

Actualisatie winningsplan voor winningsvergunning 'Havenmond' v.1.4



Frisia Zout B.V.

Auteurs: 5.1.2.e , Frisia Zout
5.1.2.e , Frisia Zout
5.1.2.e , WEP

Gecontroleerd: 5.1.2.e , Frisia Zout

Kenmerk: Actualisatie Winningsplan
Havenmond

Versie: 1.4

Goedkeuring: 5.1.2.e , Frisia Zout



Versiebeheer

Versie	Datum	Omschrijving
1.0	28-12-2023	Ingediende actualisatie winningsplan Havenmond
1.1	18-06-2024	Toegevoegd: • “Soft Shut-In” cavernemanagement (na goedkeuring door SodM) • Enkele vragen vanuit KGG welke deels verwerkt zijn in bijbehorend document: <i>2024 Toelichting actualisatie Winningsplan v1.0</i>
1.2	08-11-2024	Toegevoegd: Aanpassing n.a.v. een update voor de invloed van de gaswinning Zuidwal (na-ijling); (Juni 2024) en opname van een remwegscenario.
1.3	14-11-2024	Correctie jaartal (2028 → 2029) en toelichting bij remwegscenario, paragraaf 4.1.2.
1.4	29-08-2025	Update voor de daadwerkelijke geboorde locatie HVM-01-S1 put en de daaruit volgende productie en bodemdalingsprognoses.

Inhoudsopgave

Versiebeheer	ii
Inhoudsopgave	iii
1 Inleiding	0
1.1 Het belang van zoutwinning	0
1.2 Vigerende instemming	0
1.3 Actualisatie Winningsplan Havenmond	0
1.4 Indeling Winningsplan	2
2 Voorkomen	5
2.1 Structuur van de zoutlaag en geplande positie van cavernes	5
2.2 Verwachte hoeveelheid aanwezige delfstoffen en de ligging ervan	5
2.3 Verwachte hoeveelheid (jaarlijks) te winnen pek en zout	6
3 Productie	8
3.1 Mijnbouwwerk en de ligging daarvan	8
3.2 Aantal boorgaten dat bij de winning wordt gebruikt, de volgorde en het tijdsbestek van het maken van de boorgaten	8
3.3 Duur van de winning	8
3.4 Ligging, lengte en diameter van de verbuizing van de boorgaten	8
3.5 Wijze van winning alsmede daarmee verband houdende activiteiten	9
3.6 Ligging en de vorm van de holruimte tijdens en na de winning	10
3.7 Wijze waarop de holruimte na beëindiging van de winning buiten gebruik wordt gesteld ..	11
3.8 Hoeveelheid stoffen die jaarlijks bij de winning worden geïnjecteerd	12
3.9 Gesteentemechanische berekeningen van de stabiliteit van de holruimte tijdens en na de winning	13
4 Bodembeweging	15
4.1 Bodembeweging ten gevolge van de winning en de maatregelen ter voorkoming van schade door bodembeweging	15
4.2 Verloop van de verwachte mate van bodemdaling in de tijd	18
4.3 Contouren van de verwachte uiteindelijke mate van bodemdaling	19
4.4 Onzekerheid omtrent de verwachte mate van bodemdaling	20
4.5 Risico-analyse omtrent bodemtrillingen als gevolg van de winning	21
5 Kosten op jaarbasis (vertrouwelijke informatie)	23
6 Referenties	24
Bijlage 1: Ligging van het concessiegebied Havenmond	25
Bijlage 2: Structuur en ligging van de steenzoutlaag en de geplande caverneposities	26
Bijlage 3: 5.1.2.f (vertrouwelijke gegevens)	30
5.1.2.f (vertrouwelijke gegevens)	31
5.1.2.f (vertrouwelijke gegevens)	32
Bijlage 4: Productieoverzichten	33
Bijlage 5: Boorgattrajecten en verbuizingschema's	35
Bijlage 6: Mijnbouwwerk Havenmond	38
Bijlage 7: Belastingsscenario's van de gebruikruimte - kombergingsgebied Vlie	39
Bijlage 8: Prognose Pleistocene bodemdaling einde zoutwinning Havenmond (2052)	42

1 Inleiding

1.1 Het belang van zoutwinning

Zout in de vorm van Natriumchloride, ook wel keukenzout genoemd, is van groot belang voor de chemische industrie. Als grondstof voor basisproducten als Chloor en Natronloog ligt zout aan de basis van duizenden producten die wij elke dag gebruiken. Denk hierbij aan de vele kunststoffen en glasproducten. De chemische industrie heeft een zeer pure vorm van Natriumchloride nodig. Grofweg 1/3 deel van de Nederlandse productie komt uit Harlingen. Het zout van Frisia wordt verscheept naar een groot aantal grote Europese klanten. De Nederlandse regering erkent het strategische belang van de zoutmijnbouw in Nederland (kst-32849-214).

1.2 Vigerende instemming

Op 2 januari 2012 heeft de Minister van EZK (nu KGG) bij besluit met kenmerk ETM/EM/11110679 een winningsvergunning voor zout in het gebied Havenmond verleend. De vergunning geldt vanaf 3 januari 2012 tot 40 jaar na het tijdstip waarop zij onherroepelijk is geworden. Op 12 mei 2015 heeft de minister ingestemd met het eerste winningsplan Havenmond, kenmerk: DGETM-EM/ 13005869. Op 30 augustus 2016 heeft de minister bij besluit met kenmerk DGETM-EO/ 16129869 het winningsplan Havenmond ge-update, waarmee instemming werd verleend met zoutwinning onder de Waddenzee tot 2052. Op 7 oktober 2020 heeft de minister het instemmingsbesluit van 12 mei 2015 gewijzigd bij besluit met kenmerk V-3218 en het gebruik van een milieuvriendelijkere dakolie, GTL GS270, toegestaan. Op basis van de definitieve locatie van de eerste put in de Havenmondconcessie heeft, conform het instemmingsbesluit, een herberekening van de bodemdalingscontouren plaatsgevonden, welke op 20 december 2020 is gedeeld met het bevoegd gezag.

1.3 Actualisatie Winningsplan Havenmond

Het oorspronkelijke winningsplan Havenmond stamt uit 2012. Zoals in de vorige paragraaf wordt toegelicht, heeft de Minister in 2015 met dit Winningsplan ingestemd, waarna ambtshalve wijzigingen hebben plaatsgevonden. De winning uit het concessiegebied Havenmond is in de zomer van 2020 gestart met een eerste put en caverne: HVM-02-S2. De tweede boring, HVM-01-S1, werd in 2025 met succes voltooid. De afgelopen vijf jaar is ervaring opgedaan met de ondergrondse condities. Daarnaast zijn er ook andere nieuwe inzichten die om aanpassing van het oorspronkelijke plan vragen. Deze inzichten en veranderingen worden in de onderstaande alinea's kort benoemd en in de verdere update van dit winningsplan nader uitgewerkt of toegelicht.

1.3.1 Posities van putten in het concessiegebied

In het vigerende winningsplan is een sidetrack voorzien om een totaal van vier cavernes te ontwikkelen. Op basis van ervaring met mogelijke connectiviteit tussen cavernes in de diepe ondergrond (BAS-3 en BAS-30 in 2018/2019) wordt tegenwoordig een minimale afstand van ca. 1000 m aanbevolen. Op basis daarvan is een sidetrack van een bestaande put niet langer gepland en vindt er binnen deze winningsplanupdate een nieuwe optimale positionering van toekomstige cavernes in het concessiegebied plaats. Het aantal geplande cavernes blijft ongewijzigd.

1.3.2 Mogelijk te produceren hoeveelheid zout

De Zechstein-zoutlaag waaruit Frisia produceert, strekt zich uit onder een groot deel van Noordwest-Europa en is ter hoogte van Harlingen honderden meters dik. De dikte van de Zechstein 2-laag, die werd aangetroffen tijdens de twee boringen, was meer dan 500 m, wat een theoretisch lange levensduur van cavernes uit deze concessie mogelijk maakt. De dikte van de Zechstein 2-laag bepaalt de levensduur, omdat de cavernes zich in de loop der jaren langzaam in de zoutlaag omhoog ontwikkelen. Dit komt doordat de bodem (sump) zich vult met onoplosbare bestanddelen. Omdat dit zout onder de heersende druk en temperatuur enigszins vloeibaar is, stroomt het toe en

raakt het binnen het concessiegebied niet op. De maximaal te produceren hoeveelheid zout hangt daarom af van het mogelijke aantal cavernes binnen het gebied en de verwachte levensduur van deze cavernes. Daarnaast wordt deze hoeveelheid te produceren zout begrensd door de capaciteit van de fabriek. Op basis van de door ervaring opgedane kennis van het concessiegebied en zowel recente als geplande verbeteringen van de zoutfabriek, stijgt het beoogde productievolume tot 2052 van 32,0 naar 45,5 miljoen ton zout.

1.3.3 Tijdsplanning

Het onderhavige winningsplan voorziet in een update van de tijdsplanning. Hierbij wordt rekening gehouden met de ambtshalve wijziging die in 2016 heeft plaatsgevonden. Andere wijzigingen in de tijdsplanning betreffen de timing van de te boren putten en de verwachte levensduur van individuele cavernes.

1.3.4 Soft Shut-in

Frisia had de opdracht te onderzoeken of ze haar cavernes na afloop van de productie kleiner kan achterlaten dan de geplande 1 miljoen m³ per caveerne. Dit fenomeen wordt een "Soft Shut-in" genoemd. Een caveerne laten krimpen is mogelijk in gebieden waar de viscositeit van het zout hoog genoeg is. Op 30 November 2023 heeft Frisia per brief aan Staatstoezicht op de Mijnen aangegeven hoe zij hier vorm aan wil geven. De Soft Shut-ins van cavernes zijn onderdeel van het productieproces en worden dan ook meegenomen in de update van dit winningsplan.

1.3.5 Rekening houden met nieuwe gaswinning en na-ijlende effecten

Een andere ontwikkeling die effect heeft op deze actualisatie is het besluit van de gasproducent Vermilion Oil om in de toekomst geen gebruik te maken van de concessie Pollendam. Omdat de beleidskeuze is gemaakt om geen nieuwe gaswinning onder de Waddenzee toe te staan, zal deze concessie ook niet door een ander bedrijf benut worden. Dit houdt in dat de voor deze gaswinning reserveerde belasting van de gebruiksruijnte voor bodemdaling onder het kombergingsgebied Vlie, vrijvalt. Daarnaast is de gaswinning uit het Zuidwalveld in 2020 permanent stopgezet. Sinds 2024 gebruikt de operator een nieuw bodemdalingsmodel dat een groter bodemdalingsvolume berekent voor het verleden en de toekomst (na-ijling). Deze wijzigingen zijn opgenomen in deze actualisatie van dit winningsplan.

1.3.6 Bodemdaling en natuureffecten

Een aantal van de bovengenoemde wijzigingen heeft invloed op de mate van bodemdaling. Op 17 december 2020, na het boren van de put HVM-02-S2, heeft Frisia de minister per brief geïnformeerd over de definitieve cavernecoördinaten van HVM-02-S2. Daarbij heeft de minister ook een nieuwe bodemdalingsprognose voor het eind van de zoutwinning ontvangen. Hierin is inzichtelijk gemaakt dat de nieuwe cavernecoördinaten van HVM-02-S2 slechts een zeer klein effect hebben op de uiteindelijke bodemdaling contourlijnen.

De geoptimaliseerde positionering van de geplande HVM-03 en HVM-04 cavernes en de mate van winning per caveerne, leiden tot veranderingen in de geprognoseerde bodemdalingscontouren. Dit is inzichtelijk gemaakt in de figuren in bijlage 8. De aangevraagde wijzigingen hebben slechts een beperkt effect op de eindprognose voor de bodemdaling onder land. Hoewel het totale bodemdalingsvolume toeneemt aan de hand van het beoogde productievolume, is er nagenoeg geen toename van de bodemdaling onder de stad Harlingen. Een deel van de dijk ten noorden van de industriehaven Harlingen krijgt te maken met ca. 2 cm additionele bodemdaling ten opzichte van de eindprognose van het winningsplan 2012. Voor de Pollendam neemt de verwachte maximale bodemdaling af. De definitieve cavernecoördinaten van HVM-01-S1 leiden slechts tot een kleine verschuiving van de toekomstige bodemdaling in zuidoostelijke richting.

De aangevraagde productie-uitbreiding leidt hoofdzakelijk tot meer bodemdaling onder de Waddenzee. Voor winning onder de Waddenzee, past Frisia het Hand Aan de Kraan-principe toe (zie §4.1). Dit is een voorzorgsmaatregel die zorgt dat er nooit meer bodemdaling plaatsvindt dan er door het natuurlijk meegroeivermogen van de Waddenzee kan worden gecompenseerd. Naast deze voorzorgsmaatregel monitort Frisia de mogelijke natuureffecten in het bodemdalingsgebied. Dit gebeurt op basis van de vergunning die in het kader van de Wet Natuurbescherming voor zoutwinning onder de Waddenzee is verleend. De gewijzigde bodemdaling leidt momenteel niet tot een wijziging in dit monitoringprogramma. Indien nodig kunnen in de loop van de tijd bepaalde metingen worden uitgebreid (ruimtelijk). Dit verstoort de werking van het monitoringprogramma niet. Het monitoringprogramma wordt jaarlijks ge-audit, wat regelmatig leidt tot aanpassingen aan het meetprogramma of de data-analyses. Iedere 5 jaar wordt het programma grootschalig geëvalueerd. Op de maatregelen die genomen worden om mogelijk schade aan de natuur te voorkomen, wordt nader ingegaan in paragraaf 4.5.

Omdat de bovengenoemde maatregelen nog steeds passend zijn voor de onderhavige aanvraag is het niet nodig om de mogelijke schade aan de Waddenzeenatuur opnieuw te beoordelen. Naast de mogelijke effecten van bodemdaling zijn er geen andere relevante natuureffecten die moeten worden meegenomen in de beoordeling van dit Winningsplan. Andere, milieu-gerelateerde veranderingen die deze actualisatie van het Winningsplan met zich meebrengen, worden gereguleerd door wetgeving die geldend is voor bovengrondse activiteiten.

1.3.7 Onzekerheid Zeespiegelstijging

Sinds de indiening van het eerste winningsplan is het duidelijk geworden dat de officiële 5-jaarlijkse voorspellingen voor de zeespiegelstijging onderhevig zijn aan sterke schommelingen. De productiehoeveelheden die in dit winningsplan worden aangevraagd, gaan ervan uit dat het voorspelde Richtscenario (Gebruiksruimtebesluit met kenmerk PDGGO-DTDO/52445875) niet zal uitkomen. Mocht dit wel het geval zijn, dan is er sprake van een remwegscenario. In dit Winningsplan geven wij aan hoe dat remwegscenario er uit kan zien.

1.4 Indeling Winningsplan

De van toepassing zijnde artikelen in de Mijnbouwwet (Mbw) en het Mijnbouwbesluit (Mbb) zijn gegroepeerd in de hoofdstukken “Voorkomen” (Hoofdstuk 2), “Productie” (Hoofdstuk 3), “Bodembeweging” (Hoofdstuk 4) en “Kosten op jaarbasis” (Hoofdstuk 5). In iedere paragraaf wordt verwezen naar de betreffende artikelen. In hoofdstuk 6 zijn de referenties opgenomen, waarnaar in de tekst verwezen wordt. Het Winningsplan besluit met acht bijlagen.

De in bijlage 3 en hoofdstuk 5 verstrekte kosten zijn uit oogpunt van concurrentie strikt vertrouwelijk.

1.4.1 Verwijzing tabel

Artikel 35 Mijnbouwwet		
Lid	Omschrijving	Hoofdstuk
1a.	de verwachte hoeveelheid aanwezige delfstoffen en de ligging ervan	2.2
1b.	de duur van de winning	3.3
1c.	de wijze van winning alsmede de daarmee verband houdende activiteiten	3.5
1d.	een schatting van de verwachte hoeveelheid per jaar te winnen delfstoffen	2.3
1e.	de kosten op jaarbasis van het winnen van de delfstoffen	5
1f.	de bodembeweging ten gevolge van de winning alsmede de daarmee verband houdende activiteiten en de maatregelen ter voorkoming van schade door bodembeweging, voorzover het winnen van delfstoffen niet geschiedt in het continentaal plat, tenzij Onze Minister anders heeft bepaald	4.1
1g.	de risico's voor omwonenden, gebouwen of infrastructurele werken of de functionaliteit daarvan met een risicobeoordeling, voor zover het winnen van delfstoffen niet geschiedt in het continentaal plat	4.5
Artikel 24 Mijnbouwbesluit		
Lid	Omschrijving	Hoofdstuk
1c.	een beschrijving van een wijze van winning die niet in strijd is met de bij of krachtens dit besluit geldende wettelijke voorschriften inzake winning van koolwaterstoffen	3.5
1d.	een beschrijving van het mijnbouwwerk en de ligging ervan	3.1
1e.	een opgaaf van het aantal boorgaten dat bij de winning wordt gebruikt	3.2
1f.	een opgaaf van de volgorde en het tijdsbestek van het maken van de boorgaten	3.2
1g.	een opgaaf van de ligging, lengte en diameter van de verbuizing van de boorgaten	3.4
1l.	een opgaaf van de jaarlijkse kosten van de winning, onderverdeeld in kosten voor investeringen, onderhoud, bedrijfsvoering, en de kosten van het verlaten en verwijderen van mijnbouwwerken	5
1m.	een kaart met daarop de contouren van de verwachte uiteindelijke mate van bodemdaling	4.3
1n.	een overzicht met het verloop van de verwachte mate van bodemdaling in de tijd	4.2
1o.	een opgaaf van de onzekerheid omtrent de verwachte mate van bodemdaling	4.4
1p.	een risico-analyse omtrent bodemtrillingen als gevolg van de winning	4.5
1q.	een beschrijving van de mogelijke omvang en verwachte aard van de schade door bodembeweging	4.1
1r.	een beschrijving van de maatregelen die worden genomen om bodembeweging te voorkomen of te beperken	4.1
1s.	een beschrijving van de maatregelen die worden genomen om schade door bodembeweging te voorkomen of te beperken	4.1
Artikel 25 Mijnbouwbesluit		
Lid	Omschrijving	Hoofdstuk
1a.	een beschrijving van de structuur van de zoutlaag waaruit gewonnen wordt en de ligging van de zoutlaag ten opzichte van andere aardlagen, met bijbehorende geologische, geofysische en rheomorfologische studies en de daarbij gehanteerde onzekerheidsanalyses	2.1
1b.	een opgaaf van de verwachte hoeveelheid te winnen pekelen en zout en de samenstelling van het te winnen zout	2.3

1c.	een beschrijving van de ligging en de vorm van de holruimte tijdens en na de winning	3.6
1d.	een opgaaf van de gesteentemechanische berekeningen van de stabiliteit van de holruimte tijdens en na de winning	3.9
1e.	een opgaaf van de hoeveelheden stoffen die jaarlijks bij de winning worden geïnjecteerd	3.8
1f.	een beschrijving van de wijze waarop de holruimte na beëindiging van de winning buiten gebruik wordt gesteld	3.7

2 Voorkomen

2.1 Structuur van de zoutlaag en geplande positie van cavernes

Artikel 25, lid 1 onder a, Mbb, vraagt om een beschrijving van de structuur van de zoutlaag waaruit gewonnen wordt en van de ligging van de zoutlaag ten opzichte van de andere aardlagen met bijbehorende geologische, geofysische en geomorfologische studies en de daarbij gehanteerde onzekerheidsanalyses.

De geologische formaties waarin het steenzout wordt aangetroffen, maken deel uit van de Zechstein Groep, behorende tot het tijdvlak Perm. Het betreft hier de algemeen in Noord-Nederland aanwezige zoutafzettingen bestaande uit Zechstein 2 (Stassfurt) en Zechstein 3 (Leine) steenzout.

De Zechstein Groep is een complex gelaagde en vaak geplooid structure, waarin behalve steenzout diverse andere evaporieten (indampingsgesteenten) in lagen onder, boven en tussen het steenzout zijn afgezet. Voorbeelden hiervan zijn Anhydriet, Carbonaat, Kali-magnesiumzouten en Zoutklei. Productie uit de cavernes BAS-1, BAS-2, BAS-3, BAS-3O en BAS-4 toont aan dat het steenzout in de omgeving van Harlingen zeer zuiver is. In het vergunningsgebied Havenmond heeft de Zechstein Groep een dikte variërend van 750 m tot 1100 m en de top is globaal gelegen tussen 2000 m en 2500 m beneden NAP, zoals de kaarten in de figuren van bijlage 2 laten zien. In deze kaarten zijn ook de geplande posities van de vier cavernes getoond. In figuur 6 van bijlage 2 is de ligging van de zoutlaag ten opzichte van de andere aardlagen in kaart gebracht.

In de top van de Zechstein 2 bevindt zich een ongeveer 50 m dikke Carnalliethoudende zoutlaag. Carnalliet is een magnesium-kaliumchloride zout, dat een veel hogere oplosbaarheid heeft dan steenzout (Natriumchloride). Indien Carnalliet in aanraking komt met de Natriumchloride-pekkel in de caverne, waaruit Frisia steenzout wint, gaat Carnalliet preferentieel in oplossing en wordt de pekkel onbruikbaar voor de huidige producten die Frisia op de markt brengt. Het dak van de cavernes wordt daarom enkele tientallen meters beneden de Carnalliethoudende zoutlaag gehouden.

Het kaartmateriaal van bijlage 2 bevat aanwijzingen dat er breukzones zijn aan de onderzijde van de te ontginnen zoutformaties. De beschrijving van het zoutvoorkomen is gebaseerd op door de Rijksgeologische Dienst (nu TNO Bouw en Ondergrond) vrijgegeven seismisch onderzoek en vrijgegeven resultaten van omliggende boringen. De cavernes zullen op voldoende afstand van deze breukzones geplaatst worden om een voldoende stabiele zoutbodem onder de cavernes te waarborgen. In de detailontwerpfase van het Havenmondproject zijn de seismische gegevens en eerdere boorgatgegevens opnieuw geëvalueerd ('risk assessment') om een zo goed mogelijke beschrijving van de geologie te verkrijgen en de positie van de geplande cavernes te optimaliseren. Op basis van een analyse van de boorgatgegevens die tijdens de eerste Havenmondboring zijn verkregen, is de uiteindelijke positie van de caverne bepaald. Daarmee is het risico als gevolg van geologische onzekerheid voldoende afgedekt. Op basis van de ervaring met caverne BAS-3 en sidetrack BAS-3O wordt een minimale afstand tussen de boorgaten in de Zechstein 2 van 1000 m aanbevolen (gebaseerd op FEM-analyse om een hydraulische communicatie van de cavernes uit te sluiten).

Een verdere geologische bijzonderheid is dat zich ten zuidwesten van de geplande cavernes een aantal mogelijk gasvoerende structuren bevindt, met name in de Vlieland en Buntzandsteen gesteentelagen boven de Zechstein Groep. Ook de carbonaten binnen de Zechstein Groep kunnen in principe gas voerend zijn, hoewel dit niet het geval is in de meest nabij liggende zoutboringen HVM-02-S2, BAS-1 en BAS-2, de magnesiumzoutboring BAR-NE-01 en de gasboringen PBR-01 en SLK-01.

2.2 Verwachte hoeveelheid aanwezige delfstoffen en de ligging ervan

Artikel 35, lid 1 onder a, Mbw vraagt om de verwachte hoeveelheid aanwezige delfstoffen en de ligging ervan.

Er zal zout gewonnen worden uit de Zechstein 2 formatie (Stassfurt). Deze Haliethoudende Zechstein 2 laag heeft een totale dikte van circa 400 m tot meer dan 600 m, waarvan een hoogtekolom van 300 tot 600 m netto winbaar is. In het resterende, bovenste deel bevindt zich onder andere een Carnalliethoudende zoutlaag, die niet gewonnen zal worden. Het vergunde winningsgebied heeft een oppervlakte van 32 km². De aanwezige hoeveelheid steenzout is dus minimaal 9,6 km³, ofwel circa 21 miljard ton steenzout. Hiervan is slechts 0,2% netto winbaar (45,5 miljoen ton), gezien de eindigheid van de winningsvergunning (2052) en de beperkingen van de fabriekscapaciteit. Pleistocene bodemdaling als gevolg van de zoutwinning in combinatie met de gebruiksruimte in het kombergingsgebied Vlie, welke afhankelijk is van de snelheid van zeespiegelstijging, kan de zoutproductie verder beperken (zie ook §4.1.1 en §4.1.2).

2.3 Verwachte hoeveelheid (jaarlijks) te winnen pekelen en zout

Artikel 25, lid 1 onder b, Mbb, vraagt om een opgaaf van de te verwachten hoeveelheid te winnen pekelen en zout en de samenstelling van het te winnen zout. Artikel 35, lid 1 onder d, Mbw, vraagt aanvullend om een schatting van de hoeveelheid per jaar te winnen delfstoffen.

Frisia streeft momenteel naar een gemiddelde netto fabrieksproductie van circa 1,40 miljoen ton zout per jaar, waarvoor gemiddeld een bruto zoutextractie van 1,56 miljoen ton per jaar nodig is. De overmaat van ongeveer 10% zout is nodig om spuverliezen tijdens het productieproces te compenseren. De bruto zoutbehoefte komt, afhankelijk van de pekelen saturatie, overeen met een ruwe pekelenproductie van ongeveer 5 miljoen m³/jaar, ofwel circa 625 m³ pekelen/uur. De maximale zoutextractie onder de Waddenzee kan worden beperkt als gevolg van een sneller stijgende zeespiegel. Dit wordt toegelicht in hoofdstuk 4.

In de productietabel van bijlage 4 staat de geplande hoeveelheid jaarlijks uit Havenmond te winnen zout. Tijdens de aanlooperperiode van circa 1-3 jaar kan per caverne minder zout per jaar geproduceerd worden. De maximaal mogelijke productie per caverne hangt af van de maximale hoeveelheid water die kan worden geïnjecteerd. Dit is beperkt door de diameter van de loogbuizen en de capaciteit van de hoofdpompen. De vorm en het volume van een caverne spelen hierin ook een rol. De maximale bruto productie uit een volgroeide caverne bedraagt ongeveer 1,25 miljoen ton per jaar. Er zijn dus minstens twee cavernes nodig om de totale jaarlijkse zoutbehoefte af te dekken.

De kostentabel in bijlage 3 (vertrouwelijk) geeft een planning voor zoutproductie uit Havenmond en de daarmee gemoeide kosten voor de periode 2019 – 2052. Cumulatief betreft het een productie van 45,5 miljoen ton zout tot 2052. De eerste caverne HVM-02-S2 is in 2020 in productie genomen. Frisia maakt na elke formele revisie van het beleidsscenario voor zeespiegelstijging een analyse van de resterende gebruiksruimte, waarin ze beoordeelt of de productie volgens de productietabel in bijlage 4 kan worden voortgezet of dient te worden aangepast (zie ook §4.1.1 en §4.1.2). In het geval waarin de gebruiksruimte bijna volledig benut wordt, zal Frisia deze beoordeling met een hogere frequentie uitvoeren.

2.3.1 Samenstelling van de pekkel

De gemiddelde samenstelling van de ruwe pekkel, zoals die in 2024 is geproduceerd uit caverne HVM-02-S2, is opgenomen in tabel 1. Verwacht wordt dat de samenstelling van de pekkel gewonnen uit de andere Havenmond cavernes van een vergelijkbare samenstelling is. Het doel is om uit een volledig ontwikkelde caverne pekkel te produceren met een NaCl-concentratie tussen de 305 en 320 g/L.

Tabel 1. Gemiddelde samenstelling ruwe pekkel uit de caverne HVM-02-S2 voor het jaar 2024

NaCl	g/l	306
Kalium	mg/l	980
Calcium	mg/l	870
Magnesium	mg/l	321
Sulfaat	mg/l	4670

3 Productie

3.1 Mijnbouwwerk en de ligging daarvan

Artikel 24, lid 1 onder d, Mbb, vraagt om een beschrijving van het mijnbouwwerk en de ligging ervan. In deze paragraaf wordt tevens een beknopte beschrijving van het concessiegebied Havenmond gegeven.

Het concessiegebied 'Havenmond' (HVM) is geheel buitendijks gelegen voor de kust van Harlingen (zie bijlage 1). Dit gebied valt binnen de grenzen van de gemeenten Harlingen en Terschelling en wordt omsloten door de punten:

A:	X = 154.520	Y = 575.510
B:	X = 157.190	Y = 583.050
C:	X = 153.420	Y = 584.380
D:	X = 150.750	Y = 576.850

Het concessiegebied Havenmond heeft een oppervlakte van 32 km².

De boorlocatie vanuit waar de Havenmondputten worden geboord, is gelegen naast het fabrieksterrein van Frisia. De boorlocatie (zie bijlage 6) is in 2019 aangelegd. Indien nodig, vanwege de ruimte voor de boorinstallatie of optimalisatie van de exacte caverneposities in het vergunningsgebied, kan er een tweede boorlocatie worden gecreëerd.

3.2 Aantal boorgaten dat bij de winning wordt gebruikt, de volgorde en het tijdsbestek van het maken van de boorgaten

Artikel 24, lid 1 onder e, Mbb vraagt om een opgaaf van het aantal boorgaten dat bij de winning gebruikt wordt. Artikel 24, lid 1 onder f, Mbb, vraagt om een opgaaf van de volgorde en het tijdsbestek van het maken van de boorgaten.

Er worden vier boorgaten en cavernes voorzien, HVM-01-S1, HVM-02-S2, HVM-03 en HVM-04 (zie bijlage 1). Het eerste boorgat HVM-02-S2 is in 2020 in gebruik genomen. Het tweede boorgat HVM-01-S1 wordt in 2025 in gebruik genomen. Het kan nog meerdere jaren duren voordat de derde boring, HVM-03, en de laatste boring, HVM-04, nodig zijn (zie bijlage 4, productietabel).

De jaren waarin de boringen worden uitgevoerd is afhankelijk van productiescenario's, van de operationele omstandigheden en van de ontwikkeling van de gebruikruimte in het kombergingsgebied Vlie. Frisia streeft ernaar om twee cavernes tegelijkertijd in productie te hebben. Het aanleggen van een boorgat duurt tussen 4 en 7 maanden.

3.3 Duur van de winning

Artikel 35, lid 1 onder b, Mbw, vraagt om de duur van de winning.

Winning uit de eerste caveerne HVM-02-S2 is op 7 september 2020 begonnen. De start van de winning uit de tweede caveerne HVM-01-S1 is gepland voor september 2025. De start van de winning uit de derde caveerne is op dit moment gepland voor 2035 en winning uit de laatste caveerne in 2041. De levensduur van een caveerne wordt geschat op 16 jaar en wordt beperkt door het naar boven toe groeien van de caveerne in de Zechstein 2 zoutlaag. Indien het mogelijk is om langer te produceren vanuit een caveerne, zonder de gestelde limieten te overschrijden, zal dat gedaan worden vanuit het oogpunt van doelmatige winning. De looptijd van de winningsvergunning en het vigerende instemmingsbesluit is tot 2052.

3.4 Ligging, lengte en diameter van de verbuizing van de boorgaten

Artikel 24, lid 1 onder g, Mbb, vraagt om een opgaaf van de ligging, lengte en diameter van de verbuizing van de boorgaten.

De geplande ligging van de vier cavernes is weergegeven op de kaarten getoond in bijlage 1. De gepresenteerde locatiekeuze van de cavernes is bepaald door de momenteel maximaal haalbare boorafstand van circa 3300 m in een horizontale richting vanuit de boorlocatie. De cavernes liggen dus boor-technisch op een maximale afstand van de vastelandskust. De onderlinge minimale afstand tussen de cavernes bedraagt circa 1000 m, met het doel de gecombineerde maximale bodemdaling op de waterkerende zeedijk zoveel mogelijk te beperken.

De geografische positie (in RD-coördinaten) van de schoen van de laatst gecementeerde verbuizing is, met een nauwkeurigheid van enkele honderden meters (± 300 m), als volgt gepland:

HVM-02-S2: X= 155.191; Y= 580.265 (reeds gerealiseerd)

HVM-01-S1: X= 154.772; Y= 579.315 (reeds gerealiseerd)

HVM-03: X= 154.919; Y= 581.227

HVM-04: X= 155.632; Y= 581.928

In bijlage 5 zijn de boortrajecten en de verbuizingsschema's van HVM-02-S2 en HVM-01-S1 getoond. Het schema voor de overige boringen is vooralsnog identiek, maar eventuele aanpassingen op basis van nieuwe leringen zijn mogelijk. In het geval van problemen tijdens de boorfase, kan er ook voor gekozen worden om kleinere diameter buizen te installeren, eventueel ook met linerhanger. De ervaringen en leringen van de bestaande, sterk gedeveerde putten BAS-3 en BAS-3O zijn verwerkt in het ontwerp van de HVM-putten. De ervaringen met het boren van deze putten hebben er onder andere toe geleid dat er een extra mantelbuis (16") in het verbuizingsschema is opgenomen. De verbuizing is concentrisch opgebouwd. De binnenste buis dient voor waterinjectie in de zoutlaag, de eerste ringruimte (annulus) dient voor de productie van verzadigde pekkel, de tweede ringruimte voor het aanbrengen van een beschermende olielaag ('blanket') onder het dak van de met pekkel gevulde caveerne. De precieze diepte van de laatst gecementeerde verbuizing is afhankelijk van de diepte waarop de Carnalliethoudende zoutlaag feitelijk in de boring wordt aangetroffen. Dat gegeven kan op het moment van boren nog leiden tot een aanpassing van de zogenaamde schoendiepte.

3.5 Wijze van winning alsmede daarmee verband houdende activiteiten

Artikel 35, lid 1 onder c, Mbw, en artikel 24, lid 1 onder c, Mbb, vragen om een beschrijving van de wijze van winning alsmede de daarmee verband houdende activiteiten.

Frisia wint het steenzout door middel van oplosmijnbouw. Hierbij wordt gebruik gemaakt van drie verbuizingen die op de diepte van de beoogde caveerne worden aangelegd: 1) de laatst gecementeerde verbuizing; 2) de buitenste loogbuis; 3) de binnenste loogbuis. Er wordt zoetwater, in de meeste gevallen door de binnenste loogbuis, in de zoutlaag (Zechstein 2, Stassfurt) gepompt. Het aanwezige zout lost op in het water, waardoor pekkel ontstaat en een met pekkel gevulde caveerne. De pekkel wordt geproduceerd door verdringing met injectiewater. Wanneer zoetwater via de binnenste loogbuis naar de caveerne wordt gepompt, stroomt er pekkel uit de caveerne via de buitenste loogbuis. Het omlaag pompen van zoetwater gebeurt onder hoge druk. Met krachtige pompen wordt het water met een druk van circa 60 tot 250 bar in de boorput gepompt, afhankelijk van het gewenste debiet (0-625 m³/uur) en de pekkel uitstroomdruk. De druk in de caveerne kan worden geregeld door middel van een zogenaamde 'choke'.

De laatst gecementeerde verbuizing wordt gebruikt om het oliedak van de caveerne te beheren. Dit oliedak beschermt het dak van de zoutcaveerne tegen uitloging naar boven toe: Ter beheersing van de ontwikkeling van de hoogte van de caveerne wordt met behulp van mineraalolie (GTL GS270 of een vergelijkbaar, milieuvriendelijk, REACH compliant product) een zogenaamde 'harde oliespiegel' aangebracht. Deze laag dwingt de uitloging in zijwaartse richting. De positie (diepte) van de oliespiegel wordt regelmatig gecontroleerd via in-situ metingen en drukregistraties aan de putmond.

De zoutwinning vindt gedurende de productieperiode voornamelijk plaats in de zogenaamde directe modus, d.w.z. dat de positie waar water in de caverne wordt geïnjecteerd beneden het niveau ligt van waar de pekelpductie uit de caverne plaatsvindt. Productie kan echter ook plaatsvinden in de zogenaamde indirecte modus, waarbij het injectieniveau boven het productieniveau ligt. Dit gebeurt wanneer dit nodig is voor de ontwikkeling van de cavernevorm.

De ontwikkeling van de caverne vindt in verschillende fasen plaats. In de eerste fase wordt een 'undercut' gemaakt met een zo groot mogelijke doorsnede. Deze doorsnede zal op basis van ervaringen met de huidige cavernes ongeveer 50-200 m bedragen. Dit onderste deel van de caverne (zg. 'sump') is bedoeld om niet-oplosbare bestanddelen uit de opgeloste zoutlaag te bergen. In de volgende productiefasen wordt het niveau van de oliespiegel stapsgewijs opgetrokken en wordt de schoendiepte van de productiebuizen gewijzigd totdat voldoende cavernehoogte en cavernevolumen is gecreëerd voor langdurige winning.

Een factor die op de winning een grote invloed heeft, is de zoutkruip. De cavernes bevinden zich op een diepte van 2,5 tot 3 km. Vanwege de daar heersende hoge gesteentedrukken en hoge temperatuur (circa 110 °C) kan het zout relatief gemakkelijk in de richting van de caverne (van hoge naar lage druk) kruipen. In de met pekelp gevulde cavernes heerst in de winningsfase namelijk een aanzienlijk lagere druk dan in het omringende zoutgesteente. De zoutkruip neemt volumetrisch toe naarmate de caverne groter wordt. Na enkele jaren is de oplossnelheid van het zout vrijwel gelijk aan de snelheid waarmee het zout toestroomt. Het cavernevolumen verandert dan weinig en de caverne bevindt zich in een dynamisch-stabiele toestand ('*steady state mining*'). De cavernes worden ontwikkeld tot een *steady state* volume dat aansluit bij het maximaal geplande loogdebiet. De zoutkruip vertaalt zich vrijwel zonder vertraging in bodemdaling aan bovengrond. Bij lagere debieten kan, indien gewenst, middels een '*choke*' een tegendruk in het uitstroompad aan het oppervlak gehandhaafd worden ter compensatie van de lagere dynamische drukval. Op deze manier kan zoutkruip vertraagd worden met minder bodemdaling tot gevolg. Dit voorkomt ook een snelle drukverlaging in de cavernes na een langdurige stilstand.

Het onoplosbare materiaal verzamelt zich op de bodem van de caverne. Om de gewenste cavernevorm en -volume te behouden, is het noodzakelijk dat de caverne na verloop van tijd naar boven toe verlegd wordt. Aan het einde van de winningsfase komt de bovenzijde van de caverne in de nabijheid van de Carnalliethoudende zoutlaag. De minimale dikte van de steenzoutlaag tussen de bovenzijde van de caverne en de Carnalliethoudende laag, de zogenaamde dakdikte, is afhankelijk van de geometrie van de caverne en met name van de diameter van het cavernedak. De minimale dikte zal bepaald worden aan de hand van gesteentemechanische analyses en ervaringen met bestaande cavernes. De positie en dikte van de Carnalliethoudende zoutlaag ter plaatse is nauwkeurig bekend uit de boring.

Controle op de gewenste ontwikkeling van de caverne geschiedt door het opstellen van massabalansen, het uitvoeren van drukmetingen aan de putmond, de chemische analyse van de ruwe pekelp en het uitvoeren van metingen in de caverne, zoals het meten van het niveau van de oliespiegel onder het dak en akoestische holruimte metingen, waarmee het gehele open volume van de caverne in beeld gebracht kan worden.

3.6 Ligging en de vorm van de holruimte tijdens en na de winning

Artikel 25, lid 1 onder c, Mbb, vraagt om een beschrijving van de ligging en de vorm van de holruimte tijdens en na de winning.

De ligging en vorm van de cavernes worden bepaald door een aantal factoren, zoals de lokale geologie, de gesteente mechanische overwegingen, de toegepaste productiemethode en randvoorwaarden (met name de pleistocene bodemdaling). In §3.5 is beschreven hoe de caverne-ontwikkeling beheerst wordt. De doorsnede van de caverne zal ongeveer 50-200m bedragen (zeer lokaal beperkt 200m, zie Memo 25/01/2025 KGG). De hoogte van de caverne kan van enkele

tientallen meters in de beginfase tot enkele honderden meters in de eindfase bedragen. Vanuit geomechanisch oogpunt wordt voor het cavernedak gestreefd naar een kleinere cavernediameter van minder dan 100m om dak-instabiliteit te voorkomen.

Regelmatig vinden akoestische holruimtemetingen plaats. Deze metingen geven een beeld van de ontwikkelende cavernevorm en -volume. De holruimtemetingen vinden plaats op basis van een meetplan, conform artikel 33, Mbb.

3.6.1 Laten krimpen van cavernes voor buitengebruikstelling

Met als doel zo klein mogelijke cavernes achter te laten bij buitengebruikstelling, gaat Frisia twee cavernes parallel inzetten. Naast operationele voordelen, zoals een stabielere zoutproductie en een betekenisvolle energiebesparing, blijven deze cavernes relatief klein. Dit houdt in dat de eerste Havenmondcaverne (HVM-02-S2) zal gaan krimpen zodra de tweede caverne voldoende gegroeid is. Volgens de huidige planning zal dat al in 2025-2026 kunnen starten. Er komt dan een situatie waarin beide cavernes relatief klein blijven. Tegen de tijd dat HVM-02-S2 aan het eind van zijn technische levensduur komt, zal een derde Havenmondput worden aangelegd. Zodra die de gewenste omvang bereikt heeft, kan Frisia de HVM-02-S2 verder laten krimpen op een gewenst tempo. Op deze wijze zorgt Frisia ervoor dat het volume van individuele cavernes klein blijft en aan het eind van hun levensduur verder kan krimpen. Het cavernevolumen wordt geregeld door de productie op de juiste manier over de twee cavernes te verdelen en, indien nodig, door regeling van de cavernedruk middels een zogenaamde ‘choke’. De vermindering van het cavernevolumen tegen het einde van de levensduur moet langzaam over meerdere jaren plaatsvinden. Het eindvolume kan in overleg met de toezichthouder op basis van dan heersende omstandigheden worden gekozen. De geplande maximale eindvolumes zijn weergegeven in tabel 2.

Tabel 2: Voornemen voor eindvolumes van cavernes in de Havenmondconcessie. Wanneer meerdere cavernes te gelijker tijd produceren, kan zonder hoge kosten of productieverlies een klein cavernevolumen worden bereikt. Ook voor de 4^{de} caverne is dit het geval. Alleen in de situatie waarin deze caverne als enige overblijft en er geen alternatieve pekelvoorziening is, kan deze slechts in beperkte mate in omvang worden terug gebracht. Het “kleiner dan” -teken (<) geeft in dit geval aan dat Frisia hier een conservatieve inschatting maakt van wat er mogelijk is. Wanneer het redelijkerwijs haalbaar is cavernes nog kleiner te laten krimpen, zal Frisia dat doen.

Caverne	Naam put	Eindvolume
1 ^{ste}	HVM-2-S2	< 375.000 m ³
2 ^{de}	HVM-1	< 375.000 m ³
3 ^{de}	HVM-3	< 375.000 m ³
4 ^{de}	HVM-4	< 1000.000 m ³

Mocht in een toekomstig winningsplan besloten worden om de HVM-concessie met minder cavernes te ontginnen, dan eindigt de laatste caverne met het grotere eindvolume.

Wanneer een plotseling besluit met een zeer hoog zeespiegelstijgingsscenario zou leiden tot een acute productiestop, worden de cavernes met de op dat moment geldende volumes ingesloten.

3.7 Wijze waarop de holruimte na beëindiging van de winning buiten gebruik wordt gesteld

Artikel 25, lid 1 onder f, Mbb, vraagt om een beschrijving van de wijze waarop de holruimte na beëindiging van de winning buiten gebruik wordt gesteld.

Nadat de zoutcavernes in voldoende mate gekrompen zijn (tab. 2), kunnen ze buiten gebruik worden gesteld.

Voor diep-gelegen cavernes (meer dan 2000 m) zal door middel van zoutkruip en opwarming van de pekel de cavernedruk stijgen na beëindiging van de winning. Na de actieve mijnfase is de temperatuur van de pekel in de caverne lager dan de geothermische temperatuur van het zout. Ook is de directe omgeving van de caverne enigszins afgekoeld. De pekelt temperatuur in de caverne ten tijde van afsluiting bedraagt minimaal 60 °C. Ook het omliggende zout is ietwat afgekoeld.

Oorspronkelijk heerste op de cavernediepte een temperatuur van circa 110 °C. Het herstel naar een geothermisch evenwicht zal vele jaren in beslag nemen. Na afsluiting stijgt de temperatuur van het zout en de pekels geleidelijk, de pekels zet uit en de cavernedruk stijgt. Een vaak gehanteerd richtgetal is dat een verhoging van 1 °C een druktoename van 10 bar veroorzaakt. Daarnaast verkleint de caveerne zich langzaam als gevolg van zoutkruip. Deze factoren zorgen ervoor dat de druk in de caveerne toeneemt. Zodra de pekeldruk in de afgesloten caveerne dichterbij de lithostatische druk komt, wordt de permeabiliteit van het zoutgesteente groter en dringt pekels zich in het gesteente.

Frisia heeft tussen 2004 en 2017 een monitoringproject uitgevoerd op caveerne BAS-2 om het gedrag van een direct ingesloten caveerne op grote diepte te bestuderen. Vanaf 2015 was er sprake van een drukstabilisatie in de caveerne op een niveau van circa 98% van de lithostatische druk. Deze bevindingen samen met andere wetenschappelijke literatuur en meetresultaten zijn bestudeerd en besproken in de BAS-4 Cavern Abandonment Risk Analysis (ref. 2) en de Havenmond Cavern Abandonment Risks (ref. 3) studies van respectievelijk 2019 en 2021. Deze rapporten tonen aan en onderbouwen dat het verlaten van de cavernes op de korte en lange termijn geen schadelijke gevolgen op de omgeving zal hebben. Deze rapporten heeft Frisia aangeboden op respectievelijk 13 februari 2019 en 7 september 2021 aan SodM. Vergelijkbare waarnemingen worden gezien bij caveerne BAS-1, waarbij ook sinds 2023 een drukstabilisatie plaatsvindt op circa 98% van de lithostatische druk. In de bovengenoemde monitoringprojecten zijn geen breukvormingen of andere abnormaliteiten waargenomen.

De ervaringen met diepe cavernes hebben geleerd dat het onmiddellijk insluiten van cavernes na de winningsfase mogelijk is. Dit heeft geen nadelige invloed op de stabiliteit van de caveerne. De cavernes van Frisia zijn relatief klein (zie ook §4.1.4). De snelheid van pekelsvolume-expansie ten gevolge van thermische uitzetting en de afname van caveernevolume door zoutkruip bij nagenoeg lithostatische pekeldruk is zodanig klein dat het uitermate onwaarschijnlijk is dat er breukvorming optreedt. Het overvloedige pekelsvolume verspreidt zich in het bovenliggende zout via een permeatieproces: het doorsijpelen van pekels via kristalvlakken. Daarbij voorkomt de honderden meters dikke zoutlaag (o.a. Zechstein 3) boven de caveerne dat er aanmerkelijke hoeveelheden pekels kunnen doorsijpelen naar gesteentelagen boven het zout. Het permeatieproces speelt zich af op een diepte van circa 2.5 km, op een tijdschaal van duizenden jaren.

Het definitieve afsluiten van de boorputten en het opruimen van de boorlocatie zal te zijner tijd geregeld worden in het kader van een melding voor buitengebruikstelling en een “Verwijderingsplan” conform artikel 44, Mbw.

3.7.1 Sidetrack

Op basis van de bovengenoemde studies en ervaringen wordt het verantwoord geacht de cavernes na de winningsfase direct af te sluiten, waarbij het boortraject eventueel nog hergebruikt kan worden voor het aanleggen van een vervangende caveerne door middel van een ‘sidetrack’. Met de technologie van vandaag is deze sidetrack moeilijk of zelfs onmogelijk te realiseren. Door voortdurende verbeteringen in de boortechnologie kan dit in de toekomst echter mogelijk worden.

3.8 Hoeveelheid stoffen die jaarlijks bij de winning worden geïnjecteerd

Artikel 25, lid 1 onder e, Mbb, vraagt om een opgaaf van de hoeveelheden stoffen die jaarlijks bij de winning worden geïnjecteerd.

Zoals beschreven in §3.5 wordt bij de ontwikkeling van een caveerne een oliespiegel in het dak van de caveerne aangebracht. Daartoe wordt zuivere minerale olie (Gas to Liquid: GTL) als mijnbouwhulpstof gebruikt. Per caveerne wordt, afhankelijk van de ontwikkelingsfase, stapsgewijs GTL geïnjecteerd. In de beginfase bevat een caveerne circa 140 m³ olie. In de eindfase kan dat oplopen tot enkele honderden kubieke meters. De hoeveelheid hangt af van de behoefte aan bescherming van het caveerne-dak tegen uitloging. De olie kan uit de caveerne worden verwijderd en

opnieuw worden ingebracht om de hals van de caveerne uit te breiden. Dit proces heet nekwassen. Het wassen van de nek kan meerdere keren per jaar nodig zijn. Na beëindiging van de actieve winning wordt de olie teruggehaald uit de caveerne en eventueel hergebruikt in andere cavernes.

Ten behoeve van het uitloogproces en de zoutproductie wordt een grote hoeveelheid water in de caveerne geïnjecteerd. Dit is ongeveer $3,5 \text{ m}^3$ water per ton geproduceerd zout. Dit water is grotendeels afkomstig uit de zoutfabriek in de vorm van condenswater, aangevuld met gefilterd water uit het Van Harinxmakanaal. Het meeste water wordt teruggewonnen en gerecycled tijdens het indampen van de pekel. Tevens kunnen op de mijnbouwlocatie opgevangen regenwater en spoelwater in de cavernes worden ingevoerd. Aan het injectiewater wordt continu een zeer kleine hoeveelheid Natriumbisulfiet ($50\text{-}200 \text{ m}^3/\text{jaar}$) toegevoegd om corrosie van de verbuizingen te voorkomen.

3.9 Gesteentemechanische berekeningen van de stabiliteit van de holruimte tijdens en na de winning

Artikel 25, lid 1 onder d, Mbb, vraagt om een opgaaf van de gesteentemechanische berekeningen van de stabiliteit van de holruimte tijdens en na de winning.

Gezien de grote geologische overeenkomsten tussen de zoutlagen en deklagen in de winningsgebieden Havenmond en Barradeel zullen de HVM-cavernes dezelfde stabiliteit bezitten als de BAS-cavernes.

Instabiliteit van een zoutcaveerne kan leiden tot instortingen of breukvorming in de wand of het dak van een caveerne. Er kunnen dan brokken zout uit de cavernewand of het cavernedak in een caveerne vallen. Dit kan ten koste gaan van de vorm van de caveerne en zodoende de productieperiode ervan inkorten. Ook schade aan de loogbuizen kan het gevolg zijn. Het leidt echter niet tot extra bodemdaling of bodembeweging die waarneembaar is aan het aardoppervlak. Ook zijn de loogbuizen geen onderdeel van de put barrières volgens het WIMS (Well Integrity Management System). Instortingen van zoutbrokken kunnen optreden als er een snelle drukontlasting van de caveerne plaatsvindt. De aanvaardbare drukontlasting is $10\text{-}30 \text{ bar/dag}$ voor een grote caveerne en wordt geregeld via het PCS (Process Control System).

Tijdens de winningsfase heerst er in de caveerne een drukregime dat wordt bepaald door de diepte, de dichtheid van de vloeistoffen en de verhouding tussen het injectie- en productievolume. De laagst mogelijke druk in de caveerne is gelijk aan de gewichtskolom van water in de put. Water heeft een soortelijk gewicht van 1000 kg/m^3 , zodat op een referentiediepte van 3000 m de hydrostatische druk minimaal 295 bar bedraagt. De hoogste druk in de caveerne wordt bepaald door de gesteentedruk. De gemiddelde gesteentedichtheid van het 3000 m dikke gesteente- en grondpakket is ongeveer 2180 kg/m^3 , wat een lithostatische druk in de zoutlaag van ca. 640 bar op 3000 m diepte oplevert. De werkelijke druk in de caveerne ligt tussen beide bovengenoemde drukken in en is afhankelijk van de productieomstandigheden. De cavernedruk is dus variabel en wordt ook wel de dynamische druk genoemd.

Tijdens pekelpductie ligt de dynamische druk tientallen bar boven de statische pekeldruk vanwege de frictieverliezen in de verbuizingen. Gedurende productiestoppen zal de cavernedruk oplopen en tenderen naar de gesteentedruk. Gedurende normale productie heerst er op cavernediepte een groot drukverschil (een onderdruk) tussen de pekeldruk en de druk in het zout. Deze onderdruk bedraagt tussen de 200 en 275 bar . Dit leidt tot een volumestroom van zout in de richting van de caveerne (zoutkruip genaamd) en tot het optreden van caveerneconvergentie. De caveerneconvergentie vertaalt zich vrijwel direct in bodemdaling en na een aanlooperperiode van enkele jaren is de oplossnelheid van het zout ongeveer gelijk aan de toestroom van zout.

3.9.1 Carnallietlaag

In de zoutlaag boven de cavernes bevindt zich een Carnalliethoudende laag. Om vervuiling van de caveerne met Carnallitische pekkel te voorkomen, mag er geen lekpad ontstaan tussen de caveerne en de Carnallietlaag.

Tijdens de winningsfase wordt het Carnalliethoudende zout van de caveerne afgeschermd door een stabiele laag steenzout in het cavernedak en door een oliespiegel onder het cavernedak. Bij het definitief verlaten van de caveerne na de winningsfase wordt de olielaag uit de caveerne verwijderd en hergebruikt in andere cavernes. Om het oplossen van Carnalliet na het verlaten van de caveerne tegen te gaan, wordt een laag steenzout in het cavernedak onaangetast gelaten. De minimaal benodigde dikte zal bepaald worden aan de hand van een gesteentemechanische analyse en van de ervaringen met de BAS-cavernes.

3.9.2 Stabiliteit na abandonnering

Zoals in §3.7 wordt uitgelegd, loopt na het afsluiten van een caveerne de druk langzaam op totdat deze nabij de lithostatische druk komt. De druk in de caveerne stijgt vervolgens niet verder als gevolg van permeatie van pekkel in het omliggende steenzout. Dit geleidelijke permeatieproces voorkomt breukvorming in het steenzout rond de caveerne en waarborgt de stabiliteit van de caveerne.

Zoals in paragraaf 2.1 reeds is aangegeven, zijn de bovenstaande processen in combinatie met FEM-simulaties om gesteentekrachten rondom de cavernes tijdens en na winning in kaart te brengen uitgebreid behandeld in de BAS-4 Cavern Abandonment Risk Analysis (ref. 2) en de Havenmond Cavern Abandonment Risks (ref. 3). Hierin is het gedrag van de cavernes na definitieve afsluiting bestudeerd. De studieresultaten geven aan dat het risico op schadelijke effecten en meetbare na-ijlende bodemdaling uiterst gering is (zie ook §4.2).

4 Bodembeweging

4.1 Bodembeweging ten gevolge van de winning en de maatregelen ter voorkoming van schade door bodembeweging

Artikel 35, lid 1 onder f, Mbw, vraagt om een beschrijving van de bodembeweging ten gevolge van de winning alsmede de daarmee verband houdende activiteiten en de maatregelen ter voorkoming van schade door bodembeweging.

Artikel 24, lid 1 onder r en s, Mbb, vraagt om een beschrijving van de maatregelen die worden genomen om bodembeweging te voorkomen of te beperken.

Artikel 24, lid 1 onder q, Mbb, vraagt om een beschrijving van de mogelijke omvang en de verwachte aard van de schade door bodembeweging. Bovengenoemde artikelen worden in deze paragraaf behandeld.

Bodemdaling als gevolg van de zoutwinning uit de concessie Havenmond leidt hoofdzakelijk tot bodemdaling onder een deel van de Waddenzee dat onderdeel uitmaakt van het kombergingsgebied Vlie. De bodemdalingsschotel ontwikkelt zich onder het zuidelijke deel van de Ballastplaat en het omliggende sublitorale gebied.

Zoals eerder in dit document beschreven, zijn de posities van de cavernes zodanig gekozen dat de bodemdaling onder land en onder de nabijgelegen Pollendam tot een minimum (enkele centimeters) wordt beperkt.

In deze paragraaf wordt ingegaan op het Hand Aan de Kraan-principe als voorzorgsmaatregel voor schade door bodemdaling aan de Waddenzeenatuur (§4.1.1). In paragraaf 4.1.2 wordt toegelicht wat het remwegscenario inhoudt. Om inzichtelijk te maken wat het remwegscenario kan betekenen voor de belasting van de gebruikruimte, is een voorbeeld uitgewerkt in bijlage 7. In paragraaf 4.1.3 en 4.1.4 worden aanvullende de maatregelen Ecologische Monitoring en Soft Shut-in besproken. Een uitgebreide toelichting op waarom schade aan de natuur wordt voorkomen staat beschreven in paragraaf 4.5.1.

In paragraaf 4.1.5 komen de zandsuppleties aan bod. Vervolgens de dijkophoging en de Pollendam (§4.1.6). Dit zijn maatregelen die meer als reparaties kunnen worden aangeduid. Ten slotte gaat paragraaf 4.1 in op bodembeweging in de vorm van seismiciteit (§4.1.7 en zie ook §4.5) en het aanvullend meetnet in de stad Harlingen (§4.1.8).

4.1.1 Zoutwinning met de Hand Aan de Kraan

De Waddenzee is een getijdengebied dat bestaat uit wadplaten en geulen. Via de geulen wordt sedimentrijk water uitgewisseld met de Noordzeekustzone en de grotere Noordzee. Wanneer de stroomsnelheden in de Waddenzee afnemen, bezinkt een deel van het sediment. Dit sediment hoopt op en vormt zandbanken en slikken. Dit zijn de zogenaamde wadplaten. Op deze wijze groeit de Waddenzee mee met veranderende waterstanden. Dit proces wordt ook wel het natuurlijk meegroeivermogen van de Waddenzee genoemd. Per kombergingsgebied in de Waddenzee is een soort minimaal meegroeivermogen bepaald. Dit noemen we de grenswaarde. Dit is een sedimentatiesnelheid (in millimeters per jaar) die de komberging gemiddeld en op langere termijn kan meegroeien als de omstandigheden daarom vragen. Deze grenswaarde vertegenwoordigt een conservatieve waarde voor het meegroeivermogen van het gebied waaronder de bodemdaling plaatsvindt. Hiermee wordt bedoeld dat het daadwerkelijke meegroeivermogen hoger ligt en dat dit een veilige grenswaarde is.

Voor mijnbouw onder de Waddenzee is een toetsingskader ontwikkeld dat rekening houdt met het meegroeivermogen van de Waddenzee. Dit toetsingskader schrijft voor dat de belasting, de 6-jaar gemiddelde snelheid van de bodemdaling op kombergingsniveau, opgeteld bij de snelheid van zeespiegelstijging, niet meer mag bedragen dan de vastgestelde grenswaarde. Frisia moet zorgen

dat ze haar productie zodanig vormgeeft dat deze veilige grenswaarde niet wordt overschreden. Dit heet “*zoutwinning met de Hand Aan de Kraan*”.

Een belangrijk onderdeel van hierboven genoemde Hand Aan de Kraan-principe is de snelheid van zeespiegelstijging. Deze waarde wordt door de Minister van KGG vastgesteld. Dit scenario heet het “*Beleidsscenario voor zeespiegelstijging*” en wordt minimaal eens per vijf jaar herzien. Naast het beleidsscenario wordt er ook een Richtscenario voor zeespiegelstijging vastgesteld. Dit scenario start aan het einde van het Beleidsscenario en biedt een doorkijk voor de verwachte versnelling van de zeespiegelstijging voor de komende decennia. Het doel van het Richtscenario is om mijnbouwbedrijven een onderbouwd beeld te geven van deze mogelijke toekomstige ontwikkeling, zodat zij daar in hun bedrijfsvoering rekening mee kunnen houden. De onzekerheid in deze voorspelling is echter groot gebleken.

De dalingskom in de Waddenzee bevindt zich binnen het kombergingsgebied Vlie. Volgens de Milieu Effect Rapportage (MER) en het toetsingsadvies (ref. 4 en 5) zal er geen sprake zijn van schade door bodemdaling aan de Waddenzeenatuur wanneer de bodemdalingssnelheid het natuurlijke meegroeivermogen van het gebied Vlie niet overschrijdt. In deze conclusie speelt het Hand Aan de Kraan-principe als voorzorgsmaatregel en toetsingskader een belangrijke rol. De werking van het Hand Aan de Kraan-principe is in detail uitgewerkt in het Meet- & Regelprotocol (ref. 8). Frisia houdt zich aan dit protocol door jaarlijks te bepalen of de productieplanning dient te worden aangepast, ten einde binnen de vergunde gebruikruimte te blijven. Daarnaast volgt Frisia uitgangspunten voor Hand Aan de Kraan zoals die ook in het MER zijn gehanteerd.

Mijnbouw onder de Waddenzee conform het Hand Aan de Kraan-principe bestaat al sinds 2006. Recente aanpassingen aan de snelheid van zeespiegelstijging leiden ertoe dat de resterende gebruikruimte binnen enkele jaren beperkend kan gaan worden. Op het moment dat de zoutproductie van onder de Waddenzee de volledige resterende gebruikruimte wil benutten, zal Frisia op kwartaalbasis controleren of haar productieplanning dient te worden aangepast om overschrijding van de gebruikruimtegrens te voorkomen.

4.1.2 Remwegscenario

Zoals in paragraaf 4.1.1 wordt toegelicht, wordt in de berekening van de belasting van de gebruikruimte gebruik gemaakt van een 6-jarig gemiddelde. Hierbij wordt de bodemdaling van de afgelopen drie jaar en die van de komende drie jaar gemiddeld. Dit houdt in dat, wanneer de bodemdaling stopt, er nog wel sprake is van een berekende belasting van de gebruikruimte. In situaties waarin er onverwacht geen gebruikruimte meer beschikbaar is, vormt de resterende belasting gedurende deze drie jaren de zogenaamde remweg (§4.1.2). Deze remweg is dus niet het gevolg van na-ijlende bodemdaling door zoutwinning, welke wordt besproken in paragraaf 4.2.1.

In dit winningsplan wordt een voorbeeld gegeven van een mogelijk remwegscenario. Hiervoor wordt ervanuit gegaan dat het huidige richtscenario het toekomstige beleidsscenario wordt. Wanneer dit gebeurt, is een verlaging van de productie vanaf 2030 noodzakelijk met een totale productiestop in 2034. Enkele maanden voordat het nieuwe beleidsscenario wordt vastgesteld, is het advies omtrent dit scenario doorgaans bekend. Daarom laat Frisia in dit voorbeeldscenario reeds een beperkte afname van de zoutproductie onder de Waddenzee in 2028 plaatsvinden. Het betreft een afname van 60.000 ton zout. Voor de volledigheid benadrukken wij dat dit niet noodzakelijk is om binnen de gebruikruimte te blijven. Het is gewoon een voorbeeldscenario. De tabel voor het productiescenario dat hoort bij het gekozen remwegscenario is te vinden in bijlage 4 (Fig. 10) en is te vergelijken met Figuur 9 in dezelfde bijlage.

In het gekozen voorbeeldscenario geldt ook dat er geen derde of vierde caverne komt. Het cumulatieve cavernevolumen dat in het voorbeeld achtergelaten wordt, is dan ongeveer 2 miljoen m³, verdeeld over twee cavernes. De bij dit scenario horende belasting van de gebruikruimte wordt gepresenteerd in bijlage 7, figuur 16.

4.1.3 Ecologische monitoring

In aanvulling op het Hand Aan de Kraan-principe controleert Frisia in hoeverre de bodemdaling door de zoutwinning lokaal aan het wadoppervlak tot uiting komt en of dit mogelijk leidt tot schade aan de instandhoudingsdoelstellingen van de Waddenzee. Hiertoe laat Frisia ecologische monitoring uitvoeren, waarover zij jaarlijks rapporteert aan het bevoegd gezag. Deze monitoringsresultaten worden jaarlijks onafhankelijk beoordeeld door de Commissie voor Zoutwinning onder de Waddenzee (Commissie voor de m.e.r.) en door de minister van KGG aan de Tweede Kamer aangeboden. Op deze monitoring wordt nader ingegaan in §4.5.

4.1.4 Soft Shut-in

Nieuw in dit Winningsplan is het laten krimpen van de zoutcavernes aan het eind van de winningsfase. Dit wordt Soft Shut-in genoemd. Het doel achter Soft Shut-in is een minimaal cavernevolume achter te laten dat in de toekomst nog voor bodemdaling zou kunnen zorgen. In principe treedt bodemdaling na insluiting van cavernes op doordat de pekkel in de caveerne langzaam in het omliggende zout wordt gedrukt. Dit is een proces dat vele duizenden jaren kan duren. Door na de winning kleinere cavernes achter te laten wordt mogelijke bodemdaling na afloop van de zoutproductie verder gereduceerd.

Meer informatie over de integratie van Soft Shut-in's in de productieplanning wordt gegeven in §3.6.1 en in de memo die Frisia als toelichting bij dit Winningsplan heeft ingediend (ref. 9)

4.1.5 Zandsuppleties

Aangenomen wordt dat het sediment dat de Waddenzee extra vasthoudt als gevolg van de bodemdaling door de zoutwinning ten koste gaat van het sedimentvolume van het kustfundament in de Noordzeekustzone. Rijkswaterstaat is er verantwoordelijk voor om het volume van het kustfundament op peil te houden. Hiertoe voert Rijkswaterstaat zandsuppleties uit. Frisia heeft een contract met Rijkswaterstaat zodat ook het volume bodemdaling door zoutwinning gecompenseerd wordt. De omvang hiervan betreft 2/3 van het bodemdalingsvolume omdat 1/3 van het sediment uit de grotere Noordzee als slib wordt aangevoerd, hetgeen niet leidt tot erosie van het kustfundament. De kosten van de benodigde zandsuppletie zijn gekwantificeerd in bijlage 3.

4.1.6 Dijkverhoging en de Pollendam

De komende jaren zal de dijk in het bodemdalingsgebied worden opgehoogd in het kader van de verwachte zeespiegelstijging. Frisia treedt in overleg met de bevoegde gezagen (Rijkswaterstaat en Wetterskip Fryslan) om te zorgen dat de bodemdaling wordt meegenomen in de mate van ophoging van de dijk. Als gevolg van de aangevraagde wijzigingen in dit Winningsplan is de omvang van de bodemdaling onder de dijk toegenomen. Deze betreft nu 0 tot 4 cm over een afstand van ca. 5 km.

Ook voor de Pollendam geldt dat Frisia met Rijkswaterstaat in overleg treedt om bij een ophoging of reparatie van de Pollendam rekening te houden met de bodemdaling door de zoutwinning. Als gevolg van de aangevraagde wijzigingen in dit Winningsplan is de omvang van de bodemdaling onder de Pollendam afgenomen. Deze betreft nu 0 tot 8 cm over een afstand van ca. 3,5 km.

Figuur 19 in bijlage 8 toont een verschilkaart waarin de bodemdalingsprognoses van het vigerende Winningsplan en de onderhavige aanvraag worden vergeleken.

4.1.7 Seismiciteit

Zoutwinning d.m.v. oplosmijnbouw leidt niet tot aardbevingen. Bij ondiepe zoutcavernes in het oosten van Nederland worden, met zeer gevoelige apparatuur, soms trillingen waargenomen. Deze kunnen optreden wanneer een groot brok zout uit het dak of de wand van een caveerne valt. Deze trillingen worden niet gevoeld en leiden niet tot schade. Bij zoutwinning van Frisia op grote diepte

zijn nog nooit trillingen waargenomen. Deze worden ook niet verwacht. In §4.5 wordt uitgebreider ingegaan op dit onderwerp.

4.1.8 Pilot Harlingen

In Harlingen is sprake van bezorgdheid t.a.v. mijnbouwschade door de zoutwinning. Men vertrouwt er niet op dat de door Frisia voorspelde bodemdalingscontouren zullen kloppen. Om deze zorgen te gemoed te komen, is de Pilot Harlingen opgericht. Dit is een samenwerkingsverband tussen verschillende stakeholders. In de Pilot Harlingen zijn naast Frisia het Ministerie van KGG, de Provincie Friesland, de gemeente Harlingen en Wetterskip Fryslan betrokken. De inwoners van Harlingen worden vertegenwoordigd door Stichting Bescherming Historisch Harlingen.

Binnen de Pilot Harlingen is een meetnet ontwikkeld dat zeer nauwkeurig bodemdaling en trillingen kan meten. Het meetnet is ingericht om onderscheid te kunnen maken tussen diepe en ondiepe bodembeweging. De technische details ervan zijn als bijlage opgenomen in het Meetplan (ref. 7).

4.2 Verloop van de verwachte mate van bodemdaling in de tijd

Artikel 24, lid 1 onder n, Mbb, vraagt om een overzicht van het verloop van de verwachte mate van bodemdaling in de tijd.

Het verloop van de Pleistocene bodemdaling is afhankelijk van de jaarlijkse zoutproductie en cavernegroei. Deze productiecijfers en bijbehorende convergentievolumes zijn gepresenteerd in bijlage 4. De ontwikkeling van de bodemdaling, uitgedrukt als belasting van de gebruikruimte van het Vlie, is gepresenteerd in bijlage 7. Het daarbij horende bodemdalingsvolume ligt tussen de circa 500.000 en 900.000 m³ per jaar vanaf 2025 tot eind zoutwinning in 2052. De productiecijfers en de bijhorende bodembeweging per jaar kunnen variëren en afwijken van de gegeven prognoses in dit winningsplan. Ook optimalisatie van de modellering door toekomstig onderzoek kan leiden tot afwijking van deze prognoses. Een regelmatige update wordt gegeven conform het Meet- en Regelprotocol waarin Frisia aangeeft hoe ze binnen de gelden grenzen blijft.

4.2.1 Na-ijlende bodemdaling door zoutwinning

Nadat productie van een caveerne wordt stilgezet en de caveerne ingesloten wordt, neemt de pekeldruk in de caveerne snel toe. Dit wordt omschreven in §3.7. Door deze drukverhoging in de caveerne, stopt zoutkruip en daarmee bodemdaling vrijwel direct. Dit maakt het mogelijk voor Frisia om accuraat te sturen en te produceren binnen de gebruikruimte.

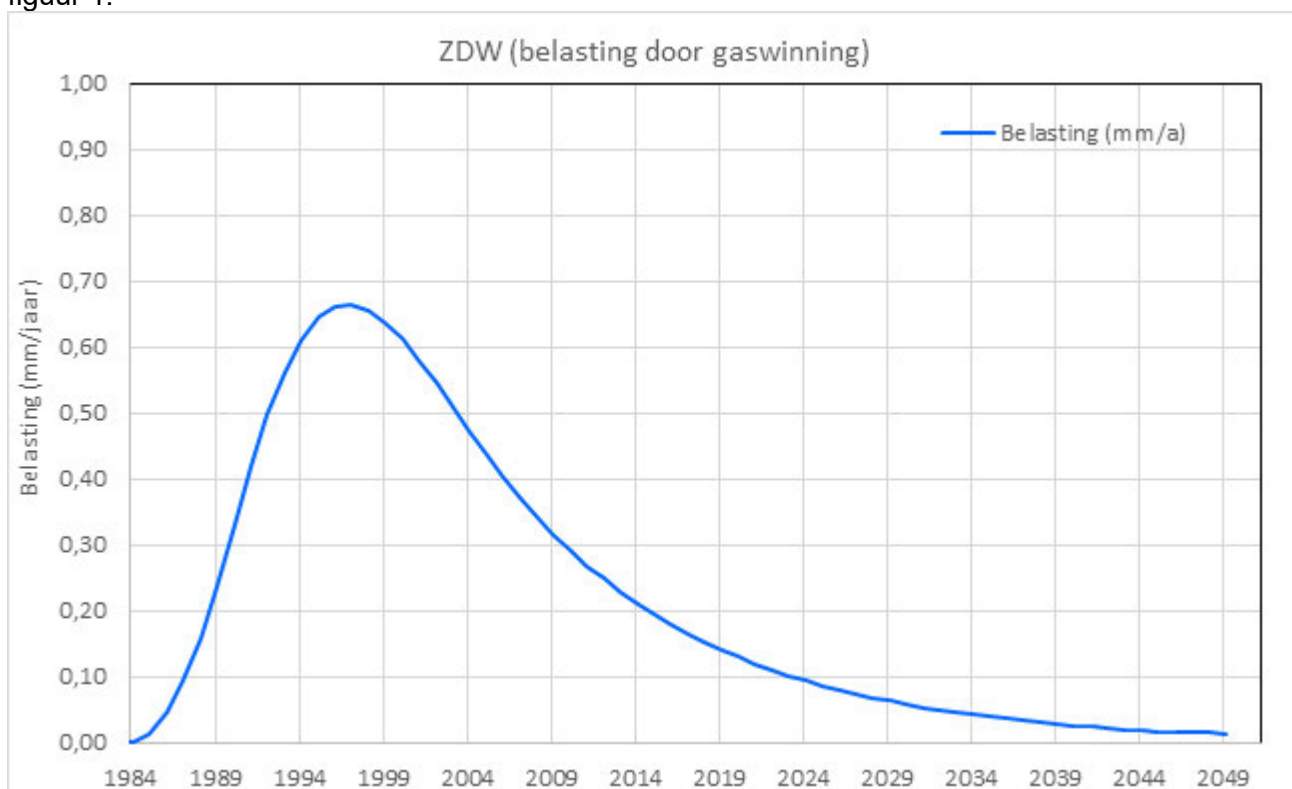
Nadat cavernes zijn ingesloten, blijven deze echter nog wel zeer langzaam doorkruipen en nemen daarmee geleidelijk af in volume. Dit proces vindt plaats op een tijdschaal van duizenden jaren en is afhankelijk van het openstaande cavernevolume. Hoe kleiner de caveerne is (of wordt), hoe langzamer de volumestroom van zoutkruip wordt. Dit effect is lastig meetbaar, omdat het over een volumevermindering in de orde grootte van 1000 - 2500 m³/jaar voor een caveerne met een volume van 375.000 m³ betreft. Holruimte metingen om cavernevolumes te meten hebben een nauwkeurigheid van ≈5% en meten daarmee het cavernevolume met een nauwkeurigheid van +/- 18.750 m³.

Afhankelijk van het gecombineerde cavernevolume in het concessiegebied Havenmond, kan een zeer lichte na-ijlende bodemdaling met een orde grootte van 3000 – 11000 m³/jaar niet uitgesloten worden. Omgerekend betreft dat een na-ijlende belasting van de gebruikruimte van 0.004 – 0.016 mm/jaar voor het kombergingsgebied Vlie. Het is onzeker of deze bodemdaling meetbaar is. Bij de Barradeelcavernes is mogelijk een bodemdaling op het diepste punt te meten van 1 mm/jaar. Dit is vergelijkbaar met 10.000 m³/jaar na-ijlende bodemdaling. Het kan op dit moment echter nog niet uitgesloten worden dat dit effect door andere processen in de ondergrond veroorzaakt wordt, zoals

autonome bodemdaling of ondiepe compactie. De potentiële na-ijlende bodemdaling is als extra belasting meegenomen in het remwegscenario in bijlage 7.

4.2.2 Bodemdaling door gaswinning

Zoals eerder in dit document reeds is aangegeven wordt ook rekening gehouden met de na-ijlende bodemdaling als gevolg van de gaswinning. De gasproductie uit het veld Zuidwal is in 2020 gestopt. Toekomstige gas-gerelateerde belasting is derhalve alleen het gevolg van de na-ijlende bodemdaling. Sinds 2024 gebruikt gasproducent Vermilion een nieuw model om de ontwikkeling van de bodemdaling in kaart te brengen. Voor dit model heeft TNO een applicatie ontwikkeld met de naam PySub. Frisia heeft van Vermilion de berekende volumeverandering van het bodemdalingveld per jaar ontvangen. Op basis van deze volumeverandering wordt de belasting van de gebruikruimte als gevolg van de na-ijlende bodemdaling door de gaswinning Zuidwal bepaald. Het nieuwe model berekent aanzienlijk meer na-ijlende bodemdaling dan de eerder gebruikte modellen. De belasting door gaswinning op basis van het PySub-model wordt getoond in figuur 1.



Figuur 1: Inschatting van de ontwikkeling van de belasting in het kombergingsgebied Vlie als gevolg van historische en na-ijlende bodemdaling veroorzaakt door gaswinning uit het Zuidwal veld. In dit figuur wordt aangenomen dat de bodemdaling volledig binnen het kombergingsgebied de Vlie plaatsvindt. De bodemdaling is berekend met PySub. In 2024 is de belasting ongeveer 0,1 mm/jaar en loopt langzaam af naar 0 mm/jaar na 2050

4.3 Contouren van de verwachte uiteindelijke mate van bodemdaling

Artikel 24, lid 1 onder m, Mbb, vraagt om een kaart met daarop de contouren van de verwachte uiteindelijke mate van bodemdaling.

De gevraagde kaart is getoond in bijlage 8. De cumulatieve uiteindelijke Pleistocene dalingskom boven de vier Havenmondcavernes heeft na een totale zoutproductie van circa 45,5 miljoen ton een diepste punt van ongeveer 167 cm en een doorsnede van ongeveer 7,2 km (2-cm contour, korte as).

4.4 Onzekerheid omtrent de verwachte mate van bodemdaling

Artikel 24, lid 1 onder o, Mbb, vraagt om een opgave van de onzekerheid omtrent de verwachte mate van bodemdaling als bedoeld in de onderdelen m (zie §4.3) en n (zie §4.2).

Gebaseerd op een jarenlange ervaringen met de BAS- cavernes tijdens stabiele ('steady state') productieomstandigheden en tijdens caveerne groeiperiodes worden de prognoses voor de HVM-cavernes als betrouwbaar beoordeeld. Dit geldt met name ten aanzien van het volume van de dalingskom. De inhoud van de dalingskom V_{kom} wordt bepaald uit het ondergrondse convergentievolume volgens: $V_{\text{kom}} = 0,95 * V_{\text{conv}}$. Onder stabiele productieomstandigheden verandert het caveernevolume vrijwel niet en is het convergentievolume ongeveer gelijk aan het gewonnen zoutvolume. De toename van het volume van de dalingskom is dan voor ongeveer 95% evenredig met het gewonnen zoutvolume. De productiecijfers kunnen worden gebruikt om het huidige maximaal gerealiseerde bodemdalingsvolume op elk moment te bepalen (dagelijks bijgewerkt).

Na afloop van de winning worden de cavernes ingesloten en neemt de caverne druk snel toe (zie §3.7 en §3.9). De zoutkruip, de caveerneconvergentie en de bodemdaling komen dan tot stilstand. Het restvolume aan pek in de ingesloten cavernes neemt over zeer lange tijd af, wat niet tot aantoonbare bodemdaling leidt. Strikt genomen kan de inhoud van de dalingskom niet groter worden dan het totale aan de ondergrond onttrokken zoutvolume. Rekening houdend met de 'harde' bovengrens kan het pleistocene dalingsvolume in het concessiegebied Havenmond maximaal 5% groter uitvallen. Als eenvoudige en conservatieve benadering kan men het volume van de dalingskom gelijkstellen aan het ondergrondse convergentievolume volgens $V_{\text{kom}} = V_{\text{conv}}$. Deze conservatieve aanname is al meegenomen in de cijfers en figuren in dit document. Hierbij is het convergentievolume gelijk aan het gewonnen zoutvolume plus het opgeloste zoutvolume in de cavernes, verminderd met het ingesloten pekvolume in de cavernes.

De onzekerheid op het gewonnen zoutvolume is zeer klein ($\approx 1\%$) vanwege het nauwkeurige data-acquisitiesysteem dat Frisia toepast. Hier worden vooral "slimme" debietmeters gebruikt, die regelmatig controleren of ze nog steeds correct meten. De onzekerheid op het caveernevolume, berekend met de volumebalans en gemeten met holruimtemetingen, is iets groter en ligt op ongeveer $\approx 5\%$. De cumulatieve onzekerheid op het convergentie volume is daardoor circa 2%. Rekening houdend met de conservatieve aanname $V_{\text{kom}} = V_{\text{conv}}$, kan het convergentie volume circa 2% hoger tot circa 7% lager uitvallen dan de prognoses, uitgaande van de productiecijfers gepresenteerd in bijlage 4.

4.4.1 Zoutkruipmodel

Productie- en bodemdalingprognoses worden vastgesteld met behulp van een zogenaamd zoutkruipmodel. Met behulp van een dergelijk model wordt voorspeld hoe snel een caveerne groeit of krimpt aan de hand van een bepaalde productiesnelheid. Het op dit moment toegepaste zoutkruipmodel is uitgebreid gekalibreerd aan alle beschikbare data van Frisia's Barradeelcavernes. Een observatie die Frisia heeft gedaan, is dat er sprake is van een hogere zoutkruipsnelheid bij de HVM-02-S2 caveerne dan bij de Barradeelcavernes. Dit wordt onder andere veroorzaakt door de iets diepere ligging van de Havenmondcaveerne(s), wat leidt tot een zwaarder bovenliggend gesteentepakket en de hogere temperatuur van het steenzout. Deze hogere zoutkruipsnelheid geeft Frisia de mogelijkheid om de cavernes klein te houden.

Zodra de tweede caveerne HVM-01-S1 in gebruik wordt genomen, komt er veel additionele data beschikbaar. Onder andere omdat beide cavernes op een lagere productiesnelheid zullen produceren. Dit heeft als gevolg dat de pekeldruk in deze cavernes lager zal liggen, wat nieuwe informatie levert voor kalibratie van het model. Nieuwe prognoses voor de bodemdalingssnelheid worden jaarlijks meegenomen in de zogenaamde Beheerscyclus: de uitvoering van het Meet- en Regelprotocol.

Het zoutkruipmodel heeft invloed op de snelheid waarop cavernes kunnen groeien en krimpen. Daarnaast is Frisia altijd in staat om met behulp van de *choke* de druk in de cave(s) te verhogen en zodoende de cavernegroei- of -krimpsnelheid te sturen, onafhankelijk van de natuurlijke zoutkruip of de gekozen productiesnelheid. Dit geeft Frisia de mogelijkheid om de cavernevolumes en het verloop van de bodemdaling in de tijd te sturen.

4.5 Risico-analyse omtrent bodemtrillingen als gevolg van de winning

Artikel 24, lid 1 onder p, Mbb, vraagt om een risicoanalyse omtrent bodemtrillingen als gevolg van de winning. Artikel 35, lid 1 onder g, Mbw, vraagt aanvullend om de risico's voor omwonenden, gebouwen of infrastructurele werken of de functionaliteit daarvan met een risicobeoordeling.

Tijdens de actieve zoutwinning door Frisia vanaf 1995 tot heden hebben zich in de winningsgebieden (Barradeel en Barradeel II) geen, door het KNMI geregistreerde bodemtrillingen, voorgedaan. De seismische monitoring geschiedt continu door middel van ondergrondse seismometers (tot 120m diepte) die door het KNMI beheerd en uitgelezen worden. De dichtstbijzijnde seismometers zijn geïnstalleerd bij Wijnaldum, Firdgum en Zweins. De detectiegrens voor trillingen ter plaatse van de zoutwinning in het concessiegebied Havenmond is 1,5 (Schaal van Richter) volgens de KNMI MoC-kaart (2023) en daarmee voldoende gevoelig om eventueel schadeveroorzakende bevingen te detecteren en lokaliseren. Ook uit de vakliteratuur zijn geen aanwijzingen bekend over het optreden van bodemtrillingen veroorzaakt door de winning van steenzout op deze dieptes (>2000 m) door middel van oplosmijnbouw. Het is dan ook zeer onwaarschijnlijk dat de zoutproductie in het Havenmondgebied tot bodemtrillingen zal leiden.

4.5.1 Schade aan beschermde natuurwaarden voorkomen

De zoutwinning onder de Waddenzee vindt plaats vanaf een mijnbouwlocatie in de industriehaven van Harlingen. Het puttenveld is gelegen tussen verschillende hoge gebouwen zoals Frisia's fabriekshallen in het zuidwesten en de gebouwen van ICON Yachts in het noordoosten. Aansluitend aan ICON Yachts ligt de Reststoffenenergiecentrale, gevolgd door verschillende andere bedrijven. Gegeven de aaneenschakeling van bedrijfsterreinen is het boorterrein geen opvallende verschijning langs dit deel van de Waddenzeedijk. De aanwezigheid van deze boorlocatie in relatie tot de aangrenzende natuur is reeds passend beoordeeld en vergund (kenmerk DGNR-RRE/ 14040193). Van belang bij deze beoordeling is de nabijheid van de hoogwatervluchtplaats die van augustus tot en met januari hoofdzakelijk door scholeksters wordt gebruikt. Deze hoogwatervluchtplaats bevindt zich enkele honderden meters ten zuidwesten van de boorlocatie, aan het eind van een doodlopende weg langs de dijk. De winning vanaf het industrieterrein heeft geen verstorend effect op deze deelpopulatie. Zelfs wanneer er sprake is van putwerkzaamheden zijn de eventuele licht- en geluidsemissies ondergeschikt aan die van de aangrenzende bedrijven.

Naast de beschermde natuurwaarden van het aangrenzende Natura 2000-gebied Waddenzee wordt het industrieterrein bezocht/ bewoond door verschillende planten- en diersoorten. Frisia heeft hiervoor in 2023 een nieuwe inventarisatie laten uitvoeren. Op de boorlocatie worden geen hogere planten aangetroffen. Ook het aantal diersoorten is hier beperkt. Het meest opvallend is de aanwezigheid van hazen. In de omgeving van de boorlocatie zijn ook de bruine rat en enkele vogelsoorten aangetroffen. Deze dieren, die tussen de fabriekshallen van het industrieterrein wonen, ondervinden geen hinder van de zoutwinning.

Vanaf de bovengenoemde boorlocatie worden putten aangelegd die op een diepte van 100den meters door de ondergrond onder de Waddenzee door lopen. Zowel het aanleggen van de putten als het transport van vloeistoffen door de putten heeft geen enkel effect op de beschermde natuurwaarden aan het aardoppervlak, noch op de natuurlijke kenmerken van het Waddenzee-ecosysteem.

De zoutwinning die Frisia uitvoert, leidt tot zoutkruip en daarmee tot bodemdaling in de diepe ondergrond. In het geval van de zoutwinning is er uitsluitend sprake van bodemdaling onder

wadplaten en geulen. Niet onder kwelders of duinvalleien. Deze bodemdaling leidt niet tot een significante aantasting van deze wadplaat- of geulhabitats (H11.40 en H11.10). Zoals in paragraaf 4.1 wordt uitgelegd, zullen natuurlijke erosie- en sedimentatieprocessen ervoor zorgen dat er geen bodemdalingskom ontstaat zoals dat op het land wel het geval is. Deze dynamiek zorgt ervoor dat het sedimentvolume in de Waddenzee meegroeit met de stijgende zeespiegel en, lokaal, met bodemdaling door zoutwinning. Hoe groot dat meegroeivermogen precies is, is onbekend. Voor het kombergingsgebied van het Vlie wordt een veilige grens van minimaal 5 mm per jaar gehanteerd (§3.5).

In het onderhavige winningsplan wordt een grotere productie en dus een grotere diepe bodemdaling aangevraagd. Zoals is aangegeven in §4.1.1 en in bijlage 7 beschreven, blijft het Hand aan de Kraan-principe van kracht. Het Hand aan de Kraan-principe voorkomt dat er significante schade aan de natuurwaarden van de Waddenzee kan ontstaan. Zodoende zorgt de verplichting tot het Hand Aan de Kraan principe ervoor dat er een verschil kan ontstaan tussen het aangevraagde en het gerealiseerde productievolume. Dit verschil treedt automatisch op wanneer de gebruiksruiimtegrens dreigt te worden overschreden omdat Frisia haar productie tot de beschikbare gebruiksruiimte beperkt. Zodoende is er geen directe relatie tussen de omvang van het aangevraagde productievolume en de mogelijke effecten daarvan op de natuur.

De bovengenoemde theorie wordt al decennialang onderzocht en houdt stand. Bodemdaling onder wadplaten en geulen heeft tot nu toe nooit tot komvorming of natuurschade geleid (ref. 6). Ook Frisia onderzoekt de morfologische en ecologische ontwikkelingen in het gebied boven de Havenmondconcessie. Ieder jaar worden de volgende aspecten van het ecosysteem in beeld gebracht.

- Bodemdaling in de diepe ondergrond
- Erosie en sedimentatie aan het wadoppervlak
- Sedimentsamenstelling in het bodemdalingsgebied
- Bodemdierensamenstelling (als voedsel voor vogels) in het bodemdalingsgebied
- Aantalsontwikkeling van beschermde vogelsoorten op hoogwatervluchtplaatsen
- Laagwatersverspreiding van wadvogels in het bodemdalingsgebied

De bovenstaande monitoringsdata worden in samenhang bekeken en beoordeeld. Deze resultaten worden jaarlijks gerapporteerd aan de Minister van Economische Zaken en Klimaat & Groene Groei en aan de Minister van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit Minister van Landbouw, Visserij, Voedselzekerheid en Natuur. Op deze wijze wordt zorgvuldig in de gaten gehouden of de conclusie, dat zoutwinning niet leidt tot schade aan beschermde natuurwaarden, correct is. Onverwachte nadelige ontwikkelingen zullen op deze wijze vroegtijdig worden opgespoord. Mocht de monitoringdata leiden tot twijfel over de afwezigheid van nadelige effecten, dan kan de Minister van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit Minister van Landbouw, Visserij, Voedselzekerheid en Natuur in de zoutproductie ingrijpen. Het huidige monitoringprogramma is zodanig ingericht dat ook de aangevraagde uitbreiding van de zoutwinning goed bestudeerd wordt. Dit geheel is geregeld en vastgelegd in Frisia's Wnb-vergunning (kenmerk DGNR-RRE/ 14040193). Verder zijn er geen effecten op natuur aan de orde.

5 Kosten op jaarbasis (vertrouwelijke informatie)

Artikel 35, lid 1 onder e, Mbw, vraagt om de kosten op jaarbasis van het winnen van de delfstoffen. Artikel 24, lid 1 onder I Mbb, vraagt aanvullend een opgaaf van de jaarlijkse kosten voor investeringen, onderhoud, bedrijfsvoering, en de kosten van het verlaten en verwijderen van mijnbouwwerken.

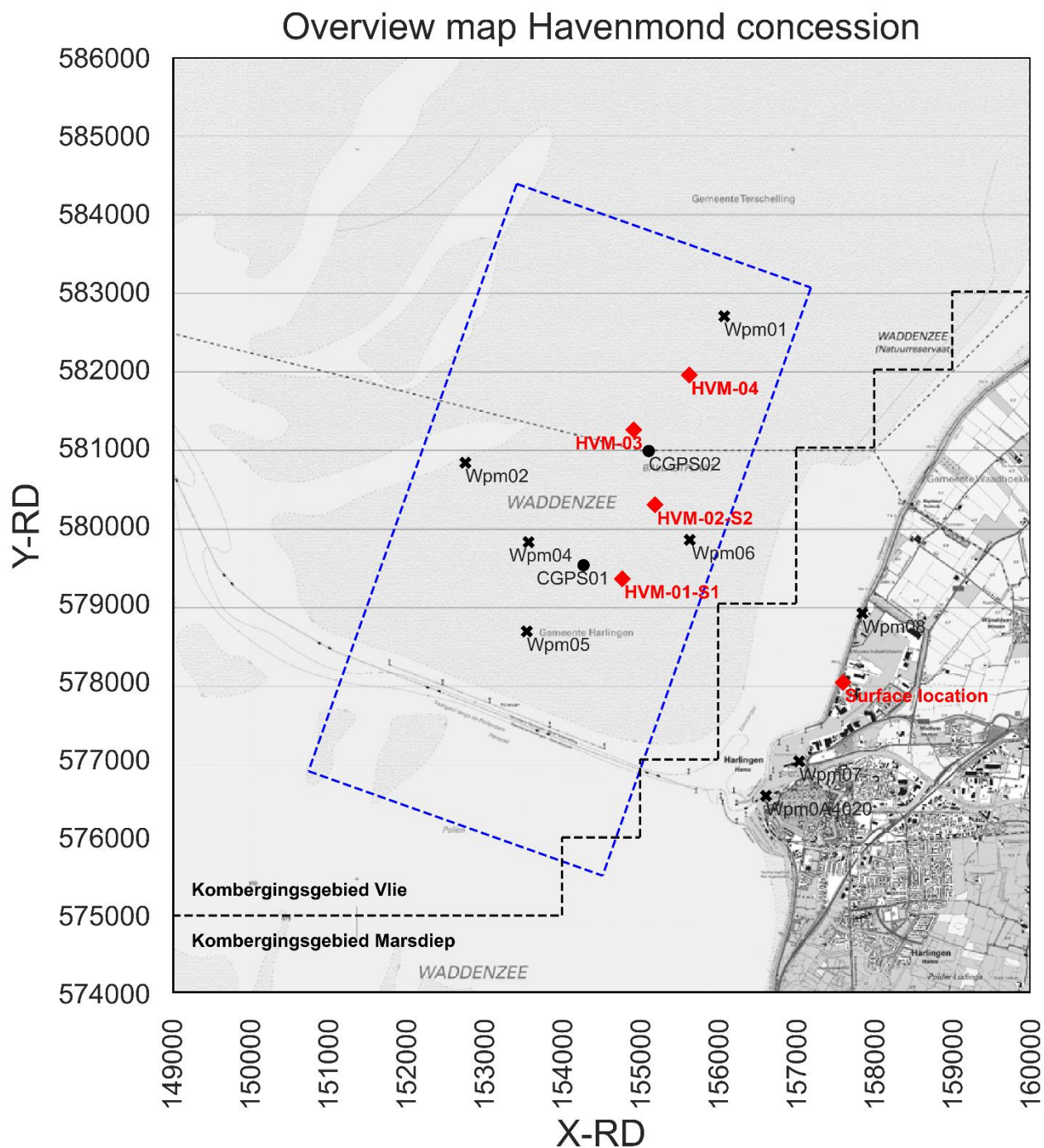
Frisia is voornemens de kosten van de winning te financieren uit eigen middelen.

Productieplanning en kosten zijn gespecificeerd in bijlage 3, die vertrouwelijk is uit het oogpunt van concurrentie.

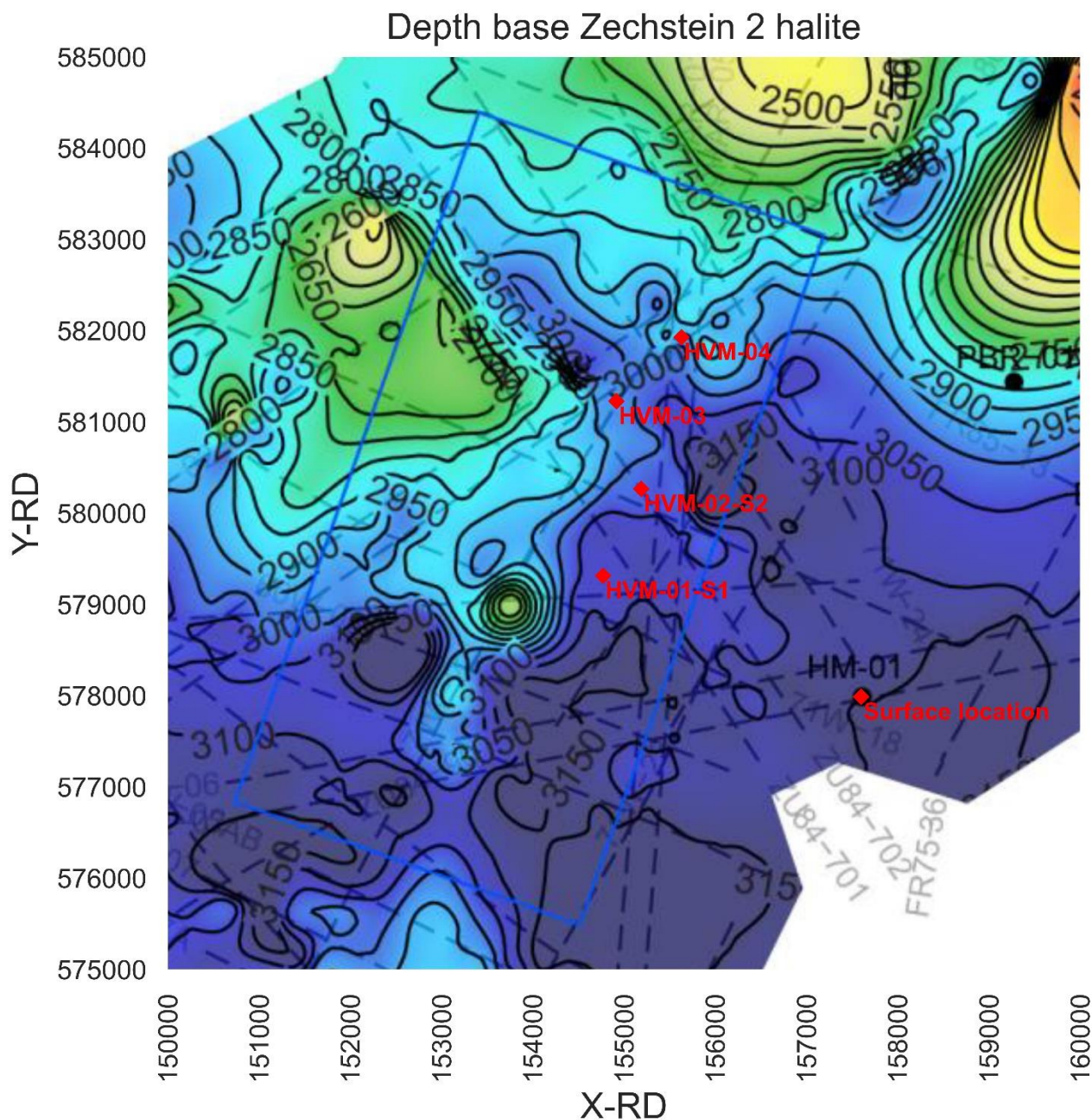
6 Referenties

1. Abandonment of an extremely deep cavern at Frisia Salt. H. Van Heekeren, T. Bakker, A. Duquesnoy, V. De Ruiter. Well Engineering Partners B.V., SMRI Spring 2009 Technical Conference, Krakow, Poland.
2. BAS-4 Cavern Abandonment risk analysis. A. van El, R. Gielisse, T. Boerrigter, Well Engineering Partners B.V., 12 februari 2019.
3. Havenmond Cavern Abandonment Risks. Analysis and evaluation of scenario-based risks, A. van El, T. Boerrigter, T.A. Chorus, Well Engineering Partners B.V., 6 september 2021.
4. Milieueffecten continuering van de zoutwinning in Noord West Fryslân, Deel A. Arcadis, 9 juni 2010.
5. Zoutwinning Frisia Zout B.V. te Harlingen, Toetsingsadvies over het milieueffectrapport, rapportnummer 2150-156. Commissie m.e.r., 16 november 2010.
6. Sedimentatie metingen op het wad van Ameland, Paesens, Piet Scheve plaat, Engelsmanplaat en Schiermonnikoog. J. Krol. Natuur Centrum Ameland, april 2023.
7. Meetplan Havenmond 2024, Frisia Zout B.V., 31 oktober 2023; Aanvullende bijlage voor meetplan Harlingen 2024, Frisia Zout B.V., 31 oktober 2023
8. Meet- en regelprotocol zoutwinning Havenmond in de Waddenzee v.3.2, A. Duquesnoy, Frisia Zout B.V., 12 december 2012
9. 2024 Toelichting actualisatie Winningsplan v1.0, Frisia Zout B.V., 18 juni 2024

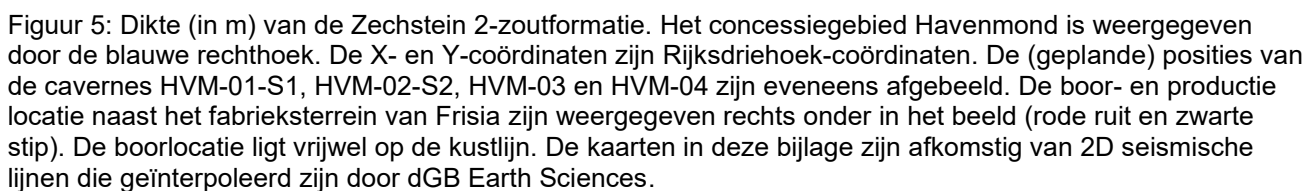
Bijlage 1: Ligging van het concessiegebied Havenmond

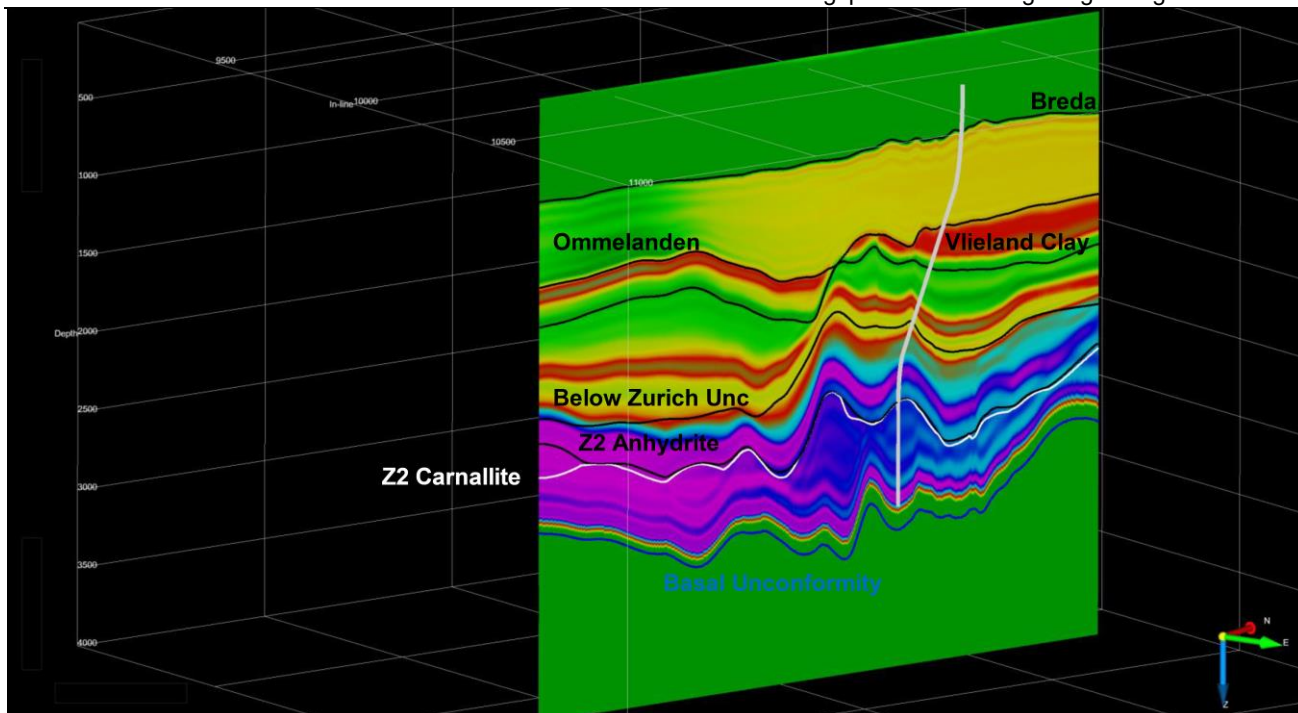


Figuur 2: Ligging concessiegebied Havenmond, geplande cavernes en meetpunten voor diepe bodemdaling. Het concessiegebied Havenmond is weergegeven door de blauwgestippelde rechthoek. De X- en Y-coördinaten zijn Rijksdriehoek-coördinaten. De (geplande) posities van de cavernes HVM-01-S1, HVM-02-S2, HVM-03 en HVM-04 zijn afgebeeld in rood. De boorlocatie is ook aangeduid met een rode ruit (Daar is geen caverne gepland). De scheidingslijn tussen het Kobergingsgebied Vlie en Kobergingsgebied Marsdiep is aangegeven met de zwart gestippelde lijn. De zwarte punten 'Wpm' en 'CGPS' geven de huidige locaties aan van de GNSS-stations die continue (CGPS) en periodiek (Wpm) worden gemeten om bodembeweging te bepalen.



Figuur 4: Diepteligging (in m) van de basis van de Zechstein 2-zoutformatie. Het concessiegebied Havenmond is weergegeven door de blauwe rechthoek. De X- en Y-coördinaten zijn Rijksdriehoek-coördinaten. De (geplande) posities van de cavernes HVM-01-S1, HVM-02-S2, HVM-03 en HVM-04 zijn eveneens afgebeeld. De boor- en productie locatie naast het fabrieksterrein van Frisia zijn weergegeven rechts onder in het beeld (rode ruit en zwarte stip). De boorlocatie ligt vrijwel op de kustlijn. De kaarten in deze bijlage zijn afkomstig van 2D seismische lijnen die geïnterpoleerd zijn door dGB Earth Sciences.





Figuur 6: Ligging van de zoutlaag (blauw & paarse kleuren) ten opzichte van de andere aardlagen langs het boortraject van HVM-01-S1. De cavernes HVM-02-S2, HVM-03 en HVM-04 hebben een vergelijkbare loodrechte projectie op de getoonde dwarsdoorsnede, die vanuit de stad Harlingen in noordwestelijke richting loopt. De diepteschaal is circa 2x vergroot ten opzichte van de horizontale schaal.

Bijlage 3: 5.1.2.f

(vertrouwelijke gegevens)

5.1.2.f

5.1.2.f
5.1.2.f

(vertrouwelijke gegevens)

5.1.2.f

5.1.2.f

(vertrouwelijke gegevens)

Bijlage 4: Productieoverzichten

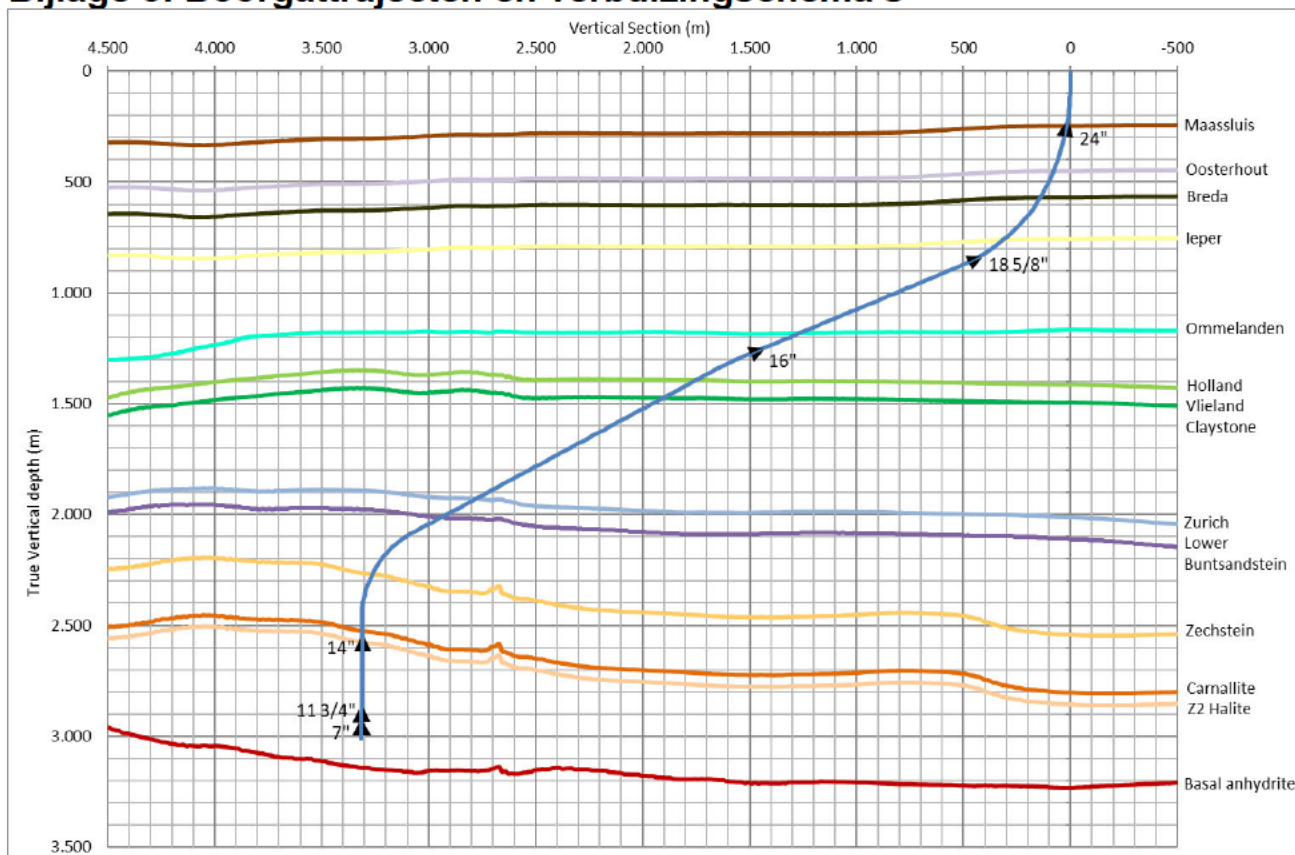
Jaar	Productie (Mton/jaar)	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044	2045	2046	2047	2048	2049	2050	2051	Cumulatief	
Productie (Mton/jaar)	HVM-02-S2	0,07	0,70	0,94	1,02	1,09	1,09	0,79	0,78	0,78	0,78	0,78	0,78	0,78	0,65	0,55	0,43																		12,00
	HVM-01-S1					0,11	0,65	0,78	0,78	0,78	0,78	0,78	0,78	0,91	1,01	0,78	0,78	0,78	0,78	0,78	0,60	0,51	0,41	0,68	0,68	0,68	0,68	0,68	0,64	0,62	0,60	12,00			
	HVM-03																	0,35	0,78	0,78	0,78	0,96	1,05	0,47	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,92	0,94	0,96	9,46		
	HVM-04																																	12,00	
Cumulatief		0,07	0,70	0,94	1,02	1,09	1,20	1,44	1,56	1,56	1,56	1,56	1,56	1,56	1,56	1,56	1,56	1,56	1,56	1,56	1,56	1,56	1,56	1,56	1,56	1,56	1,56	1,56	1,56	1,56	1,56	1,56	1,56	45,45	
Productie (m3/jaar)	HVM-02-S2	30.662	322.733	434.517	474.046	505.000	502.954	367.900	361.111	361.111	361.111	361.111	361.111	361.111	298.857	252.702	196.623																	5.555.660	
	HVM-01-S1					51.699	296.767	361.111	361.111	361.111	361.111	361.111	361.111	361.111	423.365	469.521	161.469	361.111	361.111	361.111	361.111	444.135	487.284	314.815	314.472	314.815	314.815	314.815	314.815	307.703	287.318	275.779	5.555.219		
	HVM-03																																	4.377.983	
	HVM-04																																	5.555.219	
Cumulatief		30.662	322.733	434.517	474.046	505.000	554.653	666.667	722.222	722.222	722.222	722.222	722.222	722.222	722.222	722.222	722.222	722.222	722.222	722.222	722.222	722.222	722.222	722.222	722.222	722.222	722.222	722.222	722.222	722.222	722.222	722.222	722.222	20.855.751	
Caverne groei (m3/jaar)	HVM-02-S2	20.192	295.866	386.132	408.456	409.897	235.661	-165.655	-166.915	-149.383	-133.695	-119.656	-107.083	-183.755	-146.168	-116.898	-93.490	-1.936	-2.312	-1.521	-1.093	-1.070	-1.063	-1.060	-1.057	-1.057	-1.051	-1.048	-1.045	-1.039	-1.036	-1.033	354.029		
	HVM-01-S1					40.567	108.755	140.138	40.294	28.032	24.434	24.462	22.739	203.539	285.849	-206.169	-73.412	-10.012	15.374	-107.146	-89.324	-74.469	-13.72	-18.15	-1.089	-1.001	-998	-995	-990	-987	-984	362.255			
	HVM-03																76.284	185.037	32.097	16.456	240.571	288.570	-168.848	-134.844	-107.695	-83.574	-19.793	8.913	17.787	19.411	-12.361	-10.026	-11.800	335.897	
	HVM-04																																	980.100	
Cumulatief		20.192	295.866	386.132	408.456	409.897	276.228	-56.900	-26.777	-109.089	-105.663	-95.222	-82.631	-161.016	57.371	166.951	-223.376	109.689	19.773	30.308	132.333	198.177	-155.414	121.255	-20.601	-42.442	17.606	42.742	51.565	87.082	103.738	123.592	2.032.140		
Convergentie volume zoutwinning (m3/jaar)	HVM-02-S2	13.461	70.698	105.590	126.102	155.829	302.206	509.014	503.298	488.364	475.000	463.040	452.338	517.643	423.370	352.281	279.262	1.649	1.970	1.296	931	911	906	903	901	901	895	893	890	885	882	880	5.254.080		
	HVM-01-S1					17.142	206.124	241.794	326.787	337.232	340.297	340.273	341.741	249.980	226.020	536.737	423.647	369.640	348.015	369.359	311.029	63.437	1.169	1.546	928	852	850	848	848	843	841	839	5.038.757		
	HVM-03																96.506	203.487	333.769	347.093	239.204	241.464	458.648	429.340	406.555	386.008	331.675	307.222	299.663	298.279	308.233	296.370	285.831	5.269.349	
	HVM-04																																	3.542.483	
Cumulatief		13.461	70.698	105.590	126.102	155.829	319.348	715.137	745.032	815.150	812.232	803.337	792.612	859.384	673.350	578.301	912.506	628.784	705.379	696.404	609.494	553.405	666.529	618.931	739.770	758.376	707.224	685.812	678.296	679.361	648.041	633.852	616.540	19.124.668	
Convergentie volume landwinning (m3/jaar)	Vile-Gaswinning	84.991	78.184	72.126	66.537	61.543	56.614	52.227	48.181	44.563	40.994	37.819	34.887	32.270	29.685	27.384	25.263	23.367	21.495	19.829	18.293	16.921	15.564	14.359	13.247	12.251	11.272	10.397	9.590	8.873	8.161	8.161	1.013.208		
	Vile-Zoutwinning	12.535	65.836	98.328	117.430	145.112	237.259	664.432	692.007	756.674	753.879	745.574	735.586	797.756	625.194	536.859	850.415	592.178	670.159	662.061	578.331	524.639	821.137	603.684	720.245	738.014	687.888	666.884	659.523	660.536	630.371	616.505	600.022	18.325.592	
	Cumulatief Vile	97.526	144.020	170.454	183.966	206.655	383.873	716.659	740.188	801.237	794.873	783.393	770.473	830.026	651.879	564.243	876.578	615.545	691.654	682.430	594.624	541.560	836.701	618.043	733.492	750.265	699.160	677.281	669.113	669.409	638.532	624.666	608.183	19.338.800	
	Land-Zoutwinning	846	4.444	6.638	7.927	9.796	20.176	46.169	49.258	53.167	53.045	52.504	51.830	56.036	43.801	37.685	56.350	33.221	32.082	30.814	30.143	26.176	30.724	14.277	18.228	18.997	18.026	17.639	17.492	17.540	16.475	16.171	15.770	902.447	
Land-Zoutwinning	80	418	624	745	921	1.913	4.536	4.766	5.309	5.307	5.259	5.196	5.592	4.355	3.757	5.741	3.366	3.138	2.989	3.020	2.590	2.752	970	1.297	1.366	1.310	1.290	1.281	1.285	1.196	1.176	1.148	84.713		

Figuur 9: Productieoverzicht voor een optimale zoutproductie uit de Havenmondconcessie.

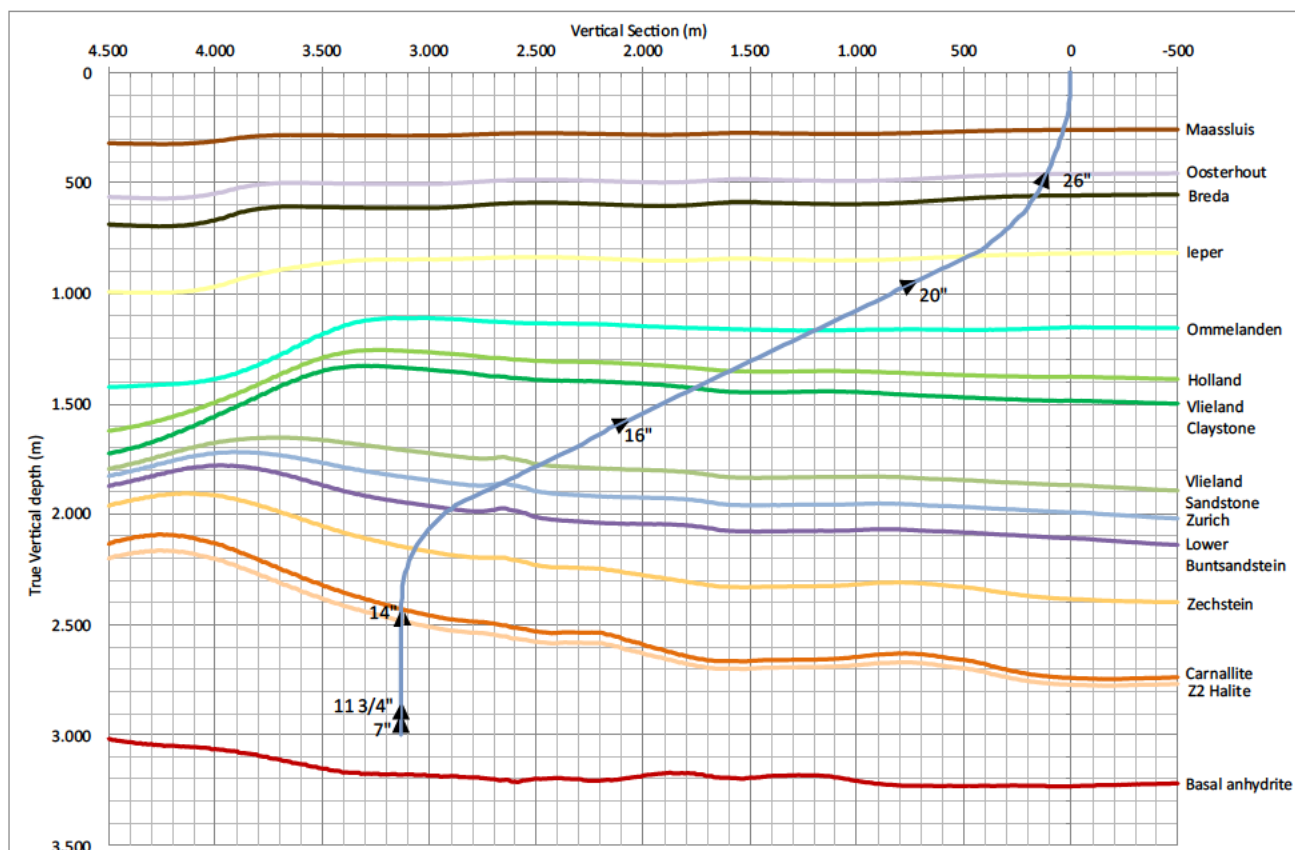
Jaar	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044	2045	2046	2047	2048	2049	2050	2051	Cumulatief
Productie (Mton/jaar)																																	
HWM-02-S2	0,07	0,70	0,94	1,02	1,09	1,09	0,79	0,78	0,55	0,61	0,54	0,49	0,46	0,30																			9,42
HWM-01-S1						0,11	0,65	0,78	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95																			7,26
HWM-03																																	0,00
HWM-04																																	0,00
Cumulatief	0,07	0,70	0,94	1,02	1,09	1,20	1,44	1,56	1,50	1,56	1,49	1,44	1,42	1,26	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	16,68	
Productie (m3/jaar)																																	
HWM-02-S2	30.662	322.733	434.517	474.046	505.000	502.954	367.900	361.111	253.061	282.877	248.295	226.543	213.172	140.294																			4.363.165
HWM-01-S1						51.699	298.767	361.111	441.199	439.345	441.972	441.972	441.972	441.972																			3.360.008
HWM-03																																	0
HWM-04																																	0
Cumulatief	30.662	322.733	434.517	474.046	505.000	554.653	666.667	722.222	694.261	722.222	690.267	668.514	655.144	582.265	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7.723.173	
Caverne groei (m3/jaar)																																	
HWM-02-S2	20.192	295.866	386.132	408.456	409.897	235.661	-336.314	-285.587	-134.303	0	0	0	0	0	-6.109	-6.333	-4.229	-2.985	-2.873	-2.864	-2.864	-2.848	-2.831	-2.830	-2.814	-2.806	-2.798	-2.797	-2.781	-2.773	-2.765	940.860	
HWM-01-S1						40.567	108.755	140.138	246.460	141.936	106.843	82.498	66.045	68.767	-6.534	-6.629	-4.521	-3.008	-2.531	-2.524	-2.525	-2.511	-2.505	-2.498	-2.499	-2.485	-2.479	-2.473	-2.473	-2.460	-2.454	-2.447	946.453
HWM-03																																	0
HWM-04																																	0
Cumulatief	20.192	295.866	386.132	408.456	409.897	276.228	-227.559	-145.449	112.156	141.936	106.843	82.498	66.045	68.767	-12.643	-12.962	-8.750	-5.993	-5.404	-5.389	-5.388	-5.359	-5.344	-5.329	-5.329	-5.300	-5.285	-5.270	-5.270	-5.241	-5.227	-5.212	1.887.313
Convergentie volume zoutwinning (m3/jaar)																																	
HWM-02-S2	13.461	70.698	105.590	126.102	155.829	302.206	654.389	604.389	367.468	282.877	248.295	226.543	213.172	140.294	5.204	5.395	3.603	2.543	2.447	2.440	2.439	2.426	2.419	2.411	2.411	2.397	2.390	2.383	2.383	2.369	2.362	2.355	3.561.692
HWM-01-S1						17.142	206.124	241.734	231.252	318.436	350.958	371.696	385.711	383.392	5.566	5.647	3.851	2.562	2.156	2.150	2.151	2.139	2.134	2.128	2.129	2.117	2.112	2.106	2.107	2.096	2.090	2.085	2.553.770
HWM-03																																	0
HWM-04																																	0
Cumulatief	13.461	70.698	105.590	126.102	155.829	319.348	860.513	846.124	598.720	601.313	599.253	598.238	598.883	523.686	10.770	11.042	7.454	5.105	4.603	4.590	4.590	4.565	4.552	4.540	4.540	4.515	4.502	4.490	4.490	4.465	4.453	4.440	6.115.462
Convergentie volume konbergingsgebieden (m3/jaar)																																	
Vlie-Gewinning	84.991	78.184	72.126	66.537	61.543	56.614	52.227	48.181	44.563	40.994	37.819	34.887	32.270	29.685	27.384	25.263	23.367	21.495	19.829	18.293	16.921	15.564	14.359	13.247	12.251	11.272	10.397	9.590	8.873	8.161	8.161	1.013.208	
Vlie-Zoutwinning	12.535	65.836	98.328	117.430	145.112	297.259	799.809	786.146	555.837	557.538	555.489	554.272	554.859	484.830	9.988	10.241	6.913	4.735	4.271	4.259	4.259	4.236	4.224	4.212	4.212	4.189	4.177	4.166	4.166	4.143	4.131	4.120	5.676.021
Cumulatief Vlie	97.526	144.020	170.464	183.966	206.655	353.873	852.036	834.327	600.400	598.532	593.308	589.259	587.129	514.515	37.372	35.504	30.280	26.230	24.100	22.552	21.180	19.800	18.583	17.459	16.463	15.461	14.574	13.756	13.039	12.304	12.292	12.281	6.689.229
Marsdiep-Zoutwinning	846	4.444	6.638	7.927	9.796	20.176	55.308	54.613	38.997	39.729	39.704	39.777	39.908	35.183	710	727	491	336	302	301	301	299	298	298	298	296	295	294	294	293	292	291	399.464
Land-Zoutwinning	80	418	624	745	921	1.913	5.395	5.364	3.885	4.046	4.060	4.089	4.116	3.672	72	74	50	34	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	29	29	29	39.976

Figuur 10: Productieoverzicht dat ervan uit gaat dat het huidige Richtscenario het nieuwe Beleidsscenario wordt (remwegscenario).

Bijlage 5: Boorgattrajecten en verbuizingschema's



Figuur 11: Boorgattraject voor put HVM-02-S2



Figuur 12: Boorgattraject voor put HVM-01-S1

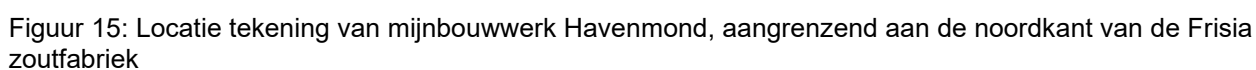
Nr.	Item Description	HVM-02-S2 HVM-02-S2 GL	Depth	Depth	Hole ID	Pipe OD	Collar	Pipe ID	Lithology (top)	
			GL	GL			OD	ID	GL	
			m	m	in		in	in	m	m
			tv	ah					vd	ah
1	30" stovepipe KOP (2,19/30m)		30 101	30 101			30,000	29,000	North Sea	
2	24" (0,5" Wallthickness) K55 conductor TOC 16" casing - Top fill		300 409	300 416	28,000	24,000	24,000	23,000		
3	BOC 16" casing - Top fill 18 5/8" 94,5ppf K55 surface casing EOB (68,2°)		873 879 883	1076 1092 1104	22,000	18,625	20,000	17,689		
	TOC 16" casing		1069	1591					leper 754 840	
4	16" 84ppf L80 intermediate casing		1292	2197	20,000	16,000	16,250	15,010		
	TOC 13 3/8" casing SOD (3,84°/30m)		1895 2087	3508 3925						
5	13 3/8" 68ppf P110 last cemented casing EOD (0°) Bottom Camallite		2232 2477 2575	4145 4406 4504		13,375	14,175	12,415	Landen Clay 1135 1767 Chalk 1168 1855	
6	14" 104ppf P110 last cemented casing		2610	4539	16,000	14,000	14,000	12,532		
7	11 3/4" 65ppf L80HC outer string 7" 29ppf L80 inner string		2951 2998 3012	4880 4927 4941	17,500	11,750 7,000	11,943 7,644	10,682 6,184		
	TD								Rijnland 1381 2395 Vlieland Claystone 1461 2568	
									Zurich 1930 3582 Lower Bunter 2014 3766	
									Zechstein 2256 4174 Z2 Halite 2512 4441	

Figuur 13: Verbuizingsschema van de boring HVM-02-S2

Nr.	Item Description		Depth GL	Depth GL	Hole ID	Pipe OD	Collar OD	Pipe ID	Lithology (top) GL
			m tvd	m ah	in	in	in	in	m tvd m ah
1	32" 165,8ppf S355J0 stove pipe KOP (2,14/30m)		40 52	40 52	37,402	32,008	32,008	31,063	North Sea
2	26" 169,5ppf X56 conductor EOB (65,1°)		513	537	30,000	26,000	27,000	24,750	
3	20" 106,5ppf K55 surface casing TOC 16" casing		851	1037					leper 834 1008
			981	1360	24,000	20,000	21,000	19,000	
			1086	1606					Landen Clay 1123 1694
									Chalk 1157 1774
									Rijnland 1350 2231 Vlieland Claystone 1426 2411
4	16" 84ppf L80 intermediate casing TOC 13 3/8" casing		1607	2841	18,500	16,000	16,257	15,010	
			1643	2923					
			1935	3599					Zurich 1867 3435
5	13 3/8" 68ppf P110 last cemented casing EOD (0°) Bottom Carnallite		2169	3950		13,375	14,252	12,415	Lower Bunter 1969 3671
6	14" 113ppf P110 last cemented casing		2410 2475	4202 4267	16,000	14,000	14,253	12,400	Zechstein 2153 3932
7	11 3/4" 65ppf VM110HC outer string		2502	4295					Z2 Halite 2475 4267
8	7" 29ppf L80 inner string TD		2926 2986 2996	4719 4779 4789	17,500	11,750 7,000	11,961 7,677	10,682 6,184	

Figuur 14: Verbuizingschema van de boring HVM-01-S1

Bijlage 6: Mijnbouwwerk Havenmond



Bijlage 7: Belastingscenario's van de gebruiksruimte - kombergingsgebied Vlie

Zoals toegelicht in paragraaf 4.1.1 en 4.1.2 wordt de zoutwinning onder de Waddenzee beperkt door de gemiddelde snelheid van de bodemdaling onder het kombergingsgebied Vlie. Opgeteld mogen de snelheid van bodemdaling door de zoutwinning (6-jarig gemiddelde, inclusief na-ijlende bodemdaling door gaswinning) en de snelheid van zeespiegelstijging niet meer bedragen dan 5mm per jaar. Een klein deel van de bodemdaling vindt onder het kombergingsgebied Marsdiep plaats. Dit is echter zo weinig dat het nooit eerder tot beperkingen leidt dan de bodemdalingssnelheid onder het Vlie. De bodemdalingssnelheid onder het Marsdiep wordt hier dan ook buiten beschouwing gelaten.

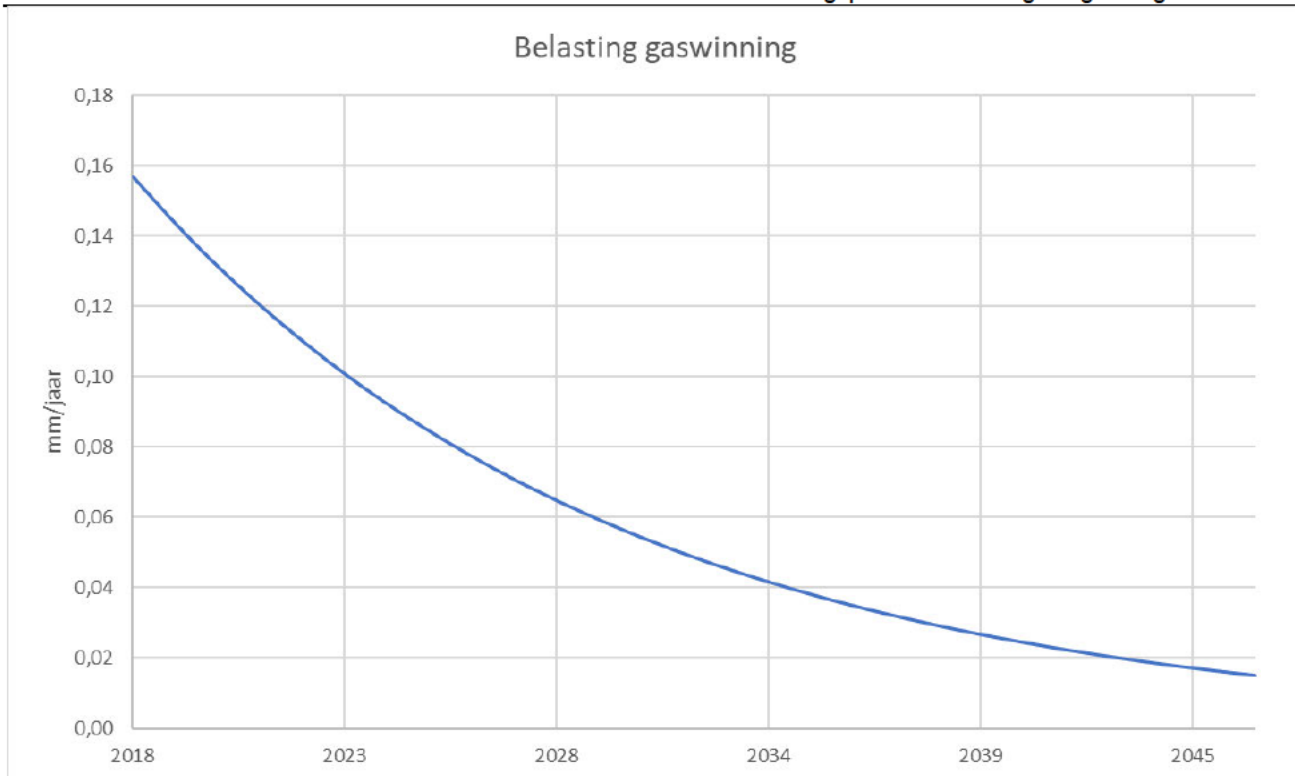
De vastgestelde grenswaarde voor het kombergingsgebied Vlie is vastgesteld op 5 mm/jaar. Het zeespiegelstijgingsscenario bestaat uit twee delen. De eerste vijf jaar van het scenario bestaat uit het beleidsscenario (dik gedrukte lijnen in de onderstaande figuren). Hierin is de zeespiegelstijgingprognose tot 2024 vastgesteld op 2.4 mm/jaar. Vanaf 2024 tot en met 2029 is de zeespiegelprognose vastgesteld op 3.6 mm/jaar in 2024, linear groeiend naar 3.85 mm/jaar in 2029. Dit zeespiegelscenario samen met het meegroeivermogen van het kombergingsgebied leidt tot een bepaalde gebruiksruimte waarbinnen zout- en gaswinning plaats kan vinden. Het tweede deel van het zeespiegelstijgingsscenario bestaat uit het richtscenario en is bedoeld om bedrijven een beeld te geven van mogelijke toekomstige ontwikkeling (stippellijn).

De belasting van het kombergingsgebied wordt bepaald door de gemiddelde Pleistocene bodemdalingssnelheid van zout- en gaswinning over het gehele oppervlak van het kombergingsgebied en wordt jaarlijks vastgesteld. De belasting is het 6 jaarlijks gemiddelde van de bodemdalingssnelheid (voortschrijdend gemiddelde, 3 jaar terug, 3 jaar vooruit). De belasting op het kombergingsgebied Vlie, aan de hand van de productieplannen gepresenteerd in dit winningsplan, is gepresenteerd in figuur 11 en blijft binnen de grenzen van het beleidsscenario.

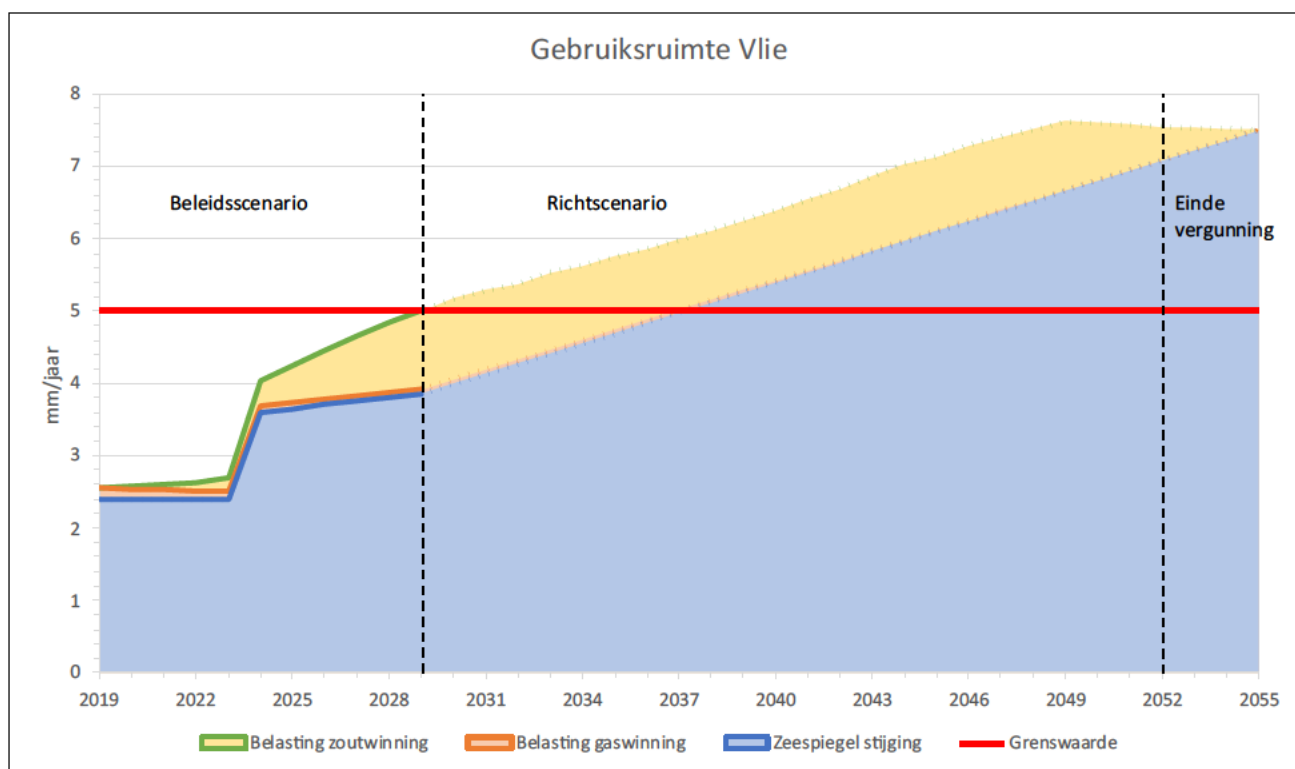
Indien het huidige Richtscenario werkelijkheid wordt, zal Frisia haar productie moeten verminderen vanaf 2028 met een productiestop in 2034. Dit scenario is gepresenteerd in figuur 12.

In het kombergingsgebied Vlie is sprake van bodemdaling door gaswinning, veroorzaakt door de gaswinning Zuidwal. In 2020 is gaswinning in dit veld gestopt. Wel is er nog sprake van 0.02 – 0.16 mm/jaar na-ijlende belasting van de gebruiksruimte, zoals gepresenteerd in figuur 10.

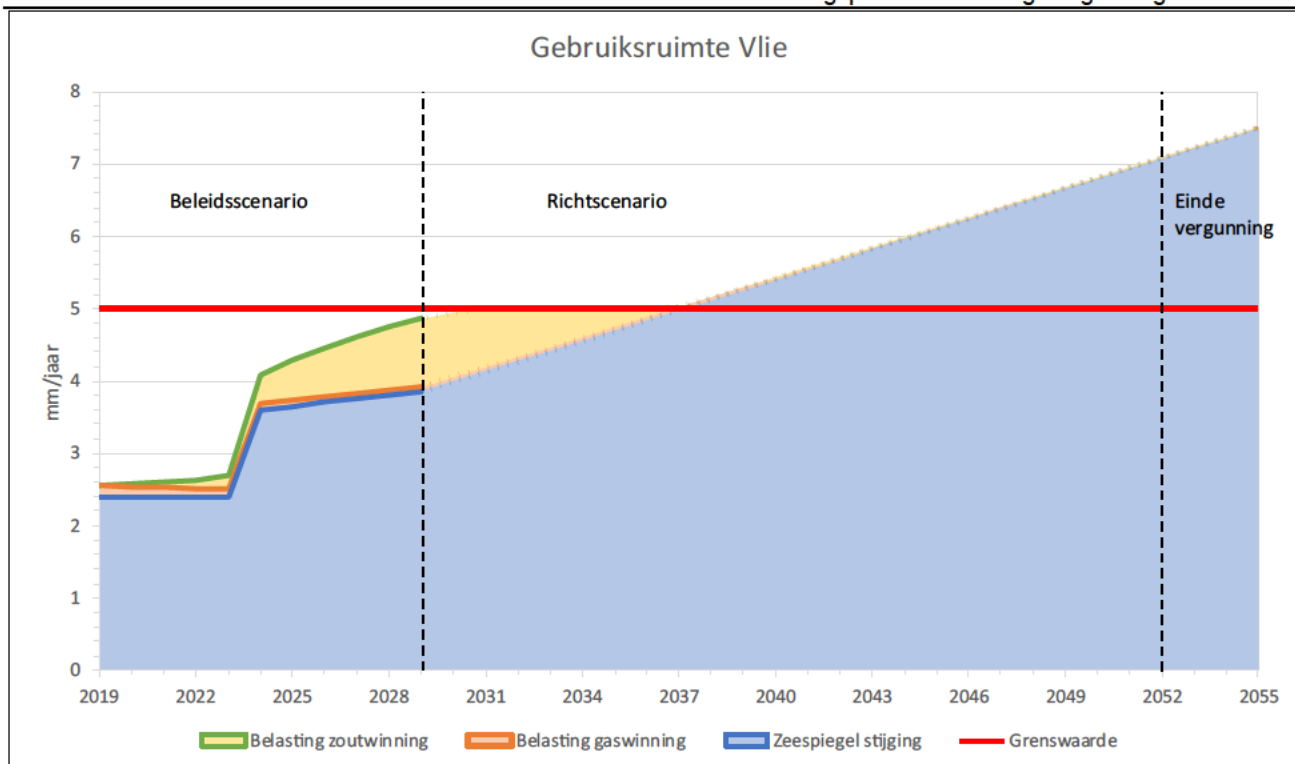
Aangezien de belasting op een kombergingsgebied wordt berekend met een behulp van een 6 jaarlijks gemiddelde, is er tot 3 jaar na de stop van de bodemdaling nog sprake van een berekende belasting van de gebruiksruimte. Daarnaast kan er op de lange termijn ook nog sprake zijn van zeer lichte na-ijlende bodemdalingseffecten. Na-ijlende bodemdaling door zoutkruip en permetie van pekel kan leiden tot een belasting van 0.003 – 0.007 mm/jaar (op basis van het zoutkruipmodel). Dit is circa een factor 10 lager dan de na-ijlende bodemdaling door gaswinning.



Figuur 16: Belasting van de gebruikruimte van kombergingsgebied Vlie als gevolg van de gaswinning Zuidwal

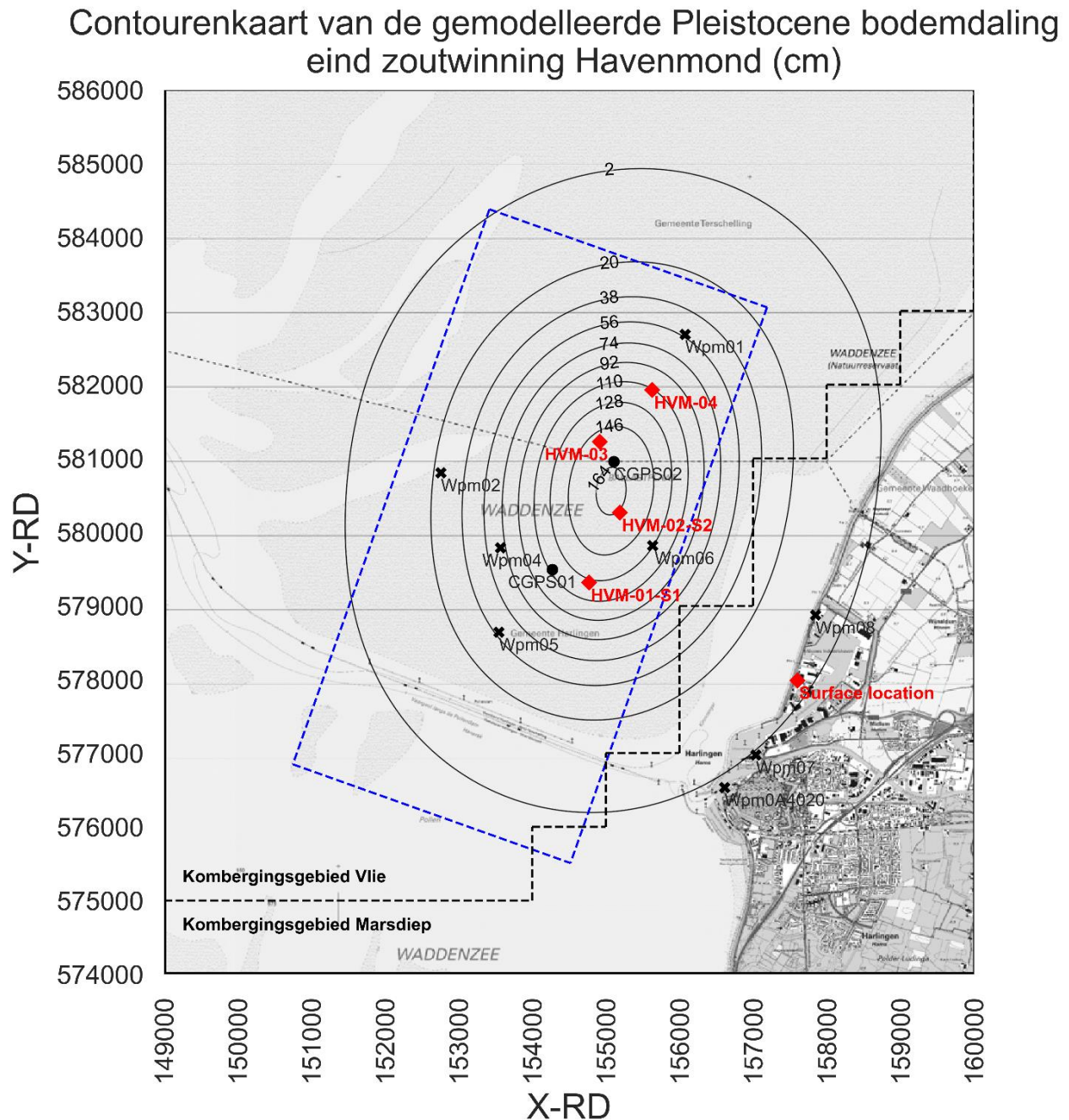


Figuur 17: Belasting van de gebruikruimte voor het kombergingsgebied Vlie voor een optimaal productiescenario voor de zoutwinning Havenmond, in cumulatie met het zeespiegelstijgingsscenario en het na-ijleffect van de gaswinning Zuidwal.



Figuur 18: Belasting van de gebruiksruimte voor het kombergingsgebied Vlie, voor de zoutwinning Havenmond, in cumulatie met het zeespiegelstijgingsscenario en het na-ijleffect van de gaswinning Zuidwal. Dit scenario gaat ervan uit dat het huidige Richtscenario het nieuwe Beleidsscenario wordt (remwegscenario).

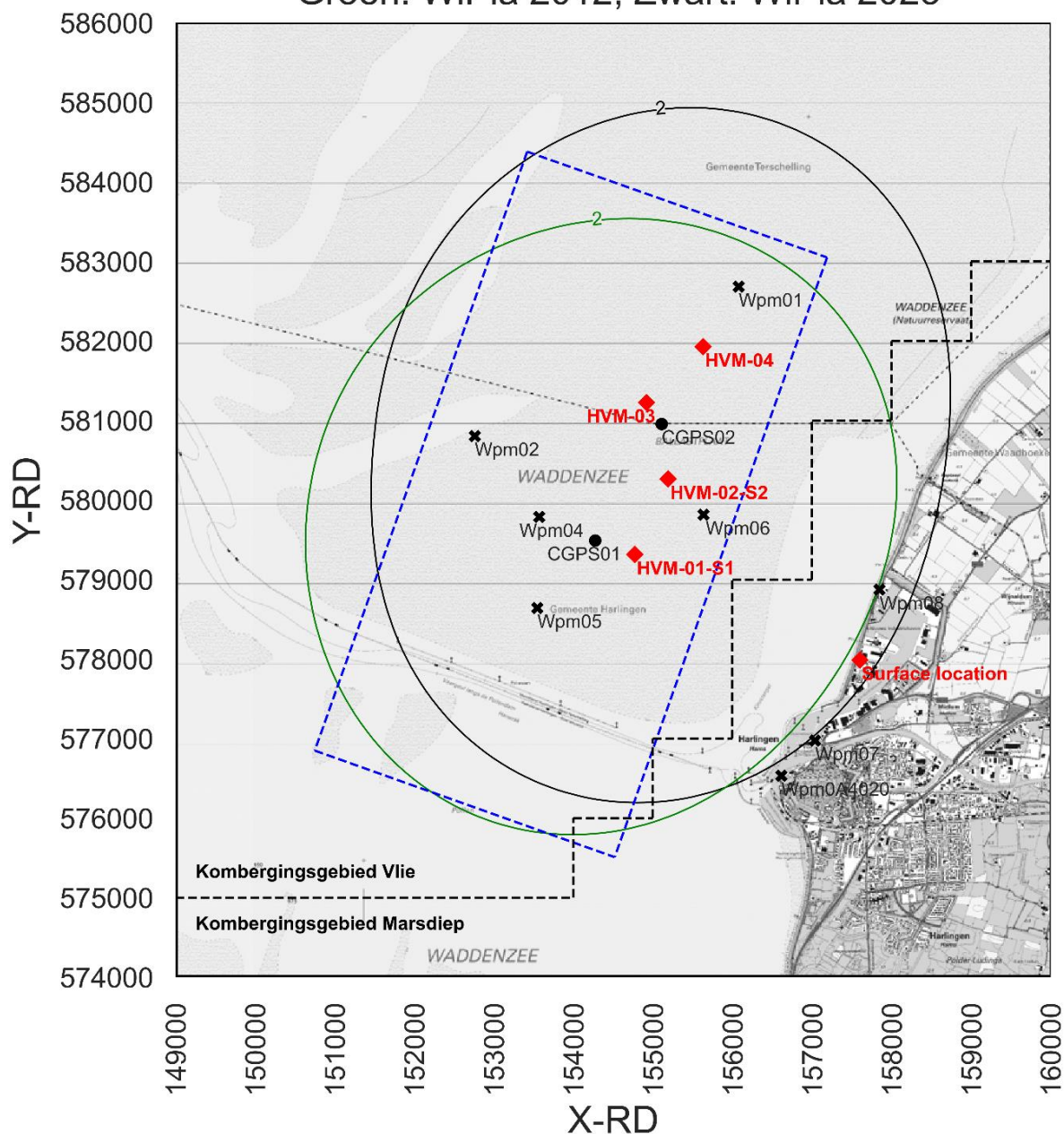
Bijlage 8: Prognose Pleistocene bodemdaling einde zoutwinning Havenmond (2052)



Figuur 19: De getoonde Pleistocene bodemdalingskom (in cm) is het gecumuleerde resultaat van vier afzonderlijke bodemdalingskommen na afloop van 45,5 miljoen ton cumulatieve zoutproductie uit vier cavernes. In deze prognose hebben cavernes HVM-01-S1, HVM-02-S2 en HVM-03 een openstaand eindvolume van ca. 375.000 m³. HVM-04 heeft een openstaand eindvolume van ca. 1.000.000 m³. Dalingskommen HVM-01-S1, HVM-02-S2 en HVM-03 hebben een daling van ca. 66 cm, HVM-04 een daling van ca. 45 cm. De kommen zijn berekend met komparameters $\gamma = 1,33 \cdot 10^{-6}$ en $\delta = 1,841$, gebaseerd op de komvormen van Barradeelcavernes BAS-1, BAS-2, BAS-3, BAS-3O en BAS-4. Het totale komvolume bedraagt ca. 19,2 miljoen m³. De daling in het diepste punt bedraagt ca. 167 cm. De bodemdalingskom is ca. 7,2 km breed over zijn kortste as (2 cm contour).

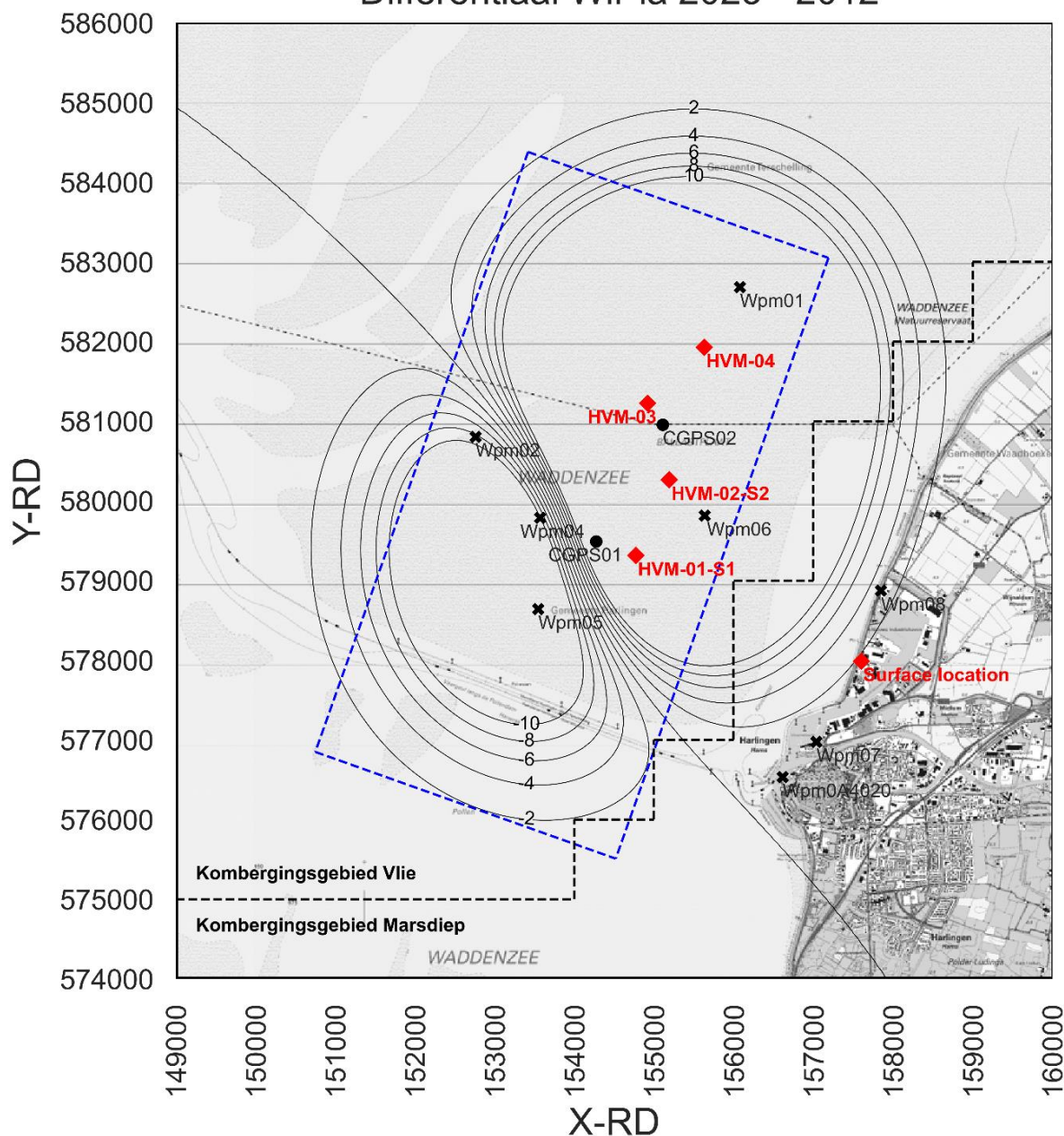
Gemodelleerde contourenkaart Pleistoceen bodemdaling eind zoutwinning Havenmond (cm)

Groen: WiPla 2012, Zwart: WiPla 2023



Figuur 20: De 2 cm Pleistocene bodemdalingcontourlijnen van het winningsplan van 2012 en het huidige gepresenteerde winningsplan. Door de verschuiving van de geplande HVM-03 en HVM-04 cavernecoördinaten richting het noorden, is er een verschuiving van de Pleistocene bodemdaling contourlijnen in diezelfde richting.

Gemodelleerde contourenkaart Pleistocene bodemdaling eind zoutwinning Havenmond (cm) Differential WiPla 2023 - 2012



Figuur 21: Differentiaalkaart voor de Pleistocene bodemdalingscontourlijnen waarbij het verschil tussen de geplande Pleistocene bodemdaling uit het winningsplan 2012 en het huidige gepresenteerde winningsplan in kaart is gebracht. Aan de zuidwestkant van het winningsgebied Havenmond is sprake van een vermindering van de Pleistocene bodemdaling in verband met de verplaatsing van de caverneposities HVM-03 en HVM-04 richting het noorden. Aan de noordoostkant leidt dit tot additionele Pleistocene bodemdaling. Aan de hand van de beoogde productievolumes en de actualisatie van caverneposities HVM-01-S1 en HVM-02-S2 is er sprake van 2 cm additionele bodemdaling op een gedeelte van de zeedijk aan de noordkant van de industriehaven van Harlingen. In Harlingen-stad is geen verandering aan de hand van dit nieuw gepresenteerde winningsplan.