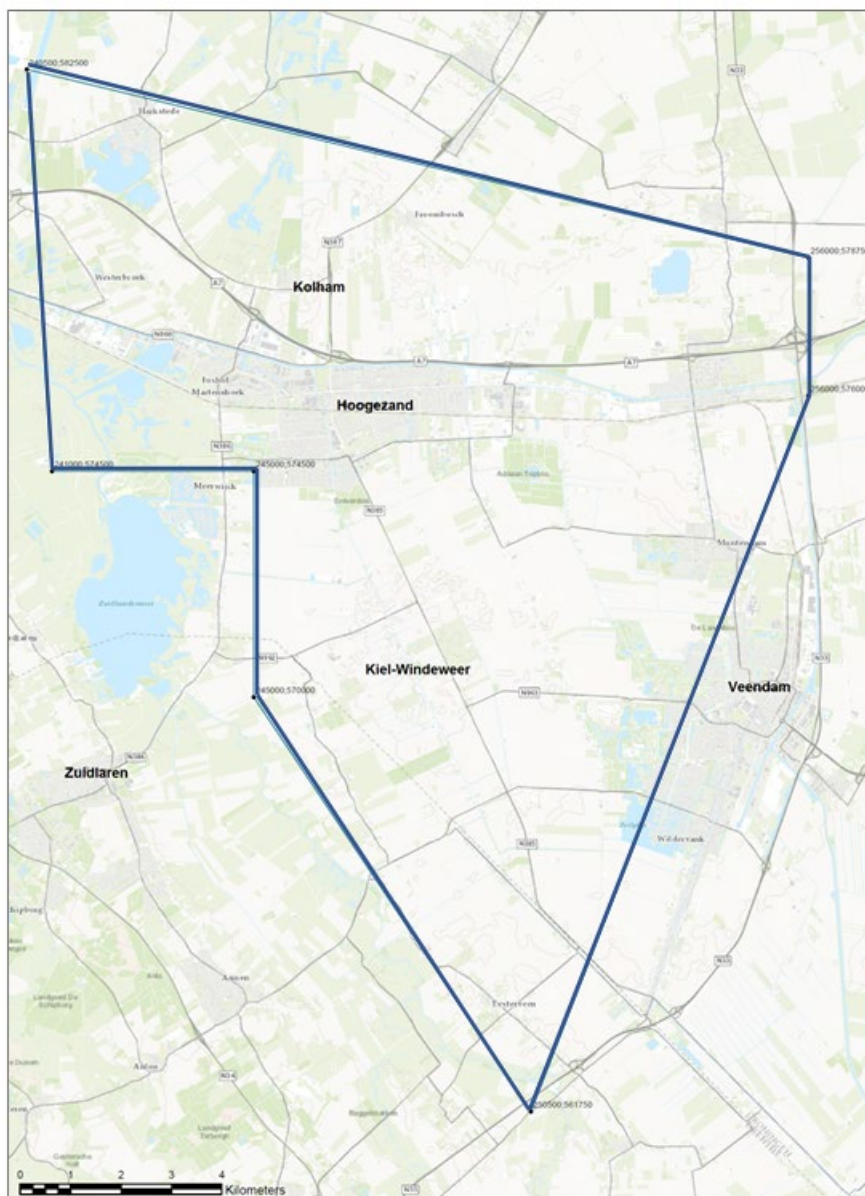


Figuur 6: Bestaande bronnen (zwarte stippen en rode cirkel voor het TR-cluster) en nieuwe bronnen (blauwe- en oranje stippen).

2.2 Plaats van de winning en positie van de bronnen

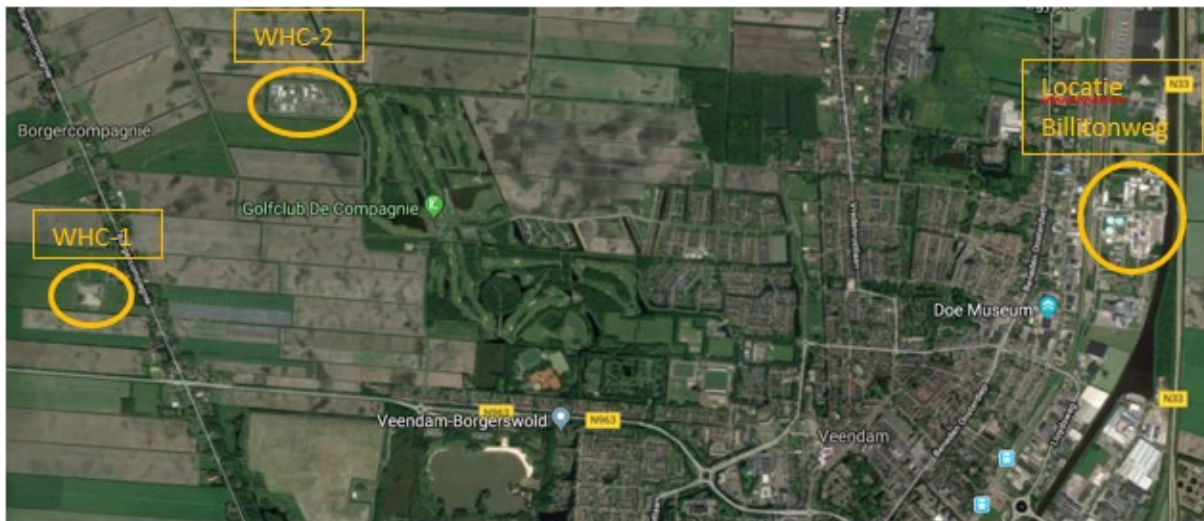
Ref: Mbw artikel 35 lid 1a; Mbb artikel 25 lid 2 en 24 lid 1d t/m 1g

Aan Nedmag is een winningsvergunning verleend voor de winning en verwerking van kalium- en magnesiumzouten voor het gebied zoals afgebeeld in figuur 7.



Figuur 7: Gebied winningsvergunning Nedmag, totaal 171 km².

De magnesiumzout bronnen bevinden zich in het zogenoemde Veendam zoutkussen. De wellheads (afsluiters) van de winningsputten bevinden zich op de locaties WHC-1 (Borgercompagnie 156a) en WHC-2 (Nedmagweg 199), beide gelegen in de gemeente Veendam (figuur 8). De winningsputten zijn geboord tot in de magnesiumzout voorkomens op een diepte van 1300 tot 1800 meter onder maaiveld. De werkelijke lengtes van de winningsputten zijn (meestal) veel groter aangezien de meeste gedeveerd (schuin) geboord zijn vanaf de winningslocatie.



Figuur 8: Overzicht locaties Nedmag. WHC-1 en WHC-2 zijn de zoutwinningslocaties; op de locatie Billitonweg vindt de overige productie plaats.

In de periode 1972 – 2011 zijn 13 cavernes ontwikkeld, waarvan:

- Negen op de WHC-2 locatie (TR-1 tot en met TR-9).
- Vier op de WHC-1 locatie (VE-1 en VE-4).

Zodra alle vergunningen zijn verleend zullen vanaf WHC-1 vier nieuwe bronnen VE-5 tot en met VE-8 geboord en/of ontwikkeld worden. Volgens de laatste stand der techniek kunnen deze bronnen gedeveerd (schuin) geboord worden met een horizontale afstand (outstep) van circa 1300 tot 1700 m vanaf de locatie WHC-1. De lengte van de verbuizing zal variëren van circa 2400 tot 2800 m. De bronnen VE-5 en VE-6 worden naar verwachting in 2019 geboord. De bronnen VE-7 en VE-8 zullen naar verwachting in 2020 of 2021 worden geboord. Aangezien de realisatie van vele factoren afhankelijk is, kan op dit moment geen exacte datum worden gegeven.

De ondergrondse posities van huidige en nieuw aan te leggen bronnen zijn in de onderstaande figuur 9 weergegeven. De werkelijke posities van de nieuwe bronnen kunnen nog tot circa 200 m afwijken van de weergave in figuur 9 omdat het detail boortraject pas later bepaald wordt. Nadat de bron op diepte geboord is, wordt vastgesteld of er voldoende magnesiumzout aanwezig is. Indien dit niet het geval is zal de definitieve positie van de bron moeten worden aangepast.



Figuur 9: Ondergrondse positie huidige en nieuwe bronnen (met een mogelijke afwijking van 200m voor de nog te boren bronnen VE-5 tot en met VE-8).

2.3 Ontwerp winningsputten

Ref: Mbb artikel 24 1g, Mbw art 35 c

De configuratie van alle Nedmag winningsputten bestaat uit concentrische buizen waarvan de binnenste casing tot in het haliet wordt geboord, boven de lagen waaruit magnesium-zout wordt gewonnen. De bronnen hebben op detailniveau niet alle dezelfde configuratie, maar het algemene principe blijft gelijk. Om een winningsput te realiseren wordt allereerst

een korte mantelbuis (stove pipe) tot ongeveer 100 m onder het maaiveld geplaatst. Daarna wordt de putkelder geïnstalleerd. Vervolgens worden door de mantelbuis heen achtereenvolgens een zandbuis (conductor), een buitenste buis (surface casing) en een binnenste buis (last cemented casing) aangebracht. Deze binnenste buis voor de nieuw te ontwikkelen bronnen VE-5 tot en met VE-8 steekt tot in de Zechstein III 2a halietlaag, net boven de 1b laag waarin zich het zuivere magnesiumzout bevindt. Voor de oudere bronnen is de binnenste buis geplaatst in de halietlaag ZE III 4 of ZE IV. De zandbuis, de buitenste buis en binnenste buis worden ter afdichting voorzien van een cementbekleding (cementeren). In de binnenste buis worden van buiten naar binnen een waterinjectiebuis en een pekelpductiebuis afgehangen. Water wordt via de waterinjectiebuis in de caverne geïnjecteerd en wordt vervolgens maximaal verzadigd met magnesiumzout. Via de pekelpductiebuis wordt de ontstane pekkel omhoog geproduceerd, naar de oppervlakte. De pekkel in de caverne heeft een relatief hoge temperatuur (ca. 70 °C) en koelt af bij transport naar de oppervlakte. In de pekelpductiebuis wordt daarom een verdunningswaterbuis afgehangen. Via deze buis wordt verdunningswater toegevoegd om kristallisatie en verstopping van de productiebuis te voorkomen.

In figuur 10 (en bijlage 2) is de schematische opbouw van de bronnen VE-5 tot en met VE-8 weergegeven. Met deze bronnen wordt alleen nog zout gewonnen in de Zechstein III 1 b laag. Daarnaast wordt de binnenste (last cemented) casing diep geplaatst, in de Zechstein III 2a laag.

Beschrijving Productie / Injectie Put	Concentrische verbuizing	Geschatte Diepte	Top Formatie / Groep
		m tvd	
	Boorgatkop (wellhead) met afsluiters	0	Boven-Noordzee
24" Mantelbuis (Stove pipe)		120	
20" Zandbuis (Conductor)		240	Onder-Noordzee
		285	
		400	Krijtkalk
		790	Holland
16" Buitenste buis (Surface casing)		800	
		815	Vlieland Klei (KNNC)
		840	Vlieland Zand (KNNS)
		865	Boven-Germaanse Trias
		1000	Onder-Germaanse Trias
		1250	Zechstein 4 (ZEZ 4)
		1315	Zechstein 3 (ZEZ3)
2-7/8" Verdunningswaterbuis		1650	
9-5/8" binneste buis (Last Cemented Casing)		1685	
7" Waterinjectie buis		1760	
5" x 3-1/2" Pekelpductie buis		1780	
		1790	

Figuur 10: Schematische opbouw van de bronnen VE-5 tot en met VE-8. Andere bronnen kunnen een andere opbouw hebben. Zie bijlage 2 voor een grotere afbeelding.

3. Zoutwinning

Ref: Mbw artikel 35 lid 1 b, c en d; Mbb artikel 24 1c, artikel 24 lid 2, artikel 25 1b, e en f

De magnesiumzout (bischofiet) reserve in het Nedmag winningsgebied is nog voldoende voor de komende tientallen jaren. In dit hoofdstuk wordt beschreven hoeveel van deze reserves binnen de kaders van dit winningsplan gewonnen zal gaan worden.

3.1 Fasering van de zoutwinning

In het winningsplan 2013 lag de nadruk op de actieve winning en in mindere mate op de periode nadat de actieve winning is beëindigd. Zoals in hoofdstuk 4.2 wordt toegelicht is het voor het beheersen van risico's van belang dat na afloop van de actieve winning en voorafgaand aan de abandonnering de hoeveelheid nog aanwezige vrije pekkel zo veel mogelijk wordt gereduceerd. Hierna kan een caverne definitief worden ingesloten met een cement plug. Gedurende de gehele levenscyclus van bronnen onderscheidt Nedmag in dit winningsplan de volgende fasen:

0. Ontwikkeling caverne

Als een winningsput eenmaal is aangelegd, wordt in deze fase onder licht sub-lithostatische condities⁶ water geïnjecteerd en tegelijkertijd pekkel geproduceerd. Omdat de caverne klein is (te beginnen met een boorgat) is de pekkel meestal niet direct voldoende verzadigd met bischofiet en niet altijd geschikt voor verdere verwerking of levering aan klanten. De pekkel wordt dan ofwel geherinjecteerd in andere bronnen of in kleine hoeveelheden bijgemengd bij pekkel van een betere kwaliteit. Voor de juiste ontwikkeling van de caverne wordt dieselolie als hulpstof gebruikt (zie hoofdstuk 3.2.1). De totale ontwikkeling van een caverne totdat deze de gewenste grootte van circa 450.000 m³ pekkelvolume heeft bereikt om over te kunnen gaan op de squeeze⁷ productie, duurt circa twee jaar.

1. Actieve winning

In deze fase wordt water geïnjecteerd, maar het gebruik van dieselolie als dakbescherming is niet meer nodig. Het water mengt met de pekkel in de caverne, waarbij een licht verdunde bischofitische pekkel ontstaat die wel bischofiet oplost en geen haaiet waardoor het zoutdak boven de caverne niet aangetast kan worden. Tijdens de fase van actieve winning wordt de druk in de caverne geleidelijk verlaagd tot de gewenste caverne convergentie (squeeze) optreedt, die zorgt dat het maximum gewenste volume vrije pekkel niet overtreden wordt.

2. Verminderen vrije pekkel (bleed off)

Na afloop van de actieve winning wordt de hoeveelheid ondergrondse vrije pekkel zo veel mogelijk gereduceerd door de pekkel naar de oppervlakte te produceren. Injectie van water voor het oplossen van zout vindt niet of nauwelijks meer plaats. In het begin van deze fase treedt een versnelde convergentie op, die langzaam afloopt in de

⁶ Sub-lithostatische condities: de druk in de caverne is lager dan de omliggende gesteentedruk.

⁷ Squeeze: het verkleinen van het caverne volume door een verlaagde ondergrondse druk.

tijd door een afgenomen cavernevolumen. Aan het einde van de bleed off fase is de hoeveelheid vrije pekel tot een praktisch minimum teruggebracht.

3. Abandonnering

Als de hoeveelheid vrije pekel geminimaliseerd is, wordt de caverne afgesloten door het plaatsen van cement pluggen in de casing(s) van de winningsputten die met de caverne verbonden zijn. Hiervoor wordt een afsluitingsplan opgesteld.

Niet alle winningsputten zullen gelijktijdig worden afgesloten, voor iedere bron blijven één of enkele winningsputten nog jarenlang open om de laatste hoeveelheid vrije pekel af te laten.

In de onderstaande tabel is voor alle bronnen⁸ aangegeven in welke fase zij zich op dit moment bevinden:

Bron/cluster	Fase 0: Ontwikkeling caverne	Fase 1: Actieve winning	Fase 2: Verminderen vrije pekel (bleed off)	Fase 3: Abandonnering
TR-cluster TR-1 t/m 8, VE-4			X	
TR-9		X		
VE-1			X	
Cluster ⁹ VE-2 ¹⁰ en VE-3		X		
VE-5 t/m VE-8 ¹¹	Start na van kracht worden vergunningen			

3.2 Ontwikkeling caverne (fase 0)

Nadat een winningsput is geboord en de verbuizingen zijn aangebracht, kan begonnen worden met de ontwikkeling van een caverne (fase 0). Hiervoor stelt Nedmag een caverne ontwikkelplan op. In de ontwikkelfase wordt water geïnjecteerd om ondergrondse ruimte te creëren in de zoutlagen. Daarbij wordt een mijnbouwhulpstof gebruikt om de caverne verantwoord en ook in horizontale richting te ontwikkelen. Als mijnbouwhulpstof wordt een dun laagje diesel olie (dakolie) gebruikt totdat de caverne - in diverse snedes (lagen) - voldoende horizontaal is ontwikkeld. Indien geen dakolie wordt toegepast is het een reëel risico dat de caverne zich te snel opwaarts ontwikkelt waardoor de afsluitende haliet laag kan worden opgelost en pekel naar de bovengelegen lagen kan migreren.

⁸ Individuele bronnen en bronnen die ondergronds met elkaar verbonden zijn in clusters.

⁹ Het is niet met zekerheid te zeggen dat de cavernes VE-2 en VE-3 met elkaar in verbinding staan.

¹⁰ Winningsput VE-2 is gesuspendeerd, er is één cementplug aangebracht.

¹¹ Nedmag gaat er vanuit dat VE-5 en VE-6 geboord en initieel ontwikkeld kunnen worden binnen het winningsplan 2013, en dat de verdere ontwikkeling en winning uit deze bronnen onderdeel uitmaken van het winningsplan 2018. Mocht dit uitgangspunt niet correct zijn, dan maken alle fasen van VE-5 en VE-6 integraal onderdeel uit van het winningsplan 2018.

Tijdens de ontwikkelfase wordt reeds magnesiumzout geproduceerd. Indien de pekels te weinig magnesiumzout en te veel kalium- en natriumzout bevat (carnallitische kwaliteit, bijlage 3) zal deze worden geherinjecteerd in een van de TR-bronnen om door contact met bischofiet toe te nemen in zuiverheid en concentratie. De ontwikkelfase vindt plaats onder licht sub-lithostatische¹² (circa 90 %) condities waarbij een beperkte bodemdaling optreedt. De optredende bodemdaling is opgenomen in de prognose van de bodemdaling zoals beschreven in hoofdstuk 5.2.2.

3.2.1 Dakolie

In de ontwikkelfase wordt dieselolie gebruikt als hulpstof om cavernes op een goede en veilige manier te ontwikkelen. De dakolie zorgt ervoor dat cavernes zich ook zijwaarts ontwikkelen in plaats van alleen naar boven, en dient als bescherming voor zoutlagen die niet bedoeld zijn om op te lossen. Per nieuw te ontwikkelen caverne wordt circa 2750 m³ dakolie geïnjecteerd. Het is slechts in beperkte mate mogelijk gebruikte dakolie terug te winnen. Dit heeft onder meer te maken met de hoek waaronder de zoutlagen zijn gelegen en met de selectieve manier van logen die Nedmag toepast: er blijft veel vast zout en precipitaat achter in de cavernes waarin dakolie wordt opgevangen. Ervaring uit het verleden leert dat de hoeveelheid olie die kan worden teruggenomen sterk fluctueert. Het volume dat uiteindelijk kan worden teruggenomen bedraagt naar verwachting ongeveer 250 m³ per caverne. De teruggenomen dieselolie wordt hergebruikt voor injectie zodat het netto gebruik 2500 m³ per caverne bedraagt. Nedmag houdt een boekhouding bij voor de injectie en terugname van dieselolie.

Op dit moment is er voor de Nedmag winningsmethode nog geen bewezen geschikt alternatief voor dieselolie als mijnbouwhulpstof beschikbaar dat minder schadelijk is voor het milieu (bij lekkage). Vloeistoffen die mengen met water zijn ongeschikt aangezien pekels veel water bevat.

Stikstofgas zou een alternatief kunnen zijn, maar geeft vanwege de hoge druk bij de bovengrondse afsluiters van een winningsput veiligheidsproblemen bij het uitvoeren van werkzaamheden. Bovendien lost stikstofgas voor een deel op in de pekels. Vooralsnog lijkt stikstof ongeschikt voor diepere zoutwinning omdat de milieuvoordelen niet opwegen tegen de veiligheidsnadelen.

Uit een in 2017 uitgevoerd onderzoek [4] blijkt dat er hulpstoffen op de markt zijn met een lagere toxiciteit, maar dat deze stoffen niet stabiel zijn in de tijd en afgebroken kunnen worden. Hierdoor zullen andere risico's ontstaan zoals onder meer de vorming van methaan. Tevens is een aantal alternatieve hulpstoffen corrosiever van aard. Dit is niet acceptabel omdat aantasting van de verbuizing door corrosie dient te worden voorkomen.

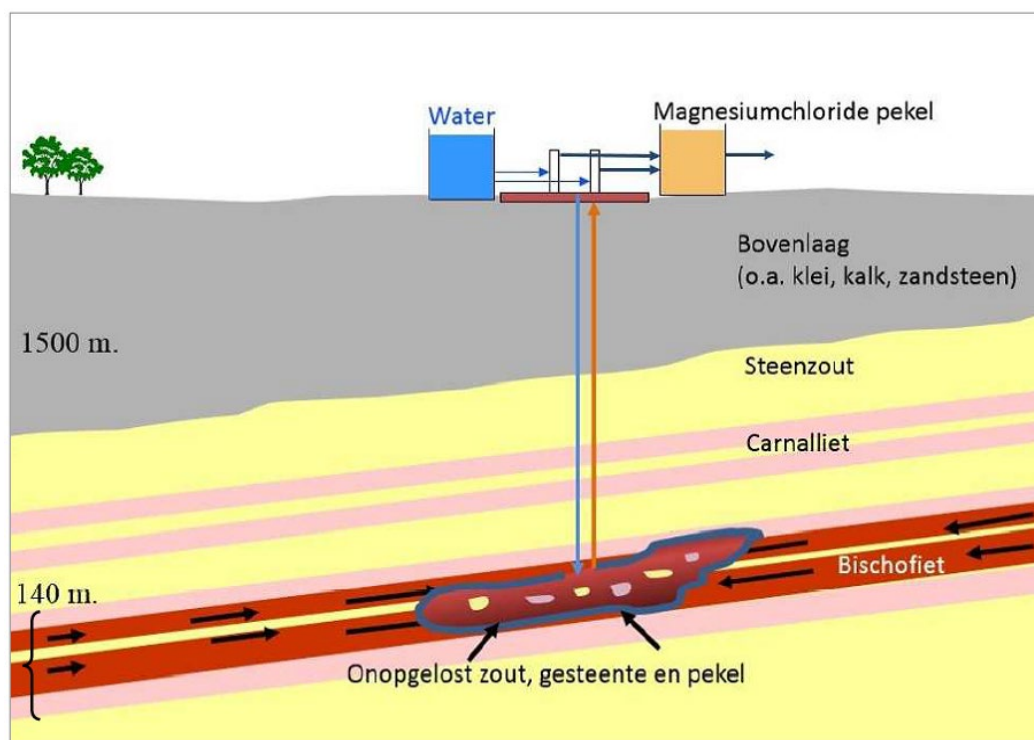
De risico's van het gebruik van dieselolie zijn nader beschreven in hoofdstuk 5.3.1.

¹² Bij sub-lithostatische druk is de druk in de caverne lager dan de omliggende gesteentedruk.

3.3 Actieve winning (fase 1)

Zoals in hoofdstuk 2.1 is beschreven, wint Nedmag hoog zuiver magnesiumzout voornamelijk uit de Zechstein III 1 b laag. Deze laag bestaat voor een groot deel uit bischofiet ($\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), en daarnaast uit andere mineralen zoals carnalliet ($\text{MgCl}_2 \cdot \text{KCl} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), kieseriet ($\text{MgSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$), steenzout of haliet (NaCl), sylviet (KCl) en anhydriet (CaSO_4).

Tijdens het oplosproces ontstaat een oplossing die verzadigd is aan magnesiumzout. In deze fase is het gebruik van diesel als hulpstof niet meer nodig. De in de caverne aanwezige pekkel is bijna verzadigd. Door de injectie van water wordt de pekkel enigszins verdund. Door de zeer goede oplosbaarheid van magnesiumzout kan de licht verdunde magnesiumpekkel geen haliet meer oplossen, en kan het zoutdak niet meer opgelost worden. Mogelijk kunnen dichtbij het punt waar water in de caverne geïnjecteerd wordt, eerst ook andere aanwezige mineralen zoals natriumzout, kaliumzout en carnalliet oplossen, die vervolgens weer neerslaan in de vorm van een fijnkorrelig precipitaat. Tevens blijft onoplosbaar (inert) materiaal achter in de caverne, zoals anhydriet en zouten die door de samenstelling van de cavernepekkel niet meer opgelost kunnen worden. Precipitaat en inert materiaal accumuleren onderin de caverne (figuur 11). De selectieve logging van magnesiumzout en de squeeze methode (hoofdstuk 5.2.1) van zoutwinning uit relatief dunne bischofiet lagen zorgen voor het ontstaan van een cavernestelsel dat gevuld blijft met pekkel, precipitaat en inert materiaal.



Figuur 11: Het principe van de winning van magnesiumzout.

Nedmag heeft de samenstelling van de ondergrondse zoutlagen waaruit wordt gewonnen en alle productiegegevens vanaf het begin van de zoutwinning bijgehouden in het zogeheten massabalansmodel [8,9]. Dit model bevat:

- De samenstelling van de zoutlaag.
- De in de ondergrond geïnjecteerde hoeveelheid water en de bijbehorende positie.

- Het oplosgedrag van de verschillende zouten.
- De samenstelling van de geproduceerde pekels.
- De productiestroom.

Deze gegevens bieden een goed overzicht van de winning en vormen de basis voor het maken van goede prognoses voor zoutwinning, bodemdaling en de hoeveelheid vrije pekels die na de actieve logging nog aanwezig zal zijn.

3.4 Bleed off (fase 2)

Dit is de fase waarin nog wel pekels gewonnen worden uit een caverne(cluster), echter zonder injectie van water om zout op te lossen. In deze fase wordt alleen een beperkte hoeveelheid water geïnjecteerd voor het spoelen van de verbuizingen om verstoppingen en beschadigingen te voorkomen. Daarbij wordt nauwelijks zout meer opgelost. Nedmag zal na afloop van de actieve winning in deze fase de hoeveelheid vrije pekels zo veel mogelijk reduceren door deze af te laten via de bestaande winningsputten en productiemiddelen. De snelheid waarmee dit aflaten van pekels plaats vindt, zal in de loop der tijd steeds verder afnemen omdat de caverne convergentie (squeeze) in de loop van de tijd steeds trager verloopt. Het is op dit moment lastig te voorspellen op welk moment alle vrije pekels helemaal zal zijn afgelaten. De vrije pekels die zich in de onderste 1b cavernes bevindt zal redelijk snel kunnen worden afgelaten (5 tot 10 jaar) omdat de squeeze snelheid hier redelijk groot is. De squeeze snelheid van de boven 2b/3b cavernes is veel lager. Het zal langer duren totdat deze pekels volledig is afgelaten.

3.5 Abandonnering (fase 3)

Na het aflaten van de vrije pekels is een caverne(cluster) geheel of grotendeels gevuld met precipitaat en inert materiaal. In de poriën van dit materiaal blijft nog pekels en niet teruggewonnen dakolie ingesloten. Deze pekels zal ook bij een verdere drukverlaging, redelijkerwijs, niet meer gewonnen kunnen worden. Dan kan worden overgegaan tot het insluiten van de winningsput(ten) die met het caverne(cluster) verbonden zijn, door het plaatsen van cement pluggen in de verbuizing. Nedmag zal jaarlijks met het SodM bespreken welke winningsputten geabandonneerd kunnen worden.

VE-1, VE-2, TR-2

Nedmag zal tijdens de periode van het voorliggende winningsplan de winningsputten VE-1, VE-2 en TR-2 abandonneren. Hiertoe wordt tijdig een afsluitingsplan ingediend bij SodM.

TR-cluster

De winningsputten van het TR-cluster worden stapsgewijs geabandonneerd. De abandonnering van TR-2 is voorzien voor de komende jaren. Nadat de vrije pekels uit het TR-cluster zal zijn afgelaten, de pekeldruk vrijwel pekels-hydrostatisch is geworden en deze bron ook niet meer gebruikt hoeft te worden voor de injectie van carnallitische pekels, kunnen de laatste winningsputten van dit cluster geabandonneerd worden. Naar verwachting duurt het nog

tientallen jaren¹³ voordat alle vrije pekels (met name uit de 2b/3b cavernes) zal zijn afgelaten. Abandonnering vindt plaats op basis van een tijdig door Nedmag in te dienen afsluitingsplan.

3.6 Jaarlijkse productie

De aangevraagde productie in het winningsplan 2018 omvat in totaal 3,7 miljoen ton magnesiumchloride. Deze hoeveelheid is als volgt opgebouwd (zie figuur 12):

Periode 1:

- De actieve winning, door het injecteren van water en het oplossen van zout, uit de bronnen VE-3, VE-5 tot en met VE-8 en TR-9.
- De bleed off van pekels uit het TR-cluster (TR-1 tot en met TR-8 en VE-4).

Tezamen 1,7 miljoen ton zout (op basis van 100 % magnesiumchloride¹⁴) met een maximale productie van netto 315.000 ton per jaar. Dit is exclusief pekels die wordt geherinjecteerd en feitelijk niet is geproduceerd.

Aan het einde van periode 1 is een hoeveelheid vrije pekels aanwezig van 4,2 miljoen m³ :

- 1,2 miljoen m³ carnallitische pekels in de 2b/3b cavernes, waarvan 1,0 miljoen m³ in het TR-cluster en 0,2 miljoen in de VE-1 tot en met VE-3 cavernes.
- 3,0 miljoen m³ bischofitische pekels in de 1b cavernes, waarvan 1,3 miljoen m³ in TR-9, VE-2 en VE-3 en 1,7 miljoen m³ in de nieuwe bronnen VE-5 tot en met VE-8.

Na afloop van periode 1 start periode 2:

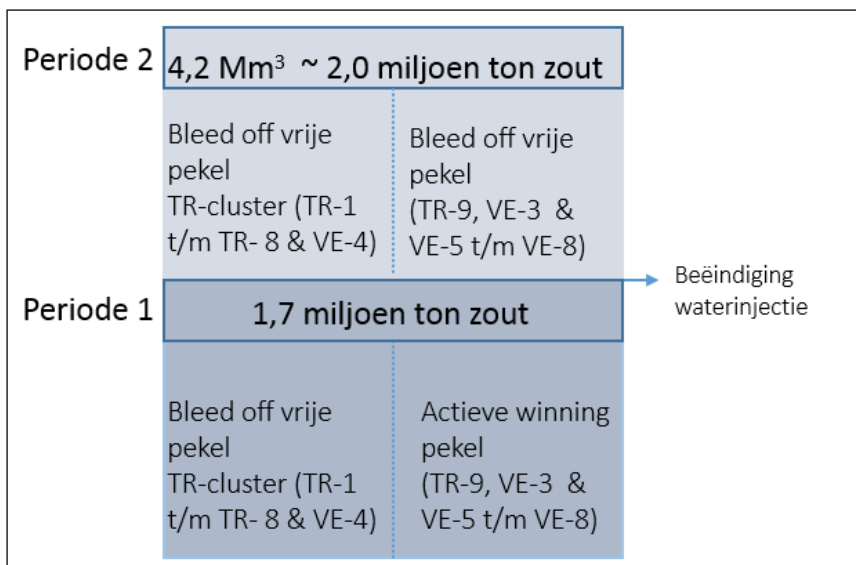
Periode 2:

De bleed off van de aanwezige 4,2 miljoen m³ vrije pekels na afloop van de winning in periode 1. Dit komt overeen met ongeveer 2 miljoen ton zout (op basis van 100 % magnesiumchloride). De jaarlijkse productie tijdens de bleed off fase zal geleidelijk steeds verder afnemen als gevolg van de afnemende caverne omvang.

Naar verwachting zal circa 3 miljoen m³ vrije pekels binnen een termijn van 5 tot 10 jaar kunnen worden afgelaten uit de 1b caverne. Het resterende volume van circa 1,2 miljoen m³ uit de 2b/3b cavernes kan pas over een periode van enkele tientallen jaren worden afgelaten omdat de squeeze snelheid van de carnallitische zoutlagen, waarin deze vrije pekels zich bevindt, veel kleiner is. Het voorval van april 2018 heeft duidelijk gemaakt dat het gecontroleerd afdalen van de vrije pekels de meest veilige optie is.

¹³ Naar verwachting zal alle vrije pekels rond 2045 zijn afgelaten.

¹⁴ Magnesiumchloride op watervrije basis



Figuur 12: Overzicht zoutproductie uit de Nedmag bronnen tijdens actieve winning en bleed off fase. Leesrichting: van onder naar boven.

De netto zoutproductie zal niet meer dan 315.000 ton (op basis van 100 % magnesiumchloride) per jaar bedragen. De typische samenstelling van de gewonnen pekel is weergegeven in bijlage 3. De bischofitische pekel kan direct verwerkt worden. De carnallitische pekel wordt eerst geherinjecteerd in een van de TR-bronnen om ondergronds omgezet te worden in bischofitische pekel.

Een deel van de gewonnen pekel wordt op de locatie WHC-2 omgezet in vast bischofiet zout (magnesiumchloride zes hydraat in de vorm van flakes of pellets). De installatie voor vast zout kan jaarlijks maximaal 80.000 ton¹⁵ produceren. De resterende circa 280.000 ton magnesiumzout wordt als pekel (met een concentratie van circa 30 % magnesiumchloride) naar de opslagtanks van Nedmag aan de Billitonweg in Veendam verpompt (volume circa 700.000 m³ per jaar). Om pekel te kunnen produceren wordt jaarlijks circa 400.000 m³ water geïnjecteerd. Het injectiewater bestaat uit regenwater dat op de winningslocaties valt en proceswater uit de installatie voor vast zout, indien nodig aangevuld met proceswater (gezuiverd oppervlaktewater) afkomstig van de Nedmag fabriek aan de Billitonweg.

3.7 Te injecteren stoffen

Ref: Mbb artikel 25 lid 1e

Hulpstoffen

Ter voorkoming van corrosie van de verbuizingen door het aan de pekel toegevoegde verdunningswater, wordt op de winningslocatie eerst de zuurstof uit het water verwijderd door toevoeging van een kleine hoeveelheid ammoniumbisulfiet¹⁶. Het water wordt hierbij iets zuur waardoor er eveneens corrosie zou kunnen ontstaan, dit wordt voorkomen door het

¹⁵ Omgerekend naar 100% magnesiumchloride: ca. 38.000 ton

¹⁶ Ammoniumbisulfiet (circa 160 m³ per jaar van een 65 % oplossing) valt onder de Europese wetgeving voor de registratie en evaluatie van stoffen (REACH). De stof is niet ingedeeld als gevaarlijk voor het milieu.

water te neutraliseren met een kleine hoeveelheid natronloog¹⁷. De bovengrondse installaties voor het gebruik van ammoniumbisulfiet en natronloog vallen onder de Wabo omgevingsvergunning.

Gipsinjectie

Jaarlijks wordt circa 10.000 ton gips geïnjecteerd in een van de bronnen. Dit gebeurt in de vorm van een suspensie van gips in hoog geconcentreerde pek. Het gips ontstaat bij de desulfatering van de gewonnen pek op de Nedmag locatie aan de Billitonweg.

3.8 Duur van de winning

Ref: Mbw artikel 35 lid 1

De zoutwinning die binnen het bereik van het voorliggende winningsplan 2018 valt, start als het instemmingsbesluit van het ministerie van Economische Zaken en Klimaat op het winningsplan definitief van kracht is geworden (naar verwachting eind 2019). In de eerste periode wordt 1,7 miljoen ton zout gewonnen. Deze hoeveelheid wordt naar verwachting in 2025 bereikt¹⁸, wat overeenkomt met een productieperiode van 5 tot 6 jaar, afhankelijk van de jaarlijkse hoeveelheid zout die wordt gewonnen.

Aansluitend wordt in de tweede periode de pek uit de onderste cavernes afgelaten, wat naar verwachting nog tenminste 5 jaar zal duren (2030). De verwachting is dat de laatste vrije pek uit de bovenste caverne niet zal zijn afgelaten vóór 2045. Het totale volume dat afgelaten wordt, bedraagt 4,2 miljoen m³ pek en bevat 2,0 miljoen ton magnesiumzout (100 % magnesiumchloride). Op basis van de bovenstaande uitgangspunten wordt over de periode 2020¹⁸ tot en met 2045 een productie van 3,7 miljoen ton magnesiumzout (100 % magnesiumchloride) aangevraagd.

3.9 Toekomstige winning magnesiumzout

Op grond van het winningsplan 2018 zal na het actief winnen van 1,7 miljoen ton magnesiumzout geen water meer worden geïnjecteerd om nieuw zout op te lossen, en zal aansluitend de hoeveelheid vrije pek (circa 4,2 miljoen m³) zoveel mogelijk worden gereduceerd. Indien Nedmag na de winning van 1,7 miljoen ton magnesiumzout de zoutwinning via actieve logging (dus inclusief waterinjectie) vanaf de bestaande locaties wil continueren, is dit alleen mogelijk op basis van een nieuw winningsplan waarmee de Minister van Economische Zaken en Klimaat dient in te stemmen.

Om de continuïteit van de winning van magnesiumzout te garanderen zal Nedmag op korte termijn starten met de voorbereiding van een aanvraag voor een nieuwe winningslocatie. Een nieuwe winningslocatie valt buiten het bereik van het voorliggende winningsplan 2018.

¹⁷ Natronloog (circa 235 m³ per jaar van een 20 % oplossing) valt onder de Europese wetgeving voor de registratie en evaluatie van stoffen (REACH). De stof is niet ingedeeld als gevaarlijk voor het milieu.

¹⁸ Er wordt vanuit gegaan dat het winningsplan eind 2019 van kracht zal zijn.

Voordat Nedmag de benodigde omgevingsvergunningen (inclusief wijziging van het bestemmingsplan) aanvraagt en een winningsplan voor de nieuwe locatie indient, zal overleg gevoerd worden met de betrokken stakeholders.

4. Gesteente mechanische stabiliteit

4.1 Gesteente mechanische stabiliteit van de cavernes tijdens de winning

Ref: Mbb artikel 25 1a, 1d

In dit hoofdstuk wordt beschreven hoe de mechanische stabiliteit van de verschillende cavernes en cavernecusters tijdens de winning gewaarborgd wordt.

In figuur 13 en in bijlage 1 is de schematische laagopbouw van de ondergrond weergegeven vanaf de Zechstein III zoutlagen tot aan de oppervlakte. Ter plaatse van de verschillende winningsputten en cavernes kunnen variaties optreden in laagdikte. Bij het boren van nieuwe winningsputten en het ontwikkelen van nieuwe bronnen wordt rekening gehouden met de specifieke laagopbouw ter plaatse.

Lithostratigrafische Kolom Veendam (Borgercompagnie) - Tripscompagnie Putten						
Hoofdtijperk	Groep	Periode	Formatie	Tijdvak	Afzetting	TR-9
						TVD NAF Diepte (m)
Kenozoïcum	Boven-Noordzee NU	Kwartair	"Diverse"	Holoceen - Pleistoceen		0
			Oosterhout NUOT	Pliocene		108
		Neogeen	Breda NUBA	Mioceen		168
	Onder-Noordzee NL	Paleogeen	Dongen NLFF	Eoceen	Asse NLFFB	237
					Brussel Sand NLFFB	
					Ieper NLFFY	
					Basal Dongen Tuffite NLFFY	
Mesozoïcum	Krijtkaik CK	Krijt	Landen NLFF	Paleoceen	Landen Clay NLFFC	
			Ommelanden CKGR	Laat-Krijt		389
			Texel CKTK		Plenus Mari CKTAP	907
	Rijnland KN	Krijt			Texel Mari CKTAM	909
			Holland KNGL	Vroeg-Krijt	Upper Holland Mari KNGLU	949
					Middle Holland Claystone KNGLM	992
					Lower Holland Mari KNGLL	1002
			Vlieland Kleisteen KNVC		Vlieland Claystone KNVCM	1035
	Boven-Germaanse Trias RN	Trias	Solling RNSO	Midden-Trias	Solling Claystone RNSOC	1138
			Onder-Buntsandstein RBSS	Vroeg-Trias	Rogenstein RBSSR	1200
					Main Claystone RBSSM	1364
Paleozoïcum	Zechstein ZE	Perm	Boven-Zechstein Kleisteen ZEUC	Laat-Perm		1590
			Zechstein 4 (Alier) ZE24		Z4 Zout ZE24H	1594
					Z4 Pegmatite Anhydrite ZE24A	1673
					Red Salt Clay ZE24R	1675
			Zechstein 3 (Leine) ZE23		Z3 Salt ZE23H	1680
					Z3 Salt, 3b	1693
					Z3 Salt, 3a	1704
					Z3 Salt, 2b	1711
					Z3 Salt, 2a	1725
					Z3 Salt, 1b BEVOEGDE DOEL	1765
					Z3 Salt, 1a	1836
					Z3 Main Anhydrite ZE23A	-
					Z3 Carbonate ZE23C	

Figuur 13: Structuur ondergrond Veendam, zoutwinning Nedmag. Hier weergegeven zijn de laagdiktes van bron TR-9.

Allereerst wordt een nadere toelichting op de zoutwinning gegeven aangezien die de basis vormt voor de stabiliteitsberekening.

De cavernes van Nedmag wijken sterk af van de cavernes die in steenzout (haliet) worden gevormd bij de winning van natriumzout door de andere twee Nederlandse zoutbedrijven. Ook wijken ze af van de cavernes van de meeste andere Europese en Amerikaanse natriumzoutbedrijven. De natriumzout cavernes hebben vaak een sigaar- of cilindervorm met een hoogte tot enkele honderden meters en een diameter tot (vaak) 100 meter. De zoutlagen waarin de natriumzout cavernes zich bevinden, bestaan vaak uit puur haliet met hierin hooguit een paar dunne lagen anhydriet (CaSO_4).

Nedmag lost met name de bischofiet zoutlagen op, die zich in de Zechstein III-1b bevinden. Tot medio 1995 werden ook de carnalliet zoutlagen in de Zechstein III-2b/3b opgelost, maar dit levert een laagwaardiger pekkel die niet voldoet aan de huidige kwaliteitseisen voor pekkel. Carnallitische pekkel kan slechts in beperkte mate worden verwerkt en wordt primair geïnjecteerd.

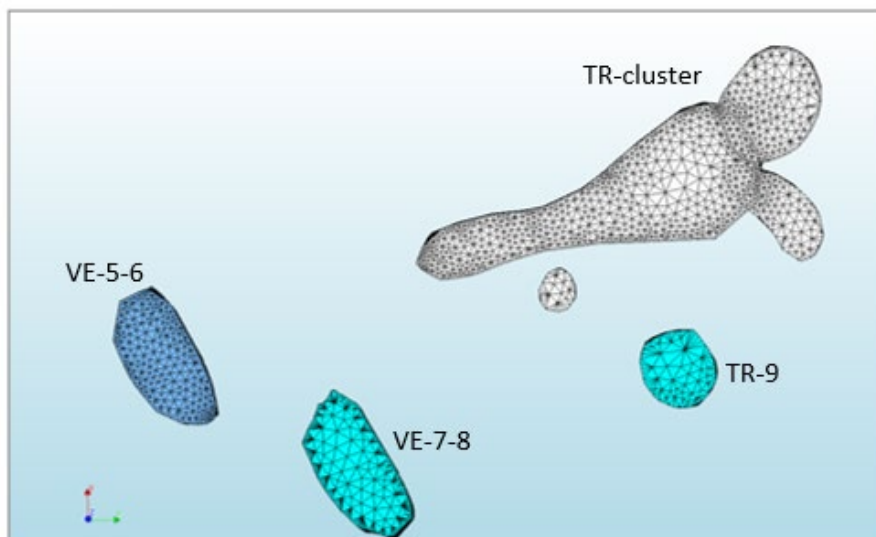
De oplosbaarheid van bischofiet is veel groter dan die van haliet. Per geïnjecteerde kubieke meter water wordt circa 2,5 kubieke meter bischofiet zout opgelost. Ter vergelijking: bij de winning van haliet lost per kubieke meter water slechts 0,15 kubieke meter zout op. Omdat de bischofiet zoutlagen slechts 5 tot 20 meter dik zijn, groeit de caverne voornamelijk in zijwaartse richting en wordt een cavernestelsel gevormd. Het oplossen van bischofiet vindt plaats richting de top van het zoutkussen (uphill). Het onderin de caverne geïnjecteerde water (hoofdstuk 2.3) stroomt in opwaartse richting en lost het zout op. De gevormde pekkel wordt steeds geconcentreerder en stroomt in neerwaartse richting waar het, via de pekkelproductiebuis, naar de oppervlakte wordt getransporteerd.

Het relatieve gemak waarmee bischofiet oplost en de zijwaartse ontwikkeling zorgen ervoor dat de cavernes uiteindelijk met elkaar worden verbonden [10]. In de periode 1989 tot 2009 zijn de bronnen TR-1 tot en met TR-8 en VE-4 (het TR-cluster) met elkaar in verbinding geraakt. Hierbij ontstond de mogelijkheid om in de ene winningsput water te injecteren en uit de andere winningsput pekkel te produceren. Door de lange ondergrondse verblijfstijd ontstaat een pekkel met de hoogst mogelijke zuiverheid.

De bronnen TR-9 en VE-1 tot en met VE-3 zijn vooralsnog niet verbonden met het TR-cluster. TR-9 is nieuwste bron uit 2011 en bevindt zich op geruime afstand van het cluster. Hierdoor zal het vermoedelijk nog minimaal tot 2029 duren voordat TR-9 zich verbindt met het TR-cluster [10], aannemende dat er gedurende de hele periode tot 2029 water wordt geïnjecteerd.

De nieuw te ontwikkelen bronnen VE-5 en VE-6 (tezamen het cluster VE-5-6) liggen op circa 1 km afstand van de overige cavernes, en zijn gepland om op (lange) termijn wel onderling verbinding met elkaar te maken, maar niet met andere cavernes of met het TR-cluster. Hetzelfde geldt voor de bronnen VE-7 en VE-8 (tezamen het cluster VE-7-8). In Figuur 6 is de positie van de huidige en nieuwe bronnen en clusters weergegeven.

Ten behoeve van de gesteente mechanische berekeningen zijn op basis van het massabalansmodel [8] de ontwikkelingen van de cavernes in tijd [11] gemodelleerd, inclusief de vier geplande nieuwe bronnen VE-5 tot en met VE-8 (figuur 14).



Figuur 14: Cavernepositie en -vormen in de bischofietlaag Zechstein III-1b.

De stabiliteit van de cavernes is op basis van twee parameters beoordeeld [11]:

1. Schuifspanning

De (Von Mises) schuifspanningen in het Zechstein IV zoutdak boven de bischofietlaag geven inzicht in het risico op instorting van het dak door overbelasting van het zout. Zie figuur 15.

2. Trekspanning

Het verloop van de trekspanningen in het zoutdak geeft inzicht in het risico op scheurvorming van het dak.

Voor het bepalen van de spanningen in het zoutdak is het belangrijk dat de uitgangspunten van het model overeenkomen met de praktijk. Als uitgangspunten zijn gehanteerd:

- Een realistisch verloop van de cavernedruk (squeeze) op basis van de beschikbare operationele gegevens vanaf 1995. Op basis van dit drukverloop heeft het model een bodemdalingsskom berekend die vergelijkbaar is met de bodemdalingsskom van 2018 (figuur 22). Dit is een belangrijk uitgangspunt voor het model.
- Voor de toekomstige zoutwinning is een bodemdaling aangehouden zoals beschreven in hoofdstuk 5.2.2.

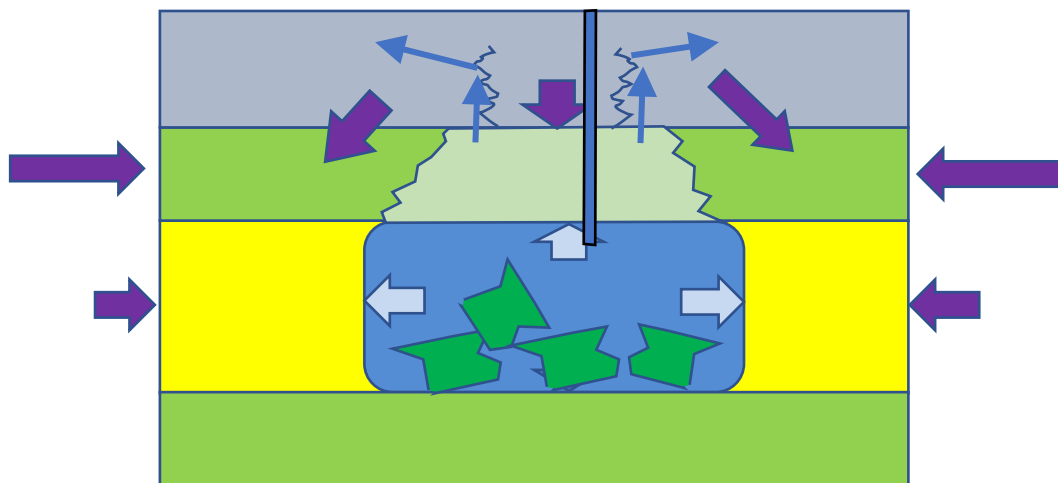
Schuifspanningen

De berekeningen geven als uitkomst dat de optredende Von Mises schuifspanningen in het haliet Zechstein IV zoutdak boven alle cavernes maximaal 10 MPa¹⁹ bedragen, bij alle pekdrukken die optreden gedurende alle fasen van de zoutproductie. De schuifspanningen zijn daarmee veel kleiner dan de waarden van 20 tot 35 MPa die het halietdak kan weerstaan.

¹⁹ MPa = megapascal; 1 MPa = 10 bar

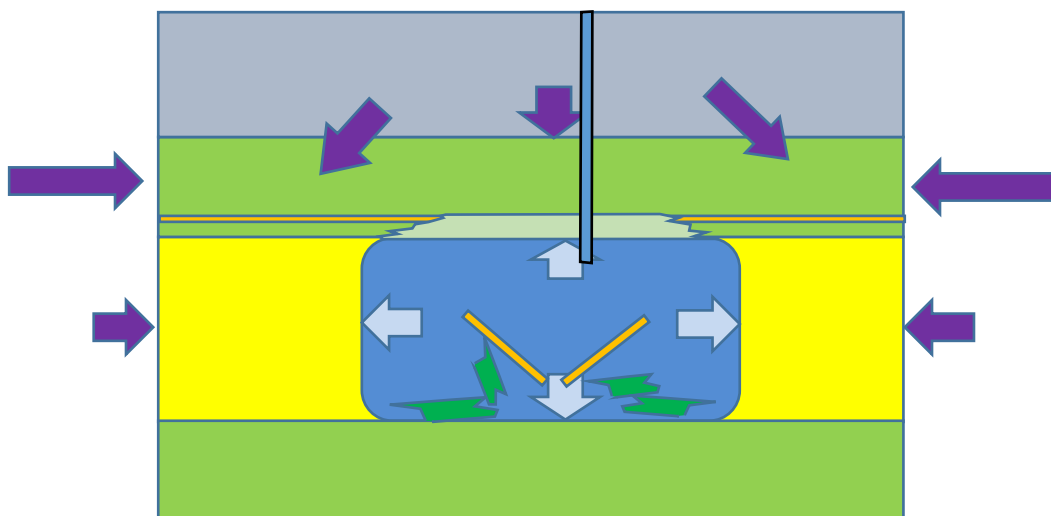
De geringe schuifspanningen die in het halietaak optreden, kunnen worden verklaard doordat de zoutspanningen door zoutkruip relaxeren (afnemen) en worden overgenomen door de bovenliggende lagen (de Buntzandsteen, zie figuur 13). De kans dat door overbelasting van het zoutdak grote delen uit het dak vallen is op basis van deze berekeningen dus gering.

Zout kan ook (beperkt) permeabel worden door hoge schuifspanningen en door vervormingen (kruip). Door de beperkte kruip (maximum 3%) is het niet waarschijnlijk dat deze permeatie optreedt.



Figuur 15: Instorten van een (halietaak) zoutdak doordat de schuifspanningen in het dak te hoog worden. Er ontstaat directe verbinding tussen de caverne en het bovenliggende doorlatende Buntzandsteen. De paarse pijlen geven gesteentespanningen aan, de lichtblauwe pijlen vloeistofdrukken en de blauwe dunne pijlen de stroming van de vloeistof.

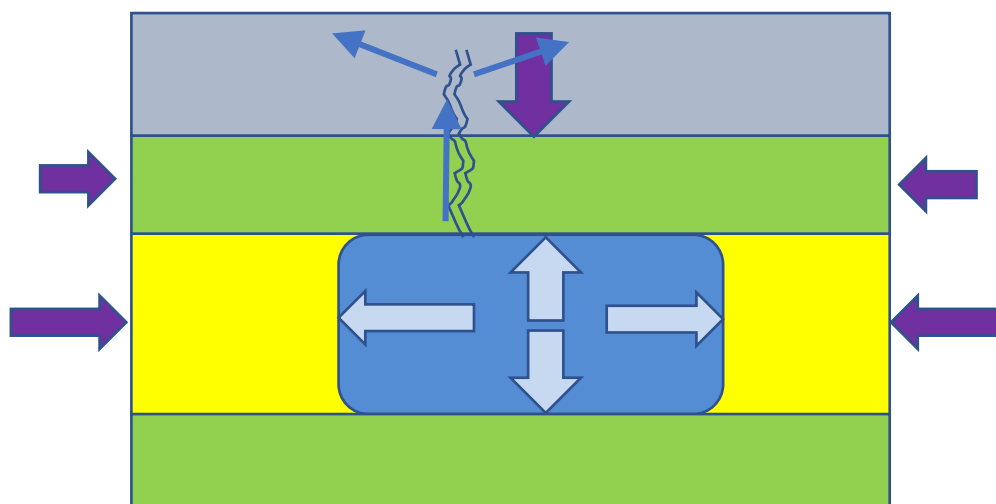
Een kleinere gesteentebreuk kan niet uitgesloten worden, doordat stijve dunne lagen in het zout spanningen kunnen opbouwen (spatkrachten) die bij overbelasting een dunne laag halietaak kunnen meenemen. Er ontstaat geen directe verbinding tussen de caverne en het doorlatende Buntzandsteen, maar vermoedelijk ontstaat er wel schade aan de verbuizing (figuur 16).



Figuur 16: Deels instorten van een (haliet) zoutdak doordat spatkrachten in een dunne harde laag (anhydriet) tot bezwijken leiden.

Trekspanningen

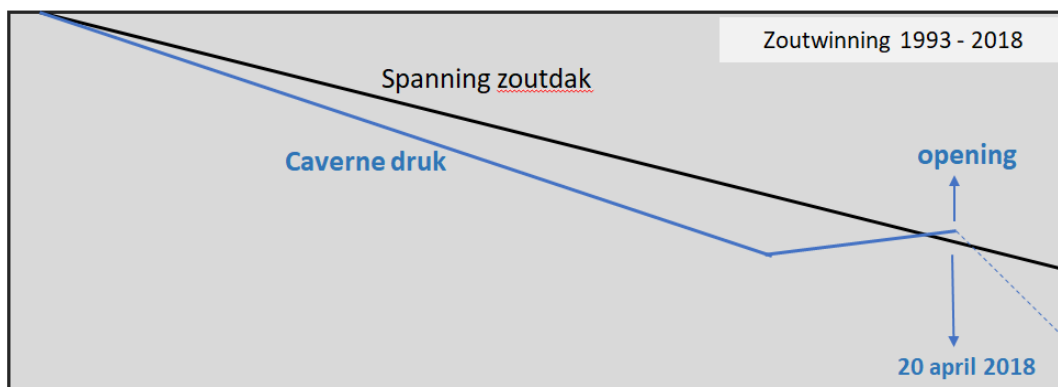
Indien de vloeistofdruk in de caverne groter wordt dan de spanning in het zout, dan bestaat de kans op scheurvorming (figuur 17). Scheurvorming treedt op als de vloeistofdruk hoger wordt dan de kritische spanning in het zout plus de treksterkte van het zout. Deze laatste bedraagt echter slechts 1 tot 2 MPa en is voor praktische toepassing bijna te verwaarlozen. In het zoutdak zal door de vorming van een caverne de spanning afnemen als gevolg van het herverdelen van de spanningen (boogwerkingseffect of arching genoemd). Door langdurig produceren bij lage druk nemen alle spanningen in het zoutdak af. Dit leidt niet tot kritische situaties zolang de pekeldruk in de caverne laag genoeg blijft. Het kan wel een probleem vormen indien de caverne druk significant verhoogd wordt.



Figuur 17: Scheuren in het zoutdak, doordat de pekeldruk in de caverne hoger is dan de spanningen in het zoutdak. Pekel kan via de scheur wegstromen naar bovenliggende gesteentes. Deze scheur zal zich geheel of grotendeels sluiten als de pekeldruk daalt tot waarden beneden de zoutspanning.

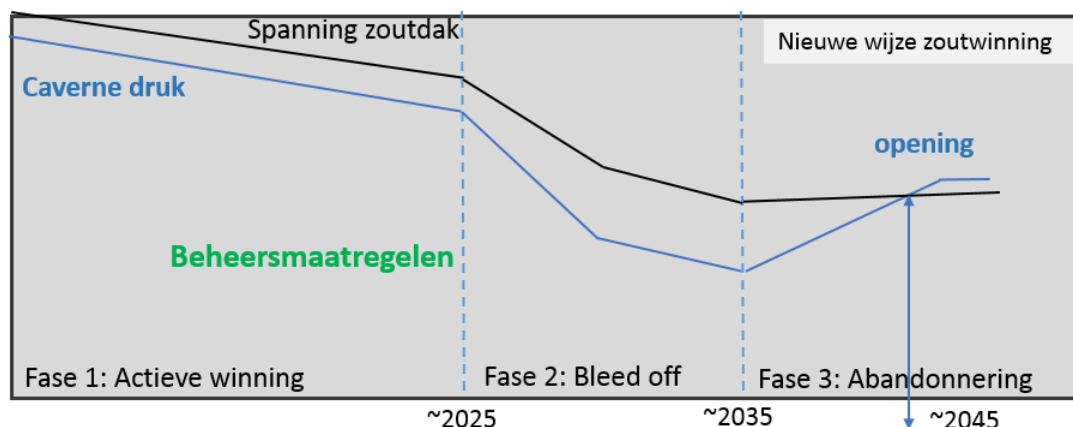
Actieve winning (fase 1 hoofdstuk 3.3)

In het TR-cluster is tijdens de fase van actieve winning over een periode van circa 10 jaar de pekeldruk opgelopen van 8 MPa naar 5 MPa onder lithostatisch. Volgens berekeningen [11] is de zoutspanning in de loop der jaren met 5 tot 6,5 MPa verlaagd (ten opzichte van de oorspronkelijke lithostatische waarde). Als gevolg hiervan is de kritische spanning in het zoutdak overschreden en is scheurvorming ontstaan. Dit laatste fenomeen heeft zich voorgedaan op 20 april 2018, doordat de pekeldrukken in de cavernes te hoog waren ten opzichte van de minimum spanningen in het zout (figuur 18).



Figuur 18: Grafische weergave van cavernedruk en spanning in het haliet zoutdak van het TR-cluster van 1993 tot 2018.

Voor de nieuw te ontwikkelen cavernecusters VE-5-6 en VE-7-8 en de verder te ontwikkelen cavernes TR-9 en VE-3 geldt ook dat de spanningen in de boven de cavernes gelegen zoutlagen zullen dalen bij voortschrijdende convergentie en pekeldrukdaling, maar dat gebeurt langzamer dan bij het TR-cluster. Voor de bestaande cavernes VE-3 en TR-9 is een maximum cavernedruk van 1,5 MPa boven de laagste jaargemiddelde cavernedruk een veilige keuze. Bij de nieuwe bronnen VE-5-6 en VE7-8 wordt alleen gewonnen uit de Zechstein III-1b laag en wordt het bovenliggende zoutdak dikker in vergelijking met de bestaande cavernes. Hierdoor wordt de marge groter. Ook bij de nieuwe bronnen is een maximale cavernedruk van 1,5 MPa boven de laagste jaargemiddelde cavernedruk een veilige keuze (figuur 19).



Figuur 19: Grafische weergave van cavernedruk en spanning in het zoutdak bij de nieuwe wijze van zoutwinning.

Samengevat: door de cavernedruk geleidelijk te verlagen en te voorkomen dat deze weer gaat stijgen, kan voorkomen worden dat de kritische spanning wordt overschreden. Nedmag neemt de hierna beschreven beheersmaatregelen om een stijging van de cavernedruk te voorkomen.

Beheersmaatregelen tijdens de fase van actieve winning

Een belangrijke beheersmaatregel tijdens de fase van actieve winning is het hanteren van een maximum pekeldruk in de cavernes. Door een maximum pekeldruk te hanteren van 1,5 MPa boven het laagste jaargemiddelde kan voorkomen worden dat de trekspanning wordt overschreden. Hiermee wordt de integriteit van het zoutdak bewaakt.

Operationeel betekent dit dat de ondergrondse pekeldruk altijd goed beheerst moet worden. Hiertoe dienen de injectie van water in cavernes en de productie van pekels in voldoende mate beïnvloed te kunnen worden. De overmaat aan regenwater die op de beide Nedmag zoutwinningslocaties valt, dient bijvoorbeeld ook afgevoerd te kunnen worden in plaats van geïnjecteerd. En in tijden van verminderde pekelsbehoefte dient er voldoende pekels te worden gewonnen om druktoename in cavernes als gevolg van squeeze te voorkomen. In 2018 heeft Nedmag extra opslagcapaciteit gerealiseerd om pekels later te kunnen gebruiken, en zijn mogelijkheden gecreëerd om water en pekels af te voeren naar zee.

Indien tijdens de fase van actieve winning ondanks het hanteren van de hierboven beschreven maximum pekeldruk toch een opening in het cavernedak zou ontstaan, dan blijven de gevolgen hiervan beperkt door de kleinere omvang van de cavernes [11]. Het volume aan vrije pekels in de cavernes wordt beperkt tot 1,5 miljoen m³ voor de caverne(paren) VE-3, TR-9, VE-5-6 en VE-7-8. De volumes van de cavernes zijn nader beschreven in hoofdstuk 3.6.

Beheersmaatregelen tijdens de bleed off fase

Tijdens de bleed off fase wordt de vrije pekels zo veel mogelijk afgelaten om de risico's voor de lange termijn na het afsluiten van een caverne te beheersen. Om de hoeveelheid vrije pekels in voldoende mate te kunnen afdalen zal de pekeldruk geleidelijk verder worden verlaagd naar 11 tot 13 MPa onder lithostatisch. Als een maximum druk van 1,5 MPa boven het laagste jaargemiddelde wordt aangehouden, zullen de spanningen in het zoutdak de kritische waarden niet bereiken. Deze kritische waarde zal (op termijn) wel bereikt worden nadat een caverne definitief is afgesloten (figuur 19 en 20). Op dat moment is de nog aanwezige hoeveelheid vrije pekels echter zo ver verlaagd, dat de risico's van lekkage klein zijn.

In onderstaand figuur 20 is het drukverloop voor het TR-cluster weergegeven voor de meest ongunstigste positie van het zoutdak: in het midden van het cluster aan de bovenzijde van het zoutdak. Na abandonnering van het cluster (aannee: circa 2035) worden de zoutspanningen overschreden, echter is het pekelsvolume dan geminimaliseerd.



Figuur 20: Berekende minimum horizontale spanning in het zoutdak boven het TR-cluster en de (verwachte) langjarige pekeldruk.

4.2 Gesteente mechanische stabiliteit van de cavernes na de winning

Ref: Mbb artikel 25 1d

Wanneer de actieve winning of bleed off uit een caverne/bron wordt gestopt, zal de vloeistofdruk toenemen door zoutkruip. De schuifspanningen in het zoutdak zullen afnemen, waardoor de kans op instorting van het zoutdak door schuifspanningen uitgesloten kan worden.

Tijdens de periode van het afdrukken van de vrije pekeldruk (5 tot 20 jaar) zal de pekeldruk dalen tot 11 tot 13 MPa sub-lithostatisch. Aan het einde van deze bleed off periode (bij weinig vrije pekeldruk) wordt de convergentie (squeeze) ernstig geremd door de weerstand van het precipitaat en het inerte materiaal in de caverne en neemt de productie derhalve sterk af. Op enig moment is het praktisch niet meer mogelijk om de bron nog in te zetten voor productie. De bron zal dan (definitief) worden ingesloten.

Na insluiting neemt, als gevolg van zoutkruip, de pekeldruk weer toe. Op enig moment in de tijd (1 tot 4 jaar) wordt als gevolg van de toename van de pekeldruk de maximale trekspanning in het zoutdak overschreden, waardoor er scheuren in het zoutdak zullen ontstaan. Dit betekent dat er pekeldruk zal wegstromen naar de lagen boven het zout. Het resterende vloeistofvolume zal in de loop van duizenden jaren vrijwel geheel uit de zoutlagen gedrukt worden. Bij drukwaarden van 4 tot 8 MPa sub-lithostatisch zal 0,1 tot 0,5 m³ pekeldruk per uur richting de Buntzandsteenlagen permeëren. Het is niet zeker of deze geringe hoeveelheden zullen lekken via de discrete scheur of zullen permeëren langs de kristalgrensranden. In de praktijk maakt dit voor de leksnelheid niet veel uit.

Het feit dat deze situatie optreedt, is de belangrijkste reden om na de actieve winning zo veel mogelijk pekkel af te laten (bleed off). De hoeveelheid pekkel die hierdoor later nog kan afleken is zeer gering, bij lage leksnelheden.

4.3 Wijze van beëindiging van de zoutwinning

Ref: Mbb artikel 25 1f

Nedmag heeft in 2015 onderzocht op welke wijze de cavernes het beste verlaten kunnen worden [12]. Dit onderzoek is in opdracht van SodM getoetst door de TU Clausthal in Duitsland [13]. In deze onderzoeken werd geconcludeerd dat het abandonneren van cavernes door het plaatsen van cement pluggen in de casing direct na de actieve winningsfase en zonder dat eerst de aanwezige vrije pekkel wordt afgelaten (bleed off), een adequate methode is. De in april 2018 ontstane opening in het zoutdak van het zoutveld Tripscompagnie heeft tot nieuwe inzichten geleid, ook op het gebied van de methode van beëindiging van de winning. Het is duidelijk geworden dat bij abandonneren door alleen het plaatsen van cementpluggen (zonder het aflaten van de vrije pekkel) de hoeveelheid vrije pekkel die op termijn als nog kan wegstromen naar de bovenliggende lagen, veel groter is dan in de eerdere studies was voorzien.

De meest veilige methode van het verlaten van cavernes is eerst het zo veel mogelijk aflaten (bleed off) van de aanwezige vrije pekkel via de verbuizing van de winningsputten voordat deze met cement pluggen worden afgesloten. De kans dat na abandonnering nog grote hoeveelheden pekkel met daarin mogelijk dakolie kunnen wegstromen naar ondiepe bovengelige lagen, is zeer klein. De nog aanwezige hoeveelheid pekkel is gering, of is opgesloten in precipitaat en is daar door zoutkruip niet makkelijk uit te verwijderen. De tijdens de bleed off fase afgelaten pekkel kan nuttig gebruikt worden voor productiedoeleinden. Deze aangepaste methode van abandonneren leidt tot veel kleinere risico's. Nedmag voldoet daarmee aan haar zorgplicht.

Nadat een caverne(cluster) zo goed als op pekkel-hydrostatische druk is gekomen, nagenoeg geen pekkel meer kan produceren en ook geen operationele functie meer heeft, zullen de betreffende winningsputten ontdaan worden van de verbuizing en dient Nedmag een sluitingsplan in bij het Staatstoezicht op de Mijnen.

In hoofdstuk 5.2 wordt verder ingegaan op de verwachte bodemdaling aan het einde van de winningsperiode.

5. Risico's van de zoutwinning

5.1 Risicobeoordeling

Ref: Mbw artikel 35 lid 1g

Voor alle fasen van de Nedmag zoutwinning zijn de risico's in kaart gebracht en beoordeeld. De risicobeoordeling is weergegeven in referentie [14]. Hierbij is rekening gehouden met de naar aanleiding van de opening in het zoutdak van april 2018 verworven inzichten en genomen maatregelen.

Het doel van de risicobeoordeling is vast te stellen welke preventieve- en/of beheersmaatregelen nodig zijn zodat de veiligheid van omwonenden niet in gevaar wordt gebracht, en er geen schade aan het milieu ontstaat.

Beoordeeld zijn:

- Generieke risico's voor de zoutwinning in zijn geheel;
- Specifieke risico's per bron/cluster;
- Het onderling verbonden raken van cavernes [10].

De belangrijkste te beoordelen risico's van de winning van magnesiumzout zijn:

1. Invloed van bodemdaling op gebouwen en/of infrastructuur;
2. Invloed van een veranderde waterhuishouding op gebouwen en/of infrastructuur;
3. Schade als gevolg van bodemtrillingen;
4. Verontreiniging van drink- of oppervlaktewater en/of bodem (pekels en olie) door een falende transportleiding;
5. Verontreiniging van drink- of oppervlaktewater en/of bodem (pekels en olie) door falende putafdichtingen, wellheads of een falende afsluiting van het zoutdak.

In hoofdstuk 5.2 wordt ingegaan op de risico's van bodembeweging en bodemtrillingen. In hoofdstuk 5.3 wordt toegelicht op welke wijze de zoutwinning veilig kan worden uitgevoerd, waarbij tevens de risico's van het gebruik van dakolie nader worden beschreven. Ook wordt ingegaan op de preventieve- en beheersmaatregelen die Nedmag neemt. Bij het bepalen van de risico's is de risicomatrix gehanteerd zoals weergegeven in figuur 21 [14].

Effect bodembeweging		Effect verontreiniging				
Structurele schade aan infrastructuur of gebouwen. Lichte schade aan unieke gebouwen	Verontreiniging van drinkwater	5				
Lichte schade aan infrastructuur of gebouwen	Verontreiniging van grondwater	4				
Vereist aanpassingen aan infrastructuur	Schade aan natuur, landbouw, lokaal oppervlaktewater	3				
Meetbaar effect, weinig aanpassingen Nodig	Lichte, beperkte lokale schade	2				
Geen tot nauwelijks meetbaar effect	Geen tot nauwelijks meetbaar effect	1				
			1	2	3	4
			Zeer kleine kans	Kleine kans	Enigszins waarschijnlijk	Waarschijnlijk
			Kans			
						5
						Nagenoeg zeker

Figuur 21: Risicomatrix

Uit de risicobeoordeling blijkt dat in een aantal gevallen een verhoogd risico (gele kleur in de matrix) wordt gescoord voor het optreden van olie- en/of pekellekkage in de diepe ondergrond door:

- Een opening in het zoutdak van het TR-cluster tijdens de bleed off fase en de abandonneringsfase.
- Een opening in het zoutdak van de cavernes VE-2, VE-3 en TR-9, en de nieuwe cavernes VE-5 tot en met VE-8 tijdens de abandonneringsfase.

5.2. Bodembeweging en bodemtrilling

5.2.1 Aard van de bodembeweging

Ref: Mbb artikel 35 lid 1f

Tot juli 1993 heeft Nedmag de pekkel onder nagenoeg lithostatische condities gewonnen. Vanaf medio 1993 zijn een aantal testen uitgevoerd om onder sub-lithostatische condities zout te winnen, de zogenoemde squeeze methode. In 1995 is overgegaan op de squeeze methode. Doordat bij de squeeze methode de pekeldruk lager is dan de oorspronkelijke gesteentedruk, zal de caverne in omvang afnemen (convergeren). Als gevolg van deze drukverlaging ontstaat een gelijkmatige bodemdaling. Na beëindiging van de fase van actieve winning kan het ondergrondse volume vrije pekkel afgelaten worden, zodat er na abandonnering weinig tot geen pekkel kan wegstromen en er na het afsluiten van de winningsputten geen significante bodemdaling meer optreedt. Dit is het belangrijkste voordeel van de squeeze methode en van het afdrukken van de vrije pekkel ten opzichte van winning onder lithostatische condities waarbij veel vrije pekkel achterblijft in de ondergrond.

In hoofdstuk 3.3 is beschreven dat Nedmag alle productiegegevens registreert in het massabalansmodel. Op basis van dit model en van het volume uit de gemeten bodemdalingskom is vastgesteld dat 91 % van het squeeze volume dat met het massabalansmodel berekend is, wordt teruggevonden in de gemeten bodemdalingskom [8,9].

De geprognoseerde bodemdalingscontour laat een daling van 88 cm in het diepste punt zien. Indien rekening wordt gehouden met onzekerheden in de berekende hoeveelheden af te laten vrije pekel [9,17], ontstaat een bodemdalingscontour met een daling van 95 cm in het diepste punt. Voor het bepalen van gevolgen en te nemen maatregelen is uitgegaan van laatstgenoemde contour.

In het gebied van de Nedmag zoutwinning vindt ook bodemdaling plaats door gaswinning van de NAM uit de Groningen- en Annervveen velden (www.nam.nl/feiten-en-cijfers). Bij het nemen van waterhuishoudkundige maatregelen wordt hiermee rekening gehouden.

5.2.2 Huidige en verwachte bodemdaling

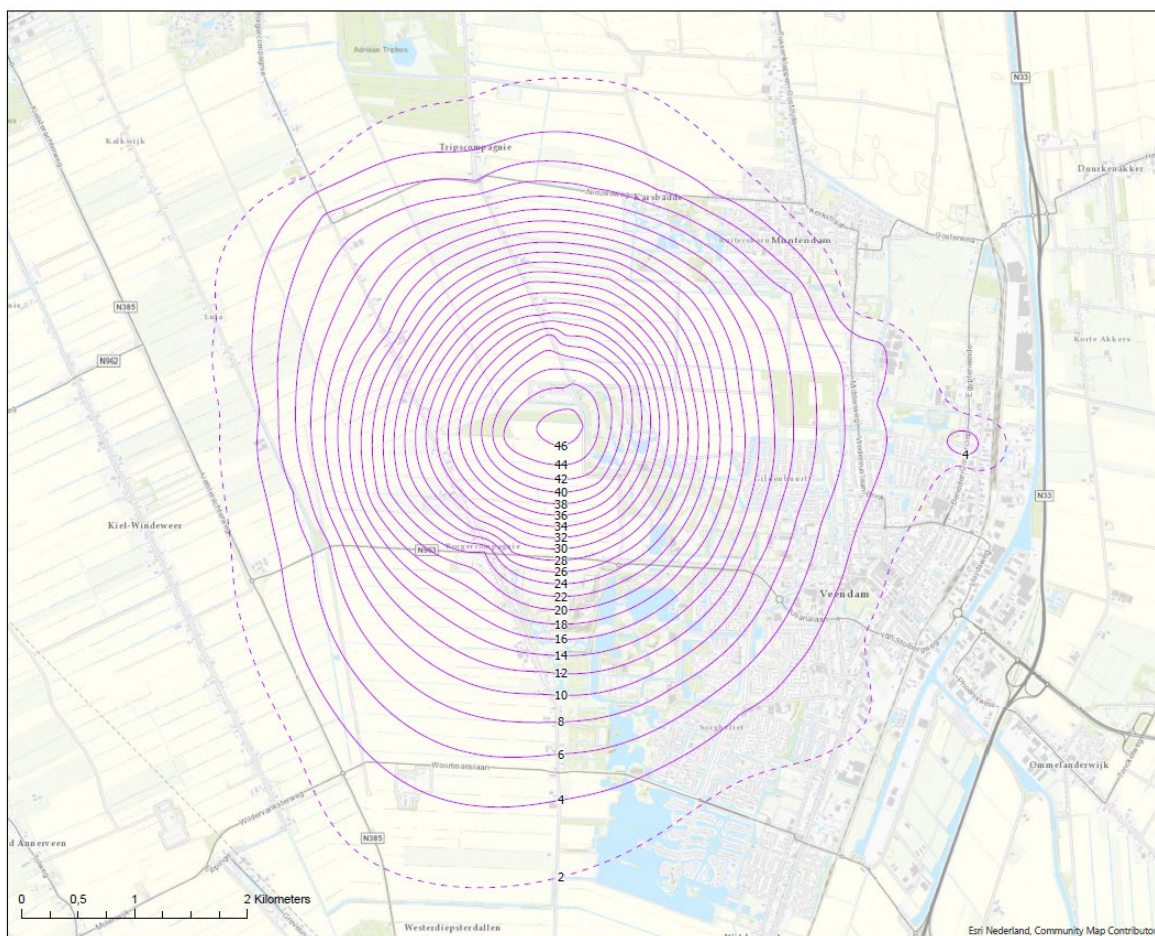
Ref: Mbb artikel 24 lid 1m, 1n, 1o

5.2.2.1 Huidige bodemdaling

De bodemdaling wordt periodiek gemeten op basis van een door het Staatstoezicht op de Mijnen goedgekeurd meetplan. In de huidige situatie wordt eens per twee jaar een waterpasmetering uitgevoerd in een gebied met ruim 400 meetpunten (bijlage 4). Op basis van nieuwe inzichten kan een andere methode gekozen worden voor het meten van de bodemdaling, bijvoorbeeld via InSAR. Een wijziging van de methode om bodemdaling te meten dient goedgekeurd te worden door SodM.

De meest recente waterpas bodemdalingsmeting is uitgevoerd in het eerste helft van 2018. De contourenkaart van deze meting is weergegeven in figuur 22. De daling in het diepste punt bedraagt circa 46 cm, gemeten vanaf 1977.²⁰

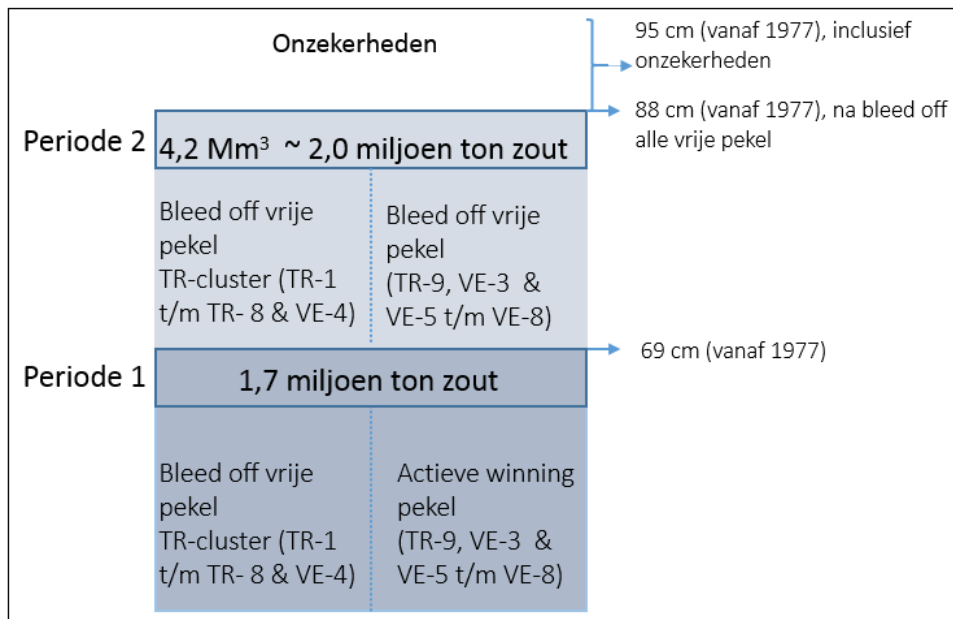
²⁰ Conform de ingediende contourenkaarten volgens artikel 3 van het instemmingsbesluit op het winningsplan 2013 bedraagt de daling over de periode 1977 – 1993 ca. 4 cm.



Figuur 22: Gemeten bodemdaling in cm, periode 1977 – eerste helft 2018.

[Toegepast model](#)

Voor de voorspelling van de bodemdaling tijdens de in dit winningsplan beschreven periodes van zoutwinning heeft Nedmag een model toegepast dat is gebaseerd op de Geertsma & Van Opstal methode. Het Nedmag model is opgesteld door SGS Horizon en is gekalibreerd op basis van de gegevens en ervaringen van de afgelopen jaren [16]. De bodemdalingsprognose [17] is gebaseerd op de in figuur 12 weergegeven productiehoeveelheden. In figuur 23 zijn deze productiehoeveelheden aangevuld met de hierbij verwachte bodemdaling.



Figuur 23: Verwachte bodemdaling voor de verschillende productieperiodes. Leesrichting: van onder naar boven.

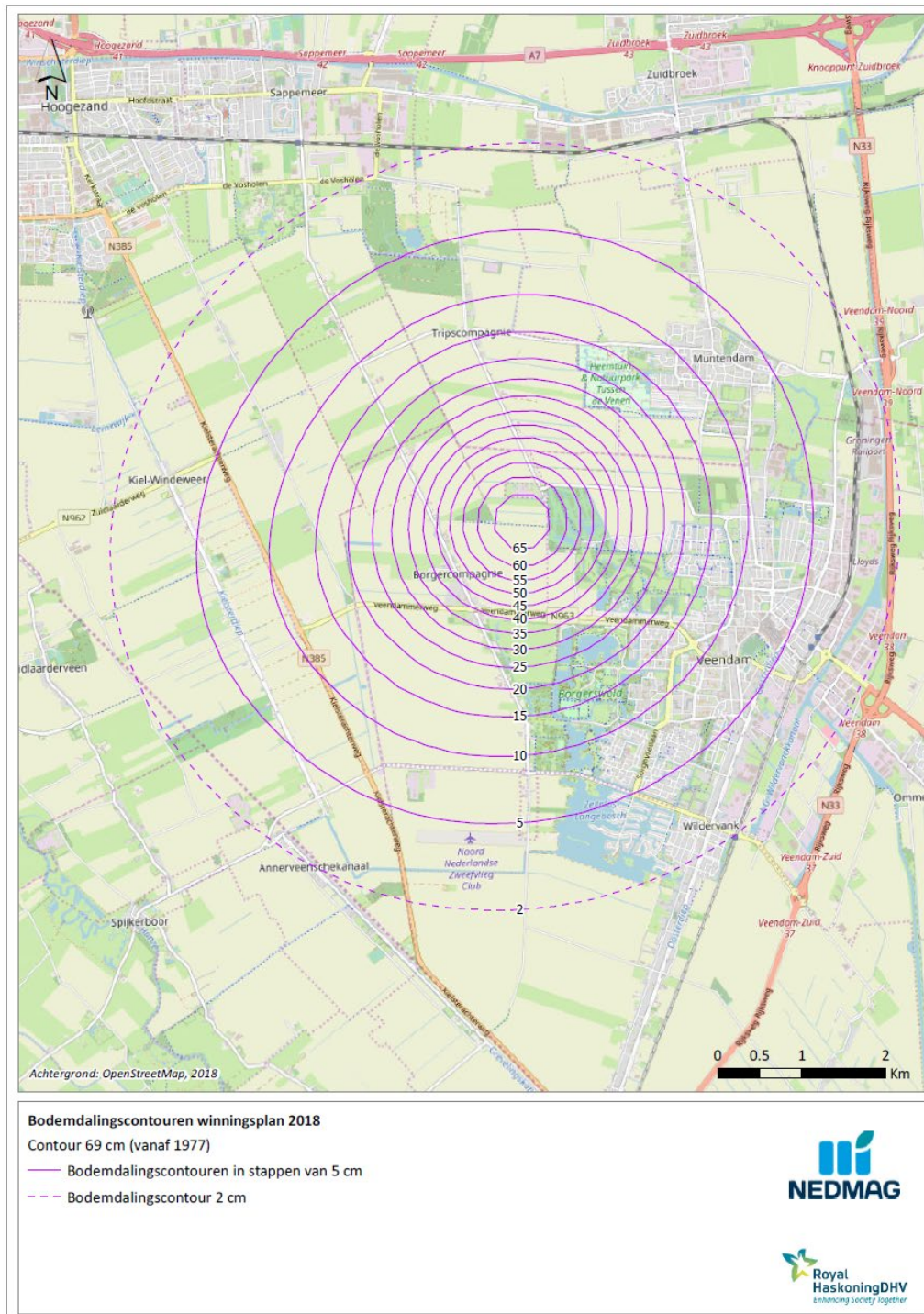
Bodemdaling tijdens de ontwikkeling van de bronnen VE-5-6

Nedmag gaat er vanuit dat de bronnen VE-5 en VE-6 kunnen worden geboord en initieel ontwikkeld binnen het winningsplan 2013. Met de initiële ontwikkeling wordt het vormen van een caverne met een volume van 100.000 m³ bedoeld. De verdere ontwikkeling tot een caverne met een volume van 450.000 m³ (zie hoofdstuk 3.1) maakt onderdeel uit van het winningsplan 2018. Mocht dit uitgangspunt niet correct zijn, dan maken alle fasen van VE-5 en VE-6 integraal onderdeel uit van het winningsplan 2018.

Na het boren van de bronnen VE-5 en VE-6 worden deze onder licht sub-lithostatische condities ontwikkeld. Er vindt bijna geen squeeze productie plaats waardoor er nauwelijks bodemdaling optreedt [17], zeker niet tijdens de initiële ontwikkeling. Ook een eventuele bleed off van de vrije pekel uit VE-5 en VE-6 met ieder een volume van ongeveer 100.000 m³ levert slechts een zeer beperkte bodemdaling op.

Bodemdaling na afloop van de 1,7 miljoen ton winning

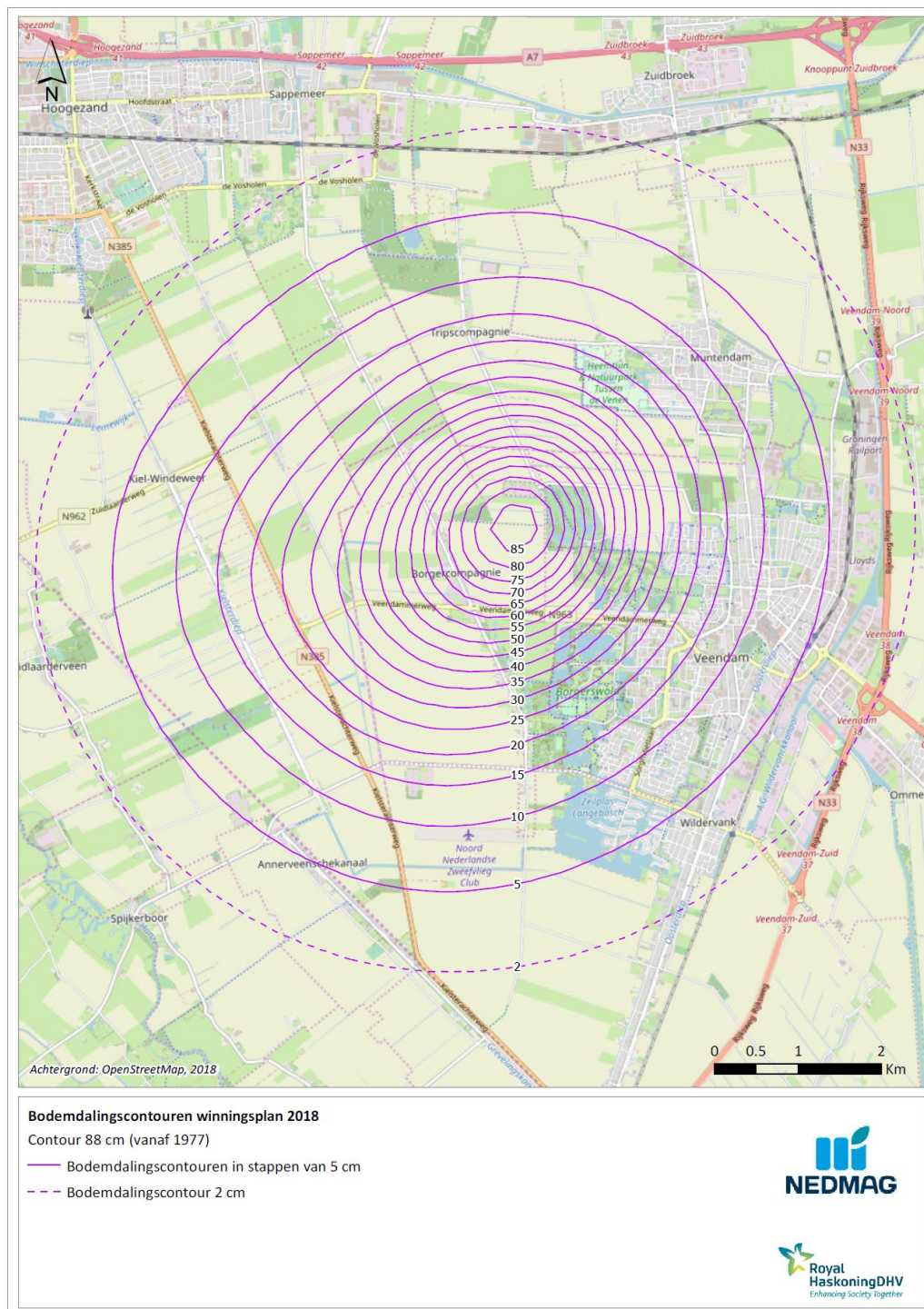
Nadat 1,7 miljoen ton magnesiumzout is gewonnen door het afdalen van pekkel uit het TR-cluster en door actieve winning uit de bronnen TR-9, VE-3 en VE-5 tot en met VE-8 (naar verwachting in 2025) zal de bodemdalingscontour ontstaan zoals in onderstaand figuur 24 is weergegeven. De bodemdaling in het diepste punt zal dan 69 cm bedragen vanaf 1977.



Figuur 24: Bodemdalingscontour vanaf 1977 na afdalen vrije pekkel uit TR-cluster en na actieve winning uit bronnen TR-9, VE-3 en VE-5 tot en met VE-8.

Bodemdaling aan het einde van productie periode 2 (bleed off)

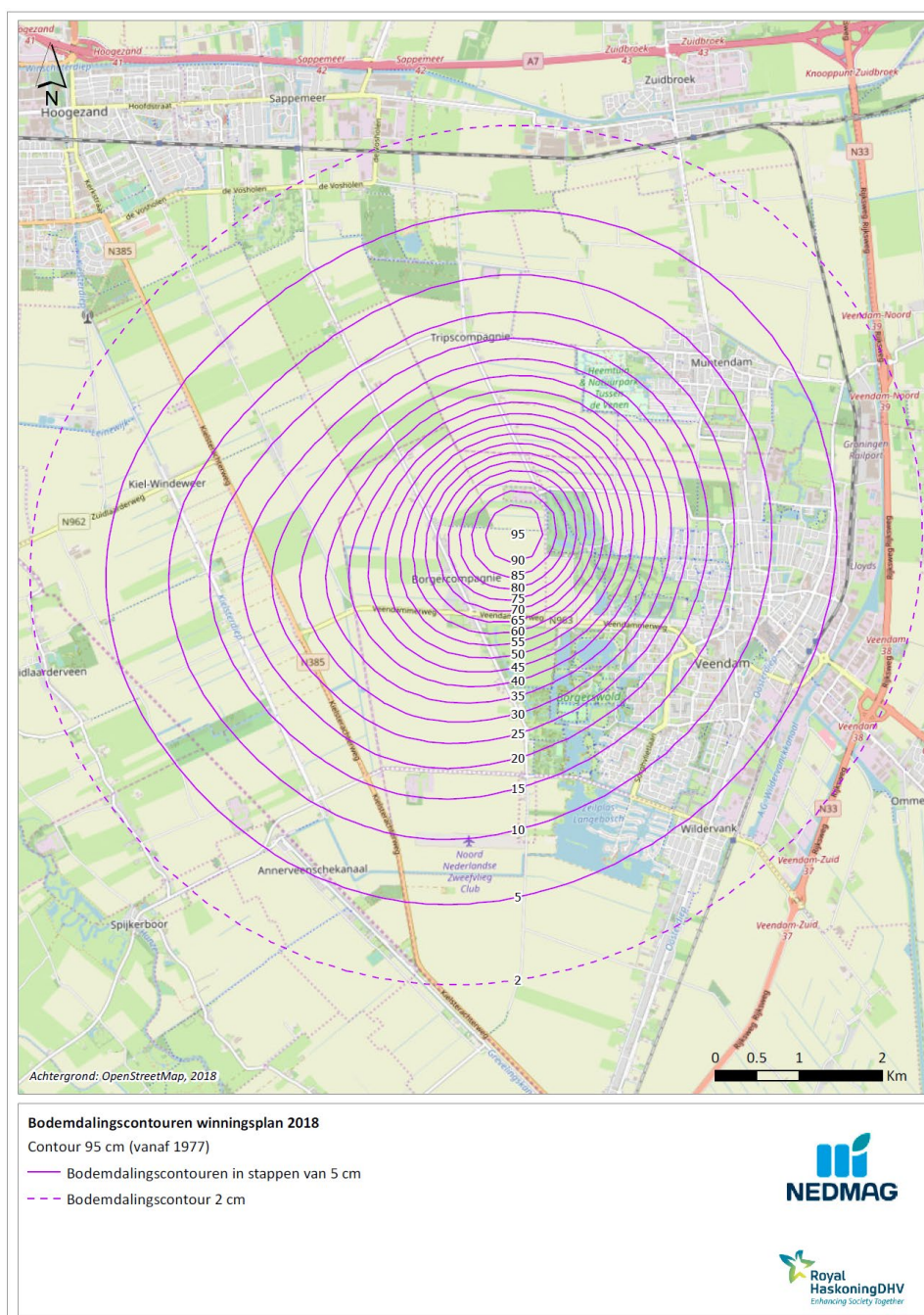
Nadat 1,7 miljoen ton magnesiumzout is gewonnen en nadat vervolgens de hoeveelheid vrije pekkel (berekend op 4,2 miljoen m³) zo veel mogelijk is gereduceerd, zal de bodemdalingcontour ontstaan zoals weergegeven in onderstaand figuur 25. De bodemdaling in het diepste punt zal dan omstreeks 2045 88 cm bedragen vanaf 1977.



Figuur 25 : Bodemdalingcontour vanaf 1977 na bleed off van alle vrije pekkel (omstreeks 2045).

Conservatieve benadering verwachte bodemdaling

Indien rekening gehouden wordt met onzekerheden in de berekende hoeveelheden af te laten vrije pekel [9, 17], ontstaat omstreeks 2045 een bodemdaling zoals weergegeven in figuur 26. Bij deze conservatieve benadering zal de bodemdaling in het diepste punt 95 cm kunnen bedragen vanaf 1977. In het voorliggende winningsplan is een maximale daling van 95 cm als uitgangspunt genomen bij het beoordelen van de mogelijke risico's van zoutwinning en bij het vaststellen van te nemen waterhuishoudkundige maatregelen.



Figuur 26 : Bodemdalingcontour vanaf 1977 na bleed off van alle vrije pekel (omstreeks 2045), conservatieve benadering.

Geen ongelijkmatige bodemdaling (sinkholes)

De winning van magnesiumzout gaat gepaard met een gelijkmatige bodemdaling, en niet met ongelijkmatige verzakkingen aan de oppervlakte. Bij ondiepe cavernes kan in theorie een zich naar boven verplaatsende instorting van het cavernedak op den duur tot een sinkhole (zinkgat) leiden. Aangezien de cavernes van Nedmag zich op grote diepte bevinden en vanwege de 'bulking factor'²¹ zullen sinkholes niet optreden [12].

5.2.3 Risicobeoordeling bodemtrillingen

Ref: Mbb artikel 24 lid 1p

Sinds het begin van de zoutwinning van Nedmag zijn in de omgeving van Veendam geen bodemtrillingen waargenomen als gevolg van de winningsactiviteiten. Dit wordt bevestigd door de waarnemingen van het KNMI (<http://www.knmi.nl>): alle geïnduceerde trillingen in de omgeving van Veendam zijn waargenomen op een diepte van 3 km. Magnesiumzoutlagen bevinden zich op een diepte van 1300 tot 1800 m. Het KNMI beschikt in Groningen en Drenthe over een uitgebreid meetnet dat zelfs kleine trillingen met een magnitude van 0,2 op de schaal van Richter registreert.

De bronnen waaruit Nedmag zout wint bevinden zich in zoutlagen op circa 1500 m diepte, dus ver boven de gasreservoirs. Deze zoutlagen zijn veel zachter en veel minder bros dan de zandsteenlagen waaruit gas wordt gewonnen. De deformaties die de oplosmijnbouw veroorzaakt in het ductiele zout rond de cavernes zijn dus a-seismisch, en veroorzaken geen aardtrillingen. Geomechanische modellen van de ondergrond in de omgeving van Veendam waar veranderingen in de spanning door oplosmijnbouw kunnen optreden, zijn eerder door-gerekend om te onderzoeken of deze veranderingen tot het reactiveren van bestaande breuken kunnen leiden [18]. De resultaten van deze berekeningen laten zien dat de veranderingen in spanning in de lagen boven het zout ten gevolge van oplosmijnbouw veel kleiner zijn dan die in de gasreservoirs ten gevolge van gaswinning. In het algemeen worden de lagen boven het zout zelfs een beetje stabiel door zoutwinning, omdat de spanning in verticale richting sterker afneemt dan in horizontale richting, en dus de schuifspanning afneemt. Er is een klein gebied aan de rand van het caverneveld van Nedmag waar de schuifspanningen licht toenemen, maar het is zeer onwaarschijnlijk dat deze toename tot reactivering van de breuken kan leiden.

Een nadere analyse is uitgevoerd naar de invloed van de in dit winningsplan beschreven zoutwinning op de mogelijke reactivering van aanwezige breuken in het gesteente [19]. De conclusie is, in lijn met de hierboven genoemde studie, dat het onwaarschijnlijk is dat de zoutwinning van Nedmag inactieve bestaande breukvlakken zal reactiveren, zolang het zoutdak intact blijft.

Ook is nagegaan of het wegstromen van (grote) hoeveelheden vloeistof door het zoutdak kan resulteren in voelbare trillingen. De vloeistof zou dan in bestaande breuken moeten

²¹ Los materiaal neemt een groter volume in dan het oorspronkelijke vaste materiaal.

stromen. Deze breuken zijn echter niet of zeer beperkt toegankelijk voor vloeistof. Daarom wordt ook dit scenario onwaarschijnlijk geacht. Tijdens het incident van 20 april 2018 heeft het KNMI dan ook slechts een zeer kleine, nauwelijks meetbare (en niet goed lokaliseerbare) trilling waargenomen.

5.2.4 Gevolgen van bodemdaling

Ref: Mbw artikel 35 lid 1g; Mbb artikel 24 lid 1q,1s

Onderzoek Deltares naar de invloed van bodemdaling op gebouwen en infrastructuur

In het kader van het winningsplan 2018 heeft Deltares onderzoek uitgevoerd naar de invloed van bodemdaling door de zoutwinning van Nedmag op bebouwing en infrastructuur [20]. In dit onderzoek is Deltares uitgegaan van een conservatieve benadering met een maximale bodemdaling van 95 cm. Deltares heeft in haar onderzoek de aangescherpte criteria gehanteerd zoals TU Delft die in het kader van het onderzoek naar gebouwschade in Groningen heeft geïntroduceerd [2]. Daarnaast is beoordeeld of de versnelling van de bodemdaling die in het voorjaar van 2018 is opgetreden in de directe omgeving van de locatie Trip-scompagnie (WHC-2), van invloed is op gebouwen en infrastructuur.

Uit het onderzoek van Deltares blijkt dat zettingsverschillen en horizontale rek van gebouwen als gevolg van de zoutwinning veel kleiner zijn dan de waarden waarbij schade ontstaat. Deltares concludeert: “Gebouwschade en schade aan infrastructuur door zetting is een lokaal verschijnsel. Er treedt pas gebouwschade op 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 zoutwinning ontstaat, zal niet tot deze situatie leiden”²².

Onderzoek TU Delft naar gebouwschade in Groningen

TU Delft heeft in opdracht van de Nationaal Coördinator Groningen (NCG) onderzoek uitgevoerd naar de mogelijke oorzaken van schade aan gebouwen in de provincie Groningen. TU Delft heeft in totaal 69 panden van uiteenlopende typen onderzocht. 18 van de onderzochte panden bevinden zich in het gebied Veendam, waar zowel sprake is van zoutwinning (Nedmag en Nouryon²³) als van invloeden door gaswinning (NAM) en gasopslag (EnergyStock).

Met betrekking tot diepe bodemdaling concludeert TU Delft in het rapport:

“Diepe bodemdaling: deze speelt geen rol bij het ontstaan van schade door zettingen in de onderzochte gevallen, althans niet in termen van door de bodemdaling veroorzaakte hellingen, krommingen en rekken in de bodem en in een gebouw. Dit geldt ook voor locaties met een zeer diepe bodemdaling en zogenaamde gestapelde mijnbouwactiviteiten nabij Veendam en nabij Winschoten”²⁴.

²² Brinkman, J. Deltares (oktober 2018) Invloed van bodemdaling door zoutwinning Nedmag op bebouwing en infrastructuur, samenvatting

²³ Voorheen AKZO Nobel

²⁴ Staalduinen, P.C. van; Terwel, K.C. en Rots, J.G, TU Delft (11 juli 2018). Onderzoek naar de oorzaken van bouwkundige schade in Groningen, pagina 9

Ten aanzien van peilaanpassingen en wijziging van grondwaterstanden constateert TU Delft: “In enkele afzonderlijke gevallen hebben peilaanpassingen van oppervlaktepeilen verband houdend met diepe bodemdaling door mijnbouwactiviteiten mogelijk wel invloed gehad op de grondwaterstand. Deze oorzaak speelt alleen in zeer specifieke situaties een rol”²⁵. Vanwege privacy redenen beschikt Nedmag niet over informatie in welk gebied of bij welke panden dit een rol speelt.

Uit het onderzoek van TU Delft is niet gebleken dat effecten van gas- en zoutwinning (gestapelde mijnbouw) een rol spelen bij de schades aan de onderzochte gebouwen.

TU Delft en Deltares constateren dat diepe bodemdaling niet leidt tot schade aan gebouwen. Beide onderzoeksinstituten geven aan dat het adequaat aanpassen van de waterpeilen een belangrijke voorwaarde is om te voorkomen dat schade ontstaat.

[Waterhuishouding](#)

Als gevolg van de bodemdaling stijgt het relatieve grondwaterpeil. Om negatieve gevolgen voor gebouwen en landbouw te voorkomen dient de (grond)waterstand te worden aangepast aan de bodemdaling. In december 2002 heeft Nedmag met de gemeenten Veendam en Menterwolde (laatstgenoemde inmiddels deel uitmakend van de gemeente Midden-Groningen) en het Waterschap Hunze en Aa's de overeenkomst “betreffende de kosten van bodemdaling door zoutwinning tussen Nedmag en lokale overheden” gesloten, met een looptijd van 20 jaar [21]. Genoemde betrokken partijen overleggen, samen met het Staatstoezicht op de Mijnen en onder voorzitterschap van de provincie Groningen, periodiek over de actuele en verwachte bodemdaling alsmede over de te nemen maatregelen. Deze overleggroep vormt de ambtelijke werkgroep bodemdaling Nedmag. Als er aanleiding is tot nader overleg op bestuurlijk niveau vindt op verzoek van één van de partijen bestuurlijk overleg plaats.

De overeenkomst met de lokale overheden regelt onder andere de vergoeding voor de benodigde beheersmaatregelen als gevolg van de bodemdaling door zoutwinning. In de overeenkomst is vastgelegd dat Nedmag hiervoor een vast bedrag reserveert per hoeveelheid volgens de squeeze methode gewonnen zout.

Benodigde beheersmaatregelen bestaan hoofdzakelijk uit te nemen preventieve maatregelen aan de waterlopen. De afgelopen jaren zijn diverse gemalen en stuwen geplaatst en zijn hiermee de oppervlaktewaterpeilen aangepast. Enkele voorbeelden hiervan zijn weergegeven in figuur 27. De reeds genomen maatregelen zijn toereikend voor de actieve winningsfase tot een bodemdaling van 65 cm gerekend vanaf 1993, en rekening houdend met de bodemdaling door gaswinning [22].

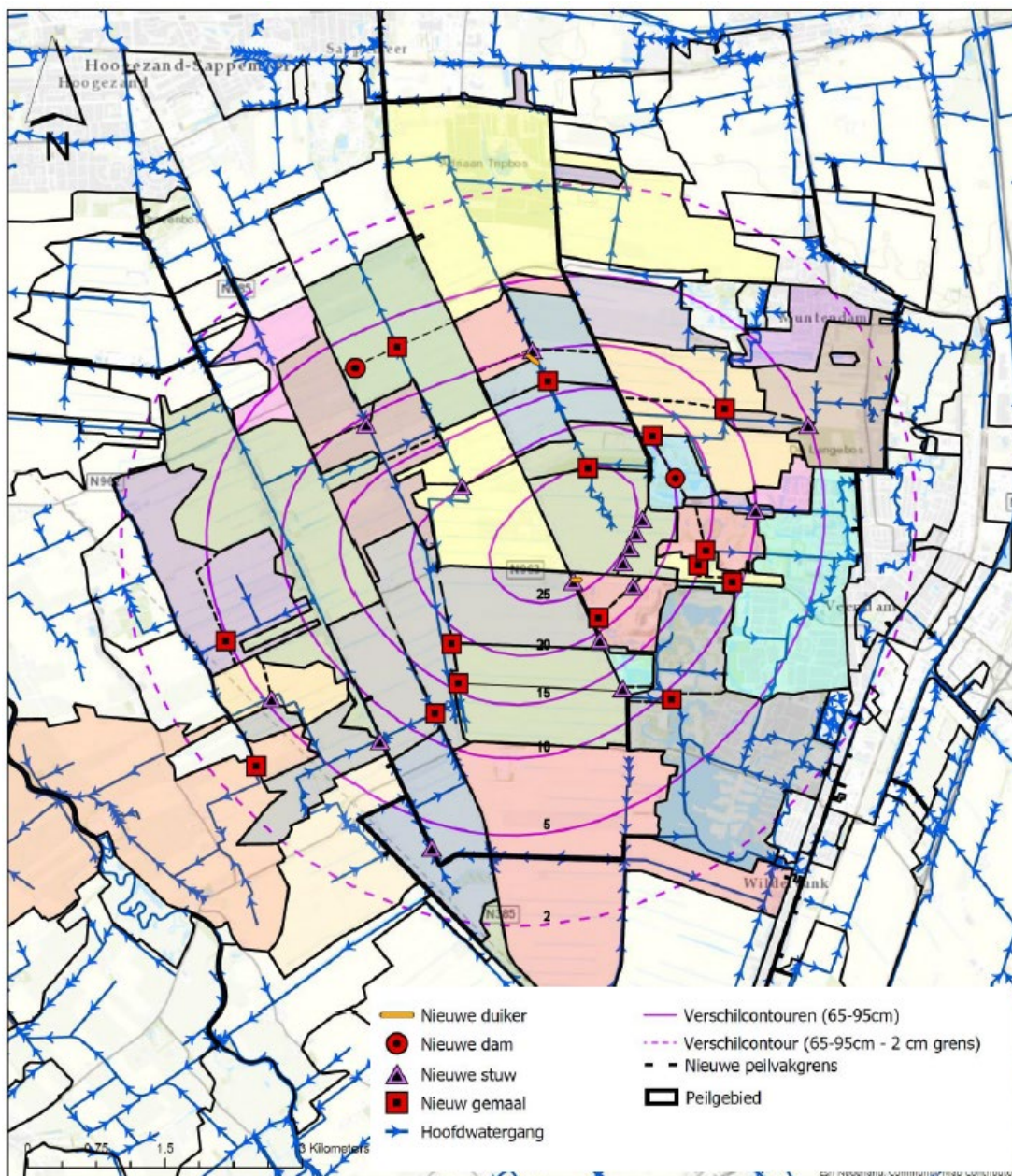
²⁵ Staalduinen, P.C. van; Terwel, K.C. en Rots, J.G, TU Delft (11 juli 2018). Onderzoek naar de oorzaken van bouwkundige schade in Groningen, pagina 9



Figuur 27: Voorbeelden van in Veendam genomen waterhuishoudkundige maatregelen.

De te nemen waterhuishoudkundige maatregelen voor het winningsplan 2018 zijn onderzocht uitgaande van de bodemdalingscontour met een maximale bodemdaling van 95 cm (figuur 26, conservatieve benadering). Zoals in hoofdstuk 3.6 is vermeld zal het lang duren (tot circa 2045) voordat de laatste hoeveelheid pekel kan worden afgelaten en de maximale bodemdaling (prognose 88 cm) wordt bereikt. Het uitgangspunt bij de te nemen maatregelen is het jaar 1993, omdat het waterschap toen de peilen opnieuw heeft vastgesteld na de herinrichting van de Veenkoloniën.

Zoals hierboven aangegeven zijn de waterhuishoudkundige maatregelen behorende bij een bodemdaling van 65 cm (winningsplan 2013) reeds uitgevoerd door het Waterschap Hunze en Aa's. In het kader van het winningsplan 2018 is onderzocht welke aanvullende waterhuishoudkundige maatregelen nodig zijn uitgaande van de conservatieve benadering met een maximale bodemdaling van 95 cm. Uit dit onderzoek [23] blijkt dat de peilen van het oppervlaktewater bij een bodemdaling van 95 cm goed beheerst kunnen worden door onder meer het opdelen van peilvakken en het plaatsen van extra stuwen en gemalen. In figuur 28 is opgenomen waar welke maatregelen nodig zijn. De uitgevoerde waterhuishoudkundige studie [23] is een eerste verkenning. Na het van kracht worden van het winningsplan 2018 zal deze studie conform de overeenkomst tussen Nedmag en lokale overheden [21] nader worden uitgewerkt in een maatregelenplan en in een peilbesluit.



nen de invloedssfeer van Nedmag een onderzoek uitgevoerd door een bouwkundig inspectiebureau. Bij de beoordeling van een schademelding wordt de bodemdaling door zowel gas- als zoutwinning meegenomen.

Regionale en lokale bestuurders en de Technische commissie bodembeweging (Tcbb) pleiten voor de oprichting van één loket voor mijnbouwschade aan gebouwen [26]. De minister van Economische Zaken en Klimaat heeft de Tweede Kamer laten weten voornemens te zijn een onafhankelijke commissie mijnbouwschade in het leven te roepen. Nedmag is voorstander van een dergelijke commissie. Bij gebouwschade in de provincie Groningen (en in het zoutwinningsgebied van Nedmag) spelen verschillende factoren een rol, zoals ook naar voren komt in het onderzoek van TU Delft [2]. Bij mijnbouwschade is het niet altijd duidelijk bij wie de bewoners moeten aankloppen. Het is wenselijk dat bewoners zich bij één onafhankelijk loket kunnen melden dat de schade beoordeelt en de afhandeling regelt.

5.2.5 Maatregelen ter beperking van bodemdaling

Ref: Mbb artikel 24 lid 1r

De mate van bodemdaling als gevolg van de winning van magnesiumzout kan op twee manieren gereduceerd worden:

- Produceren onder lithostatische condities, dit is de winningsmethode die Nedmag vóór 1993 heeft toegepast;
- Injecteren van vaste stoffen in het caverneveld.

Produceren onder lithostatische condities

Het winnen van zout onder lithostatische condities geeft tijdens de winning veel minder bodemdaling, maar laat een grote hoeveelheid vrije pek in de ondergrond achter. Gevolg daarvan zou zijn dat volgende generaties met een groot potentieel aan bodemdaling geconfronteerd worden. Na de opening in het zoutdak in april 2018 is duidelijk geworden dat deze winningsmethode geen geschikt alternatief is omdat het zoutdak niet intact blijft nadat een caverne met cement pluggen is afgesloten.

Injecteren van vaste stoffen in het caverneveld

De mate van bodemdaling kan gereduceerd worden door de injectie van een inerte vaste stof. Het injecteren van een vaste stof is alleen mogelijk als de stof verpompbaar (dus redelijk fijnkorrelig en weinig erosief) is en zich in de caverne als een suspensie kan verspreiden alvorens te bezinken. Het injecteren van inerte stoffen is gezien de kosten economisch alleen haalbaar als stoffen met een negatieve economische waarde (afvalstoffen) gebruikt worden. Volgens de huidige wetgeving mogen afvalstoffen echter niet geïnjecteerd worden. De enige stof waarvan injectie wel is toegestaan, is het gips dat op de Nedmag productielocatie in Veendam ontstaat bij de desulfatering van de gewonnen pek. De hoeveelheid gips die geïnjecteerd kan worden, leidt slechts tot een zeer beperkte vermindering van de bodemdaling.

5.3 Risicobeoordeling verontreiniging van drink- of oppervlaktewater en/of bodem

5.3.1 Gebruik dieselolie

De risico's van verontreiniging van drink- of oppervlaktewater en/of bodem door het gebruik van diesel als dakolie zijn onderzocht, zowel bij bestaande als bij nieuw te ontwikkelen cavernes.

Permeatie van dieselolie door het zoutdak

Bestaande cavernes

Voor bestaande cavernes is onderzocht wat de gevolgen zijn van het migreren van diesel door het zoutdak na abandonnering [7]. In het slechtste scenario zal alle diesel (ruim 40.000 m³) volledig door het Zechstein zoutdak migreren. De diesel zal zich dan verzamelen in de poriën van de Bunt- of Vlieland zandsteenlaag en kan niet verder migreren door de op 750 meter diepte gelegen afsluitende Vlieland kleilaag²⁶. Het risico van verontreiniging van het grondwater is daarmee verwaarloosbaar klein.

Nieuwe cavernes

Uit onderzoeken naar de risico's van het gebruik van diesel bij de ontwikkeling van de nieuw te realiseren bronnen VE-5 tot en met VE-8 blijkt dat de diesel na het abandonneren zeer waarschijnlijk achterblijft (geabsorbeerd wordt) in het Zechstein zout [5,6]. Indien de diesel na het abandonneren samen met de pekels toch deels door het zoutdak zou migreren, verzamelt de diesel zich in de poriën van de Bunt- of Vlieland zandsteenlaag en blijft onder de Vlieland kleilaag zitten op een diepte van 800 m onder het maaiveld. Het risico van verontreiniging van het grondwater is daarmee verwaarloosbaar klein.

Uitstroom van diesel door een opening in het zoutdak

Zoals in hoofdstuk 4 is beschreven en in Figuur 19 is toegelicht zal door het beheersen van de cavernedruk tijdens de winning geen opening in het zoutdak meer ontstaan. Na abandonnering zal door de geleidelijke en onvermijdelijke drukverhoging wel een opening ontstaan en zal een beperkte hoeveelheid pekels met hierin mogelijk dieselolie door het zoutdak afleken. Dit scenario is geëvalueerd. Ook in dit geval blijft de uitstromende vloeistof onder de top van de Vlieland kleilaag en is de kans op verontreiniging van het grondwater verwaarloosbaar klein [11].

Initiële ontwikkeling VE-5 en VE-6

In de beoordeling van de risico's van het gebruik van diesel bij de ontwikkeling van VE-5 tot en met VE-8 is uitgegaan van netto 2500 m³ dieselolie per caverne.²⁷ Zoals hierboven is beschreven is de kans op verontreiniging van het grondwater bij deze hoeveelheid verwaarloosbaar klein. Bij de initiële ontwikkeling onder het winningsplan 2013 van VE-5 en VE-6 tot een maximaal volume van 100.000 m³ per caverne raakt per caverne naar schatting 400 m³

²⁶ Ter plaatse van de bestaande cavernes bevindt de Vlieland kleilaag zich op 750 m diepte. Voor de nieuwe bronnen VE-5 tot en met VE-8 bevindt de Vlieland kleilaag zich op 800 m diepte.

²⁷ Per caverne kan naar verwachting 250 m³ dieselolie worden teruggewonnen.

dieselolie ingesloten. De kans op verontreiniging van het grondwater door het gebruik van dieselolie bij de initiële ontwikkeling van VE-5 en VE-6 is daarmee nog kleiner.

5.3.2 Transportleidingen

Om lekkage van water en/of pekkel via de transportleidingen naar drink- of oppervlaktewater en/of bodem te voorkomen, wordt gebruik gemaakt van deugdelijk leidingwerk conform de Nederlandse Richtlijn Bodembescherming (NRB).

De stalen leidingen die voor hoge druktransport van pekkel en water gebruikt worden, zijn voorzien van 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 het begin en het einde van de leiding) lekkage kan worden gedetecteerd.

Nedmag heeft de monitoring van transportleidingen opgenomen in een beheersplan voor ondergrondse leidingen. Er vindt gepland preventief onderhoud aan transportleidingen plaats.

5.3.3 Putafdichtingen en integriteit zoutdak

Verontreiniging van drink- of oppervlaktewater en/of bodem door falende putafdichtingen en een falende integriteit van het zoutdak dient voorkomen te worden.

Putafdichtingen

Een van de uitgangspunten bij het ontwerp van de winningsputten is het voorkomen van lekkage. Zo worden bijvoorbeeld casings gecementeerd. Tevens wordt de integriteit van casings van aangelegde winningsputten bewaakt.

In de conservatieve benadering met maximaal 95 cm bodemdaling, zou de ondergrondse gesteentevervorming van invloed kunnen zijn op de integriteit van de verbuizingen. Berekeningen [15] tonen aan dat voor de verschillende configuraties van de Nedmag winningsputten de veiligheidsmarge ten opzicht van het falen van de verbuizing 1,3 tot 3,3 bedraagt. De bronnen VE-1 tot en met VE-4 hebben een kleinere veiligheidsmarge dan de TR-bronnen, maar het is niet waarschijnlijk dat de verbuizingen beschadigd raken door verticale overbelasting als gevolg van de optredende bodemdaling. Ter plaatse van de VE-bronnen is de bodemdaling veel kleiner dan 95 cm.

Integriteit zoutdak

In hoofdstuk 4 is uitgebreid beschreven op welke wijze tijdens alle fasen van de winning de druk in de cavernes beheerst wordt om de integriteit van het zoutdak te bewaken en de risico's voor grond- en drinkwater en/of bodem te minimaliseren. In hoofdstuk 4 is ook beschreven hoe het risico van verontreiniging na abandonnering tot een aanvaardbaar niveau wordt teruggebracht.

5.4 Natuur en grondwaterwinning

Ref: Mbw artikel 36 1c, 1d

Naast de benodigde aanpassingen van de waterhuishouding zoals beschreven in hoofdstuk 5.2.4 is onderzocht welke andere aspecten op gebied van natuur en milieu een rol spelen bij de zoutwinning [23]. In de omgeving van het zoutwinningsgebied liggen de Natura 2000 gebieden Zuidlaardermeer en het Drentsche Aa-gebied. Het bodemdalingsgebied met een maximale bodemdaling van 95 cm (conservatieve benadering) strekt zich niet uit tot deze Natura 2000 gebieden, waardoor er geen effecten op natuur te verwachten zijn.

Op 5 km van het zoutwinningsgebied van Nedmag ligt het grondwaterbeschermingsgebied van Onnen. Gezien deze grote afstand zijn er geen effecten te verwachten als gevolg van de bodemdaling of andere invloeden van de zoutwinning.

5.5 Monitoring en rapportage

Nedmag monitort het proces en de gevolgen van de winning van magnesiumzout, rapporteert hierover en stuurt bij als de noodzaak daartoe ontstaat. Dit hoofdstuk geeft een overzicht van eerder en niet eerder in dit winningsplan genoemde vormen van monitoring.

Zoutwinning

Conform de mijnbouwwetgeving rapporteert Nedmag regulier aan het Staatstoezicht op de Mijnen (SodM) over onder meer de volgende aspecten van de zoutwinning:

- Maandelijks: gewonnen en geïnjecteerde hoeveelheden per winningsput.
- Jaarlijks: gewonnen en geïnjecteerde hoeveelheden per winningsput, prognose pekelpductie voor de komende jaren, (status van) werkzaamheden aan de winningsputten.
- Jaarlijks: voortschrijdend vijfjarenplan met voornaamste activiteiten en onderzoeken, structuur van de ondergrond.

Bodembeweging

- Jaarlijks dient Nedmag bij SodM een meetplan in waarin wordt beschreven op welke wijze de bodemdaling wordt gemeten. Dit meetplan dient door SodM te worden goedgekeurd.
- De bodemdaling wordt iedere twee jaar gemeten met behulp van waterpassing (zie ook hoofdstuk 5.2.2). Nedmag rapporteert de resultaten van deze metingen aan SodM en aan de ambtelijke werkgroep bodemdaling. In deze werkgroep zijn onder meer de betrokken gemeenten en het waterschap vertegenwoordigd. Ook stelt Nedmag een prognose op van de verwachte bodemdaling. Deze prognose is van belang voor een goede planning van te nemen waterhuishoudkundige maatregelen. Periodiek wordt de voortgang op bestuurlijk niveau besproken.
- Nedmag plaatst de contourenkaart met de gemeten daling op haar website.
- Als gevolg van de opening in het zoutdak in april 2018 is een versnelde bodemdaling opgetreden die samenhangt met het aflaten van de vrije pekelpakketten uit het TR-cluster. De situatie wordt adequaat gemonitord:

- Op de locatie WHC-2 is een GPS-station geplaatst, om de bodemdaling ter plekke continu te kunnen monitoren.
- Tevens wordt (mogelijk tijdelijk) de ontwikkeling van de bodemdaling gevolgd via InSAR satellietmetingen.

Een nauwkeurige analyse van de mogelijke impact van de opening in het zoutdak op de verwachte bodemdaling vereist metingen die zich over een langere periode uitstrekken. De verwachting is dat in de loop van 2019 een nauwkeurige analyse beschikbaar zal zijn. Nedmag rapporteert de uitkomsten van de metingen aan SodM en zal de analyse op haar website plaatsen.

Indien uit deze InSAR metingen blijkt dat het aflaten van de vrije pekel uit het TR-cluster een significante en blijvende invloed heeft op de bodemdalingscontouren zoals die zijn weergegeven in het winningsplan 2018, zal Nedmag nagaan welke mogelijkheden er zijn om aan de ingediende contouren te kunnen voldoen of zullen gewijzigde contouren worden ingediend bij SodM. Tevens wordt in de ambtelijke werkgroep bodemdaling Nedmag afgestemd over eventueel benodigde aanvullende waterhuishoudkundige maatregelen.

- Begin 2019 plaatst Nedmag een seismisch meetstation (geofoon) in de directe nabijheid van de locatie WHC-2. Dit station wordt aan het KNMI overgedragen en opgenomen in het KNMI meetnet.

Waterhuishouding

De waterpeilen dienen mee te dalen met de bodemdaling om schade aan gebouwen en infrastructuur te voorkomen. Op basis van de gemeten bodemdaling en de prognoses van de toekomstige bodemdaling stemt Nedmag met het waterschap en de andere leden van de ambtelijke werkgroep bodemdaling Nedmag af welke waterhuishoudkundige maatregelen nodig zijn. Tevens wordt in opdracht van de ambtelijke werkgroep getoetst of genomen maatregelen effectief zijn geweest. Indien nodig worden aanvullende maatregelen genomen. Nedmag financiert de maatregelen. Het waterschap legt de aanvullende waterhuishoudkundige maatregelen die in het kader van het winningsplan 2018 genomen dienen te worden, vast in een ontwerp peilbesluit dat ter inzage wordt gelegd. Belanghebbenden kunnen een zienswijze indienen en na vaststelling van het definitieve besluit beroep aantekenen.

Bodem en grondwater

Nedmag heeft een programma opgezet om de mogelijke gevolgen te monitoren van het incident van 20 april 2018 waarbij pekel en mogelijk dieselolie zijn weggestroomd naar de lagen boven de caverne van het TR-cluster. Een aantal peilbuizen en bronnen op en rond de locatie WHC-2 wordt frequent geanalyseerd op aanwezigheid van olie. Tot op heden is geen verontreiniging aangetroffen. De monitoring wordt binnenkort uitgebreid met een aantal strategisch geplaatste en van divers voorziene peilbuizen bovenin de eerste en tweede watervoerende laag. Nedmag rapporteert aan SodM over resultaten van de monitoring. Indien verontreiniging wordt aangetroffen, dan informeert Nedmag betrokken instanties en worden passende maatregelen genomen.

6. Kosten van de zoutwinning

Ref: Mbw artikel 35 lid 1e; Mbb artikel 24 lid 1l

Deze gegevens zijn vertrouwelijk, maken geen deel uit van het openbare winningsplan en zijn separaat ingediend bij het ministerie van Economische Zaken en Klimaat.

7. Verklarende woordenlijst

Begrip	Omschrijving
A-seismisch	Zonder optreden van trillingen.
Abandonneren	Het verlaten en afsluiten van een caverne, bron of winningsput door het plaatsen van cement pluggen in de casings van een winningsput.
Bron	Samenstel van caverne(stelsel) en winningsput(ten).
Bleed off (aflaten)	Reduceren van de hoeveelheid ondergrondse vrije pekel in een caverne na afloop van de actieve zoutwinning, door het verlagen van de druk en het produceren van pekel naar de oppervlakte via de verbuizing van de winningsput(ten).
Casing	Buizen die aan de buitenzijde afgedicht zijn met cement zodat deze een aaneengesloten geheel vormt met gesteente.
Caverne	De ruimte die ontstaat door het oplossen van zout en die gevuld blijft met pekel, inert materiaal, onopgelost zout en precipitaat.
Cavernestelsel/-cluster (zoutveld)	Netwerk van ondergronds verbonden cavernes waaruit magnesiumzout (bischofiet) is opgelost.
Convergeren	Het kleiner worden van een caverne als gevolg van het gewicht van bovenliggende lagen.
Deformatie	Vorm verandering.
Ductiel zout	Vervormbaar of plastisch zout.
Gedevieerd boren	Schuin boren. Vanaf één centrale locatie kunnen bronnen op grotere horizontale afstand bereikt worden door schuin in de diepe ondergrond te boren.
Gesteentemechanica	Wetenschap die zich bezighoudt met de stabiliteit en beweging van gesteenten als deze belast worden.
GPS-station	Meetunit om de bodemdaling op een punt continu te meten, gebruik makend van een satelliet.
Inert materiaal	Materiaal dat ondergronds niet oplost.
InSAR	Interferometric synthetic aperture radar, techniek om bodemdaling te meten met behulp van satellietbeelden.
Lithostatische en sub-lithostatische druk	Bij lithostatische druk is de druk in de caverne in evenwicht met de omliggende gesteentedruk (gewicht van de bovenliggende aardlagen). Bij sub-lithostatische druk is de druk in de caverne lager dan de omliggende gesteentedruk.
Meetplan	Bij het Staatstoezicht op de Mijnen in te dienen plan dat beschrijft op welke wijze de bodembeweging wordt gemeten.
Permeatie	Langzame doorstroming van bijvoorbeeld pekel door een zoutlaag.
Pekel	In water opgelost magnesiumzout.
Pekel-hydrostatische druk	De natuurlijke druk als gevolg van het gewicht van een kolom pekel.
Precipitaat	Neerslag, bezinksel.

Begrip	Omschrijving
Putkelder	Betonnen bak waar de buizen van een winningsput doorheen lopen naar de caverne.
Sinkhole/zinkgat	Plotselinge bodemdaling waarbij een gat aan de oppervlakte ontstaat.
Squeeze (caverne convergentie)	Het verkleinen van het cavernevolumen door een verlaagde ondergrondse druk.
TR-cluster	De ondergronds verbonden cavernes VE-4, TR-1 tot en met TR-8.
Vrije pekel	Bij drukverlaging winbare pekel.
Wabo	Wet algemene bepalingen omgevingsrecht, wet die de omgevingsvergunning regelt.
Well head (boorgatkop)	Set van afsluiters die bovenop het stelsel van buizen geplaatst wordt om veilig onder hoge druk vloeistoffen in en uit de caverne te pompen.
Well head centre	Locatie waar de wellheads van de winningsputten zijn geïnstalleerd.
Winningsput	Samenstel van verbuizing (casing en tubings), putmond (wellhead) en afsluiters.
Winningsvergunning (voorheen concessie)	Vergunning waarbij 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.

8. Referenties

Verwijzingen naar openbare referenties (niet toegevoegd)

1. Staatstoezicht op de Mijnen (mei 2018). Staat van de sector zout.
2. Staalduinen, P.C. van; Terwel K.C. en Rots J.G., TU Delft (11 juli 2018). Onderzoek naar de oorzaken van bouwkundige schade in Groningen. Methodologie en case studies ter duiding van de oorzaken.

Verwijzing naar referenties die deel uitmaken van het winningsplan

3. Raith, A.F.; Strozyk, F.; Visser, J., Urai J.L., Evolution of rheologically heterogeneous salt structures: a case study from the Netherlands, 2016, Solid Earth 7, pagina's 67-82.
4. Gielisse, R., Well Engineering Partners (16-10-2017). Memo: Diesel blanket alternatives.
5. Duquesnoy, A.J.H.M., Well Engineering Partners (18-10-2017). Evaluation of blanket diesel dynamics for new caverns VE-5 and VE-6.
6. Boerrigter, T., Well Engineering Partners (16-11-2018). Memorandum: Blanket diesel dynamics for new caverns VE-7&8.
7. Duquesnoy, A.J.H.M., Well Engineering Partners (18-05-2018), Blanket diesel dynamics after abandonment of cavern field TR, including the caverns VE-1 to 4. Scenario 1: Diffusive migration.
8. Visser J., Nedmag (24-02-2017). Mass balance study of the Nedmag caverns; modelling of magnesium salt dissolution and calculated squeeze volumes version 2.
9. Visser J. en Goorman F., Nedmag (05-04-2018). Memo: Beantwoording vragen SodM over massabalansstudie Nedmag referentie artikel 6 van het instemmingsbesluit.
10. Visser, J., Nedmag (19-10-2018). Hydraulic connections between Nedmag caverns. Underlying mechanism, chance of new connections and possible consequences.
11. Fokker, P.A., Well Engineering Partners (23-11-2018). Managing pressures in Nedmag caverns to prevent brine leakage during the mining and bleed off phase and an evaluation of post abandonment cavern behaviour.
12. Duquesnoy, A.J.H.M., Well Engineering Partners (31-03-2015). Abandonment study Nedmag caverns; cavern squeeze modelling and geophysical analysis of brine permeation and containment.
13. Lux, K.H., Clausthal University of Technology (oktober 2016). Review abandonment study Nedmag caverns.
14. Giesberts, M., Teuben, B., Royal Haskoning DHV (12-11-2018). Risicobeoordeling voor winningsplan 2018 – zoutwinning.
15. Vink, W., Well Engineering Partners (12 oktober 2018). Beoordeling invloed bodemdaling op de integriteit van de productie verbuizing.
16. Straathof, G. en Vries, S. de, SGS-Horizon (april 2018). Modelling of subsidence induced by salt squeeze mining from the Veendam concession: History match 1993 – 2016 and forecast including two new wells.
17. Visser, J. Nedmag (07-11-2018). Prognose bodemdaling winningsplan 2018.
18. Raith, A.F. en Urai, J.L., University of Aachen (25-05-2017). Squeeze mining induced stress changes in the faulted overburden of the Veendam salt pillow.

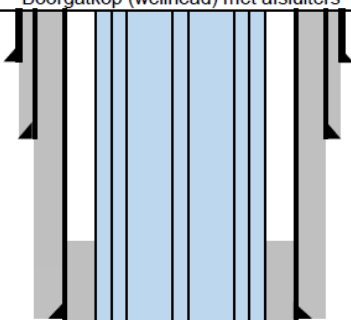
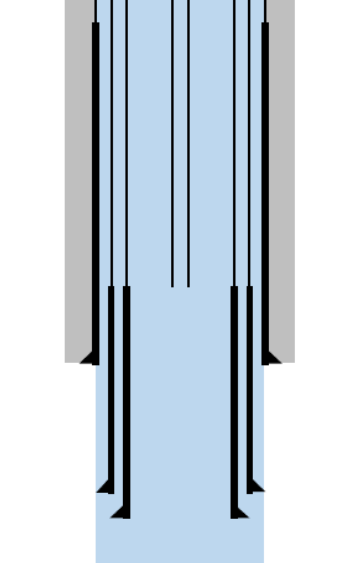
19. Urai, J.L. en Raith, A.F., University of Aachen (10-11-2018). Squeeze mining-induced stress changes in the faulted overburden of the Veendam salt Pillow.
20. Brinkman, J., Deltares (oktober 2018). Invloed van bodemdaling door zoutwinning NEDMAG op bebouwing en infrastructuur. Winningsplan 2018 met maximale bodemdaling van 95 cm.
21. Overeenkomst betreffende afhandeling kosten van bodemdaling door zoutwinning tussen Nedmag en lokale overheden 16 december 2002.
22. Tuinen, E.B.J. van, Witteveen+Bos (19-12-2013). Maatregelenplan bodemdaling periode 2013 – 2018 en doorkijk 2025.
23. Houten, M., Royal Haskoning DHV (30 oktober 2018). Gevolgen bodemdaling als gevolg van zoutwinning voor de waterhuishouding.
24. Arcadis (10-01-2013). Samenvattend onderzoek hoofdoorzaken gebouwschade in het bodemdalingsgebied Nedmag.
25. Protocol bodemdalingsschade aan niet-overheden oktober 2002, Nedmag.
26. Technische commissie bodembeweging (februari 2018). Een verkenning naar een uniforme en onafhankelijke afhandeling van mijnbouwschade in Nederland.

9. Bijlagen

Bijlage 1: Structuur ondergrond Veendam, zoutwinning Nedmag

Lithostratigrafische Kolom Veendam (Borgercompagnie) - Tripscompagnie Putten						
Hoofdtijperk	Groep	Periode	Formatie	Tijdvak	Afzetting	TR-9
						TVD NAP Diepte (m)
Kenozoïcum	Boven-Noordzee NU	Kwartair	"Diverse"	Holoceen - Pleistoceen		0
			Oosterhout NUOT	Pliocene		108
		Breda NUBA	Mioceen		168	
	Onder-Noordzee NL	Paleogeen	Dongen NLFF	Eoceen	Asse NLFFB	237
					Brussel Sand NLFFS	
					Ieper NLFFY	
Basal Dongen Tuffite NLFFT						
Landen NLFF	Paleoceen		Landen Clay NLFFC			
Mesozoïcum	Krijtkalk CK	Krijt	Ommelanden CKGR	Laat-Krijt		389
			Texel CKTX		Plenus Marl CKTXP	907
					Texel Marl CKTXM	909
	Rijnland KN		Holland KNGL	Vroeg-Krijt	Upper Holland Marl KNGLU	949
					Middle Holland Claystone KNGLM	992
					Lower Holland Marl KNGLL	1002
					Vlieland Claystone KNNCM	1035
					Friesland KNNSF	1093
	Boven-Germaanse Trias RN		Solling RNSO	Midden-Trias	Solling Claystone RNSOC	1138
	Onder-Germaanse Trias RB		Onder-Buntsandstein RBSH	Vroeg-Trias	Rogenstein RBSHR	1200
					Main Claystone RBSHM	1364
Paleozoïcum	Zechstein ZE	Perm	Boven-Zechstein Kleisteen ZEUC	Laat-Perm		1590
			Zechstein 4 (Aller) ZEZ4		Z4 Zout ZEZ4H	1594
					Z4 Pegmatite Anhydrite ZEZ4A	1673
						Red Salt Clay ZEZ4R
			Zechstein 3 (Leine) ZEZ3		Z3 Salt ZEZ3H	1680
					Z3 Salt, 3b	1693
					Z3 Salt, 3a	1704
					Z3 Salt, 2b	1711
					Z3 Salt, 2a	1725
					Z3 Salt, 1b BEOOGDE DOEL	1765
					Z3 Salt, 1a	1836
					Z3 Main Anhydrite ZEZ3A	-
			Z3 Carbonate ZEZ3C			

Bijlage 2: Voorbeeld configuratie winningsput

Beschrijving Productie / Injectie Put	Concentrische verbuizing Boorgatkop (wellhead) met afsluiters	Geschatte Diepte	Top Formatie / Groep
		m tvd	
24" Mantelbuis (Stove pipe)		0	Boven-Noordzee
		120	
20" Zandbuis (Conductor)		240	Onder-Noordzee
		285	
		400	Krijtkalk
16" Buitenste buis (Surface casing)		790	Holland
		800	
		815	Vlieland Klei (KNNC)
		840	Vlieland Zand (KNNS)
		865	Boven-Germaanse Trias
		1000	Onder-Germaanse Trias
		1250	Zechstein 4 (ZEZ 4)
		1315	Zechstein 3 (ZEZ3)
2-7/8" Verdunningswaterbuis		1650	
9-5/8" binneste buis (Last Cemented Casing)		1685	
7" Waterinjectie buis		1760	
5" x 3-1/2" Pekelproductie buis		1780	
		1790	

Bijlage 3: Samenstelling magnesiumchloride pekel

Typische samenstelling geproduceerde magnesiumchloride pekel na verdunning			
Hoofdbestanddeel	Eenheid	Bischofitische pekel	Carnallitische pekel
MgCl ₂	%	30-32	22-26
KCl	%	< 0.9	1-5
NaCl	%	< 0.7	1-4
MgSO ₄	%	< 0.4	1-4
Dichtheid (20°C)	kg/m ³	> 1290	> 1260

Bijlage 4: Overzicht waterpas meetnet 2018

