

Postbus 80015, 3508 TA Utrecht

Ministerie van Klimaat en Groene Groei  
Directie Transitie Diepe Ondergrond  
T.a.v. Dhr. B. Straatman  
Postbus 20401  
2500 EK DEN HAAG

Onderwerp Adviesverzoek Geactualiseerd Winningsplan Havenmond

Geachte heer Straatman,

Namens het ministerie van Klimaat en Groene Groei (hierna: KGG) heeft u op 4 juli jl. per e-mail aan TNO-AGE advies gevraagd over het geactualiseerde winningsplan Havenmond<sup>1,2</sup>, ingediend door Frisia Zout B.V. (hierna: Frisia). KGG heeft TNO-AGE gevraagd om in ieder geval in te gaan op de volgende onderwerpen:

1. **Planmatig gebruik en beheer van de ondergrond:** toetsing van doelmatige en efficiënte zoutwinning in het licht van de huidige kennis en technieken en daarbij historische gegevens te betrekken;
2. **Bodemdaling/stijging:** advies ten aanzien van de gemodelleerde bodembeweging en onzekerheden, waarbij aangegeven wordt of de gekozen parameters reëel zijn;
3. **Bodemtrilling:** analyse van de risicobeoordeling seismiciteit;
4. **Gevolgen bodembeweging:** advies ten aanzien van de bodembeweging ten gevolge van de winning alsmede de daarmee verband houdende activiteiten en de maatregelen ter voorkoming van schade.

## Inleiding

De actualisatie betreft het vergunninggebied Havenmond in de Waddenzee, gelegen in de kombergingsgebieden Vlie en Marsdiep. Frisia is in 2020 gestart met zoutwinning vanaf de productielocatie bij Harlingen door aanleg van de eerste van in totaal vier geplande cavernes op een diepte van ca 2,5-3 km. Het steenzout wordt gewonnen door middel van oplosmijnbouw. Daarbij wordt via een boorput

<sup>1</sup> Actualisatie winningsplan voor winningsvergunning 'Havenmond' v.1.3 Eerste publicatiedatum: 28 december 2023. Op 14 november 2024 is versie 1.3 gepubliceerd.

<sup>2</sup> Toelichting actualisatie winningsplan voor winningsvergunning 'Havenmond' v.1.0. Publicatiedatum: 16 mei 2024

water in de zoutlaag gepompt. Het aanwezige zout lost op in het water, waardoor een met pekkel gevulde caveerne ontstaat. De pekkel wordt vervolgens geproduceerd uit de caveerne, getransporteerd naar de fabriek en verwerkt tot diverse producten.

## Actualisatie van het winningsplan Havenmond

De aanleiding voor de actualisatie van het vigerende winningsplan<sup>3</sup>, zoals door TNO-AGE gedestilleerd op basis van de aanvraag, bestaat uit een tweetal aspecten:

- › Frisia heeft door optimalisatie van het fabrieksproces een grotere pekkelverwerkingscapaciteit gerealiseerd. Om deze optimalisatie doelmatig te kunnen benutten vraagt Frisia een verhoging aan van het totale productievolume van 32,0 naar 45,7 miljoen ton zout. De beoogde winningsduur tot 2052 en het aantal van vier geplande cavernes blijft onveranderd.
- › Op 24 april 2024<sup>4</sup> is de gebruikruimte voor delfstofwinning onder de Waddenzee vastgesteld voor de periode 2024-2029. Deze actualisatie verandert de randvoorwaarden aan het productieprofiel van Frisia. Immers, Frisia dient jaarlijks<sup>5</sup> aan te tonen, dat er *“wetenschappelijk gezien redelijkerwijs geen twijfel bestaat dat er geen schadelijke gevolgen zijn voor de natuur- en landschapswaarden van de Waddenzee”*<sup>6</sup>. Dit gebeurt door middel van de operationele toets als onderdeel van het ‘hand aan de kraan’-principe<sup>7</sup>. Via deze toetsing kan worden vastgesteld of de totale bodemdaling<sup>8</sup>, inclusief de daling als gevolg van de mijnbouwactiviteiten van Frisia, binnen de vigerende gebruikruimte van de kombergingsgebieden Vlie en Marsdiep blijft.

Daarnaast stuurt Staatstoezicht op de Mijnen (hierna: SodM) op het verkleinen van het risico van mijnbouweffecten (volgens de aanvraag: de kans op het ontstaan van een lekpad na insluiting) door achterlating van een zo klein mogelijk cavernevolume bij definitieve insluiting. Frisia heeft in opdracht<sup>9</sup> van SodM<sup>10,11</sup>, onderzocht of ze haar cavernes na afloop van de productie kleiner kan achterlaten dan de geplande één miljoen m<sup>3</sup> per caveerne. Frisia concludeert dat dit technisch mogelijk is. Concreet stelt Frisia voor om na afloop van de productieperiode (cf. het winningsplan uiterlijk in 2052) drie van de vier cavernes kleiner achter te laten dan in het vigerende winningsplan beschreven. Dit wordt gerealiseerd door in de laatste drie jaar van de productieperiode pekkel af te laten zonder dat er water wordt ingebracht. Als gevolg van zoutkruip op deze diepte zal de caveerne dan in volume afnemen (in de aanvraag verwoord als een *soft shut-in*), waarna zal worden overgegaan tot het definitief verlaten van de cavernes. Gevolg is dat binnen de voorziene productieperiode (tot 2052) meer bodemdaling optreden dan bij een reguliere *hard shut-in*.

---

<sup>3</sup> Winningsplan voor winningsvergunning 'Havenmond' v.4 Final. Publicatiedatum: 16 maart 2012

<sup>4</sup> <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/rapporten/2024/04/25/bijlage-bij-kamerbrief-gebruiksruimtebesluit-waddenzee>

<sup>5</sup> conform het meet- en regelprotocol bij het vigerende winningsplan Havenmond

<sup>6</sup> Planologische Kernbeslissing, Derde Nota Waddenzee, deel 4

<sup>7</sup> Rijksprojectbesluit Gaswinning onder de Waddenzee vanaf de locaties Moddergat, Lauwersoog en Vierhuizen. Ministerie van Economische Zaken, publicatienummer 06ET15, 's-Gravenhage, april 2006.

<sup>8</sup> De daling van het Pleistocene referentieniveau

<sup>9</sup> Artikel 17 van het instemmingsbesluit: "Frisia Zout B. V. dient voorafgaand aan de winning, ten genoegen van de inspecteur-generaal der mijnen die onder de Minister van Economische Zaken ressorteert, een beschrijving op hoofdlijnen in van de wijze waarop het mijnbouwwerk na beëindiging van de winning buiten werking gesteld zal worden".

<sup>10</sup> Frisia brief: Datum: 30 november 2023 van: General manager A K+S Company- uit Harlingen Onderwerp: soft shut-in van HVM-cavernes op basis van een alternatief cavernemanagement (zie: Actualisatie, pagina 1)

<sup>11</sup> SodM brief: Datum: 3 mei 2024 Onderwerp: Reactie op Soft shut-in van HVM-cavernes op basis van een alternatief Cavernemanagement Ons kenmerk VV-250697 /INS-9527 (zie: Toelichting actualisatie, pagina 2)

Bij afsluiten van een caveerne door een reguliere *hard shut-in* wordt de caveerne definitief gesloten nadat deze tot een thermisch en mechanisch evenwicht is gekomen, waarbij alleen pekkel is afgelaten om de cavernedruk op een veilig niveau te houden, en niet om de caveerne bewust te laten krimpen.

In onderstaande paragrafen gaat TNO-AGE in op de vier onderwerpen gevraagd door KGG, aangevuld met een paragraaf over het lekkagerisico.

## Planmatig gebruik

**Vraag:** *toetsing van doelmatige en efficiënte zoutwinning in het licht van de huidige kennis en technieken en daarbij historische gegevens te betrekken.*

Vanwege de relatief grote diepteligging speelt zoutkruip bij de winning een belangrijke rol; de hoge gesteentedruk en temperatuur op 2,5-3 km diepte maken dat het omliggende zout relatief snel richting caveerne(s) kruipt. Door pekkelonttrekking uit de caveerne(s) ontstaat na enkele jaren een dynamisch stabiele toestand ('steady state') tussen de snelheid van oplossen van het zout en de snelheid van toestroom door zoutkruip, waarbij het caveernevolume min of meer constant blijft. Deze wijze van winning (*squeeze mining*) heeft Frisia tussen 1994 – 2023 eerder toegepast in de winningsgebieden op land (Barradeel en Barradeel II).

Om de volledige pekkelverwerkingscapaciteit te kunnen benutten vraagt Frisia een verhoging aan van het totale productievolume van 32,0 naar 45,7 miljoen ton zout tot het einde van de winning in 2052.

## Beoordeling TNO-AGE

*Squeeze mining* is een efficiënte manier van zoutwinning. De aanvraag volgt daarmee de principes van planmatig beheer van delfstoffen, zie ook het gezamenlijke SodM en TNO-AGE advies<sup>12</sup> uit 2013 over het vigerende winningsplan. Hoewel verhoging van de totale zoutproductie niet direct aan de orde is (er is immers voor de komende periode nog ruim voldoende gegund productievolume aanwezig), kan optimalisatie van fabrieksprocessen en daarmee verhoging van pekkelverwerkingscapaciteit op termijn in economische zin als doelmatig worden beschouwd en is het opportuun het winningsplan hiervoor nu te actualiseren<sup>13</sup>. Binnen de gestelde randvoorwaarden van het 'hand aan de kraan'-principe kan het optimaal benutten van de vastgestelde gebruiksruimte eveneens als doelmatig gebruik aangemerkt worden.

TNO-AGE concludeert dat aanvraag economisch gezien doelmatig en technisch efficiënt is.

## Bodemdaling

**Vraag:** *advies ten aanzien van de gemodelleerde bodembeweging en onzekerheden, waarbij aangegeven wordt of de gekozen parameters reëel zijn.*

Frisia schat de bodemdaling, als gevolg van zoutwinning, in door het bodemdalingsvolume in goede benadering gelijk te stellen aan het ondergrondse convergentievolume, wat kan worden afgeleid uit het gewonnen zoutvolume en het gemeten caveernevolume. Dit stelt Frisia in staat het bodemdalingsvolume binnen een beperkte onzekerheidsband te bepalen. Daarbij geeft Frisia aan, dat het voor Havenmond een conservatieve aanname doet door te stellen dat het bodemdalingsvolume ( $V_{kom}$ ) gelijk is aan

<sup>12</sup> Betreft winningsplan Havenmond Datum 27 juni 2013 Kenmerk 13113750, Staatstoezicht op de Mijnen

<sup>13</sup> Uit advies 2013 TNO/SodM<sup>11</sup> "SodM en TNO-AGE gaan bij de beoordeling van de inpasbaarheid van de bodemdaling uit van het scenario van 1,35 Mt per jaar zoutextractie. Zodra Frisia concrete plannen kan overleggen voor verhoging van de productie, dan zal dat de instemming vergen met een actualisatie van het winningsplan..."

het ondergrondse convergentievolume ( $V_{\text{conv}}$ ). Uit ervaringen opgedaan in Barradeel stelt Frisia dat het bodemdalingsvolume ( $V_{\text{kom}}$ ) realistisch gezien 95% van het ondergrondse convergentievolume ( $V_{\text{conv}}$ ) is.

Voor een prognose van het verloop van het cavernevolumen en het convergentiegedrag gebruikt Frisia een eigen convergentiemodel. Dit model beschrijft de relatie tussen de caverne druk en convergentiesnelheid van de caverne. De parameters van dit model zijn gebaseerd op gegevens van de Barradeel cavernes.

In de aanvraag geeft Frisia aan, dat de bodemdalingsbelasting behorend bij het gevraagde zoutproductieprofiel tot 2029 binnen de in 2024 opnieuw vastgestelde gebruiksruimte<sup>4</sup> blijft. Bij een volgende herziening van de gebruiksruimte zal Frisia beoordelen of de productieplanning aangepast dient te worden.

Het aangevraagde winningsplan gaat uit van productie tot het einde van de vergunningsperiode in 2052. Het verhogen van de totale productie en het verschuiven van de locatie van de geplande HVM-03 en HVM-04 cavernes, zoals beschreven in de actualisatie, leidt tot een nieuwe bodemdalingsprognose.

### **Beoordeling TNO-AGE**

In deze beoordeling behandelt TNO-AGE het gehele ketenmodel, inclusief de gebruikte parameterwaarden (bodemdalingsvolume en convergentiemodel). TNO-AGE heeft aanvullende informatie ontvangen van Frisia om daarmee meer inzicht te kunnen krijgen in de wijze waarop Frisia de convergentiesnelheid van de cavernes en het volume van de bodemdalingskom berekent.

#### **Bodemdalingsvolume**

Op basis van ervaringen opgedaan in Barradeel verwacht Frisia dat het bodemdalingsvolume gelijk is aan 95% van het ondergrondse convergentievolumen, ook al stelt Frisia in haar bodemdalingsberekeningen het bodemdalingsvolume gelijk aan het ondergrondse convergentievolumen. TNO-AGE is van mening dat dit laatste mechanisch de meest plausibele aanname is (en niet conservatief). In zijn algemeenheid is het verloop van een dalingskom aan de flanken minder goed bepaald dan in het centrum van de kom. Gezien de meetonzekerheden is het aannemelijk dat de laatste 5% van het bodemdalingsvolume zich in de flanken van de bodemdalingskom van Barradeel bevindt.

De bodemdalingsprognose van Frisia is gebaseerd op slechts één scenario, namelijk *“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”*. Onzekerheden of alternatieve varianten zijn hierin niet meegenomen. TNO-AGE benadrukt dit aspect, omdat de onzekerheid van de bodemdalingsprognose in de huidige fase in belangrijke mate wordt bepaald door de onzekerheid rond de daadwerkelijk te realiseren zoutproductie. Daar staat tegenover dat Frisia operationeel de mogelijkheid heeft om de zoutproductie aan te passen om binnen de gestelde bodemdalingsrandvoorwaarden te blijven. TNO-AGE onderschrijft dat bijsturing van de zoutproductie technisch goed mogelijk is door regulering van caverne druk en pekeldbiet en dat er in dat geval - op basis van ervaringen uit Barradeel - een korte reactietijd (enkele maanden) van het systeem en snelle respons van de bodemdaling te verwachten is<sup>14</sup>.

TNO-AGE kan zich vinden in de door Frisia toegepaste methode voor het berekenen van het bodemdalingsvolume.

---

<sup>14</sup> SodM/TNO advies winningsplan Havenmond, 27 juni 2013: “SodM en TNO-AGE onderschrijven de conclusie dat reductie van de productie bij zoutwinning vrijwel instantaan zal leiden tot een evenredige reductie van de bodemdalingsnelheid en derhalve van de Belasting”

## Convergentiemodel

Voor de bepaling van de convergentiesnelheid gebruikt Frisia een model dat geïnspireerd is door een bestaand zoutgedragmodel (het microscopisch 2-taks Norton-Hoff model<sup>15</sup>). Hoewel opschaling van dit model met de bijbehorende modelparameters naar caverneschaal niet triviaal<sup>16</sup> is, stelt deze aanpak Frisia in staat om empirisch een model te kalibreren. Op deze manier wordt een praktisch werkbaar benadering gevonden van het convergentiegedrag. Frisia heeft tijdens een technische briefing met TNO-AGE de kalibratie en onderbouwing van de gebruikte parameterset toegelicht; de parameters van het convergentiemodel zijn gebaseerd op gegevens van de Barradeel cavernes met als argument dat deze cavernes over een groter operationeel drukbereik zijn gekalibreerd (om operationele redenen is er in de Havenmondcaverne tot nu toe binnen een beperkt drukbereik gewerkt).

Uit de beschikbare meetgegevens van de Havenmond caverne HVM-2 blijkt dat de convergentie - bij zowel een laag als een hoger verschildruk tussen caverne en het omliggende zoutgesteente - anders verloopt dan vooraf voorspeld was op basis van de Barradeel parameterset. De convergentiesnelheid bij een hogere verschildruk (op basis van een beperkt aantal metingen) verloopt aanzienlijk langzamer dan verwacht. Dat deze processen langzamer zullen verlopen heeft invloed op de bodemdalingsprognose en de verwachte mate van sturing op het cavernevolumen, en dan vooral ten aanzien van de voorgenomen caverneverkleining.

Op basis van de beschikbaar gestelde informatie kan TNO-AGE zich op dit moment vinden in de keuze voor het gebruik van de op Barradeel gebaseerde parameterset. Omdat de Havenmond en Barradeel parametersets een ander convergentiegedrag beschrijven in het geplande operationele drukbereik, heeft deze keuze consequenties voor de bodemdalingsprognose tot 2052. De Barradeel parameterset leidt tot de meeste bodemdaling en is daarmee een conservatieve keuze.

TNO-AGE merkt op dat de Havenmond caverne zich (nog) niet in een *steady-state* situatie bevindt, en dat dit de nodige onzekerheid, met betrekking tot de modelparameterkalibratie, met zich mee brengt. De verwachting is dat op basis van gegevens, die de komende twee jaar verzameld zullen worden in het kader van het meetplan<sup>17</sup>, een beter beeld van het cavernegedrag verkregen zal worden. Daarmee kan vervolgens een deel van bovenstaande onzekerheden worden verkleind en wordt - via de rapportage o.b.v. het meet-en regelprotocol - duidelijk in hoeverre er afgeweken wordt van de huidige prognose.

## Operationele toets als uitwerking van het 'hand aan de kraan'-principe

Frisia illustreert in Bijlage 7 van de aanvraag, dat de bodemdalingssnelheid als gevolg van geplande productie binnen de vastgestelde<sup>18</sup> gebruikruimte (2024-2029) blijft. TNO-AGE kan zich vinden in de toegepaste methodiek. TNO-AGE is van mening dat Frisia voldoende sturingsmogelijkheden<sup>13</sup> heeft om met productieaanpassing(en) de bodemdalingssnelheid te beperken (onder meer onderbouwd door het remwegscenario). Daarbij plaatsen we wel een aantal kanttekeningen rond de drie hoofdparameters: belasting, meegroeivermogen en zeespiegelstijging.

1. Ten aanzien van de belasting merkt TNO-AGE op dat de Zuidwal gaswinning geen substantiële bijdrage meer levert aan de bodemdalingsbelasting binnen de kombergingsgebieden Vlie en Marsdiep. Omdat de gaswinning van Zuidwal in 2021 is gestaakt, is er op dit moment alléén sprake van na-ijlende bodemdaling. Frisia gaat op basis van Vermilion<sup>19</sup>-berekeningen uit van een belasting van 0,1 mm/jaar in 2024, afnemend naar 0 mm/jaar in 2050. Op basis van eigen controleberekeningen komt TNO-AGE

---

<sup>15</sup> Kruijpwet om het rheologisch gedrag van zout te beschrijven; Wang, L., Bérest, P. & Brouard, B. Mechanical Behavior of Salt Caverns: Closed-Form Solutions vs Numerical Computations. Rock Mech Rock Eng 48, 2369–2382 (2015).

<sup>16</sup> Fokker, P.A., & Breunese, J.N. Single-cavern convergence for an Ellis 2-branch power-law model. Mechanical Behaviour of Salt X, 2022.

<sup>17</sup> Frisia Zout B.V. Meetplan Havenmond, 2024, <https://www.nlog.nl/meetplan-havenmond>

<sup>18</sup> Betreft Gebruiksruimtebesluit Waddenzee Datum 25 april 2024 Kenmerk: PDGGO-DTDO / 52916497 (open.overheid.nl)

<sup>19</sup> Vermilion Energy Netherlands B.V., Bodemdaling Statusrapport 2024 - Drenthe Overijssel Friesland, 6 juni 2024.

tot 0,05 mm/jaar in 2024 afnemend naar 0 mm/jaar voor de belasting in komberging Vlie. De invloed van deze historische gaswinning is daarmee verwaarloosbaar.

Daarnaast is de beleidskeuze gemaakt<sup>20</sup> om niet in te stemmen met winningsplannen voor het winnen van delfstoffen uit een voorkomen binnen het Natura 2000-gebied Waddenzee, wat toekomstige extra bodemdalingsbelasting door gaswinning nagenoeg uitsluit. In het vigerende winningsplan Havenmond is de gebruikruimte gecompartmenteerd voor separaat de inpassing van zoutwinning en van gaswinning. In de huidige situatie is alle gebruikruimte beschikbaar voor de zoutwinning en ligt een vereenvoudiging voor de hand.

2. Ten aanzien van het meegroeivermogen merkt TNO-AGE op dat er in de afgelopen 20 jaar weinig aandacht is besteed aan eventuele kennishiaten en nieuwe inzichten, waarbij vooral nieuwe inzichten over het sedimentdelend vermogen tussen de verschillende kombergingen relevant zijn.

Het onderscheiden van aparte kombergingen (cf. het vigerende winningsplan Havenmond) resulteert in minder beschikbare gebruikruimte dan bij samenvoeging of gedeeltelijke communicatie in sedimenttransport het geval is. Een complicatie daarbij is dat de kombergingsbegrenzing tussen Vlie en Marsdiep (nog) niet eenduidig is vastgesteld<sup>21</sup>. TNO-AGE merkt op dat de huidige aanvraag maar voor een klein deel het meegroeivermogen van het Marsdiep aanspreekt, waarmee sprake is van een conservatieve inschatting van het beschikbare meegroeivermogen.

3. Het beleidsscenario voor de zeespiegelstijging wordt minimaal elke 5 jaar herzien en jaarlijks wordt beoordeeld of er nieuwe inzichten beschikbaar zijn gekomen, die een eerdere herziening vereisen. Ten aanzien van het meest recente advies<sup>22</sup> omtrent de relatieve zeespiegelstijging in de Waddenzee merkt TNO-AGE op dat daarin een extra versnellingsterm als voorzorg is meegenomen, die binnen het HadK raamwerk in feite overbodig is (zie toelichting in Bijlage 1 van dit advies); de hand aan de kraan toetsing bevat immers al de noodzakelijke waarborgen voor behoud van de natuurlijke kenmerken van de Waddenzee<sup>23</sup>.

Het richtscenario voor de zeespiegelstijging is bedoeld om de exploitant perspectief te bieden voor de periode vanaf 2029, en is daarmee niet bindend voor instemming met het winningsplan. TNO-AGE constateert dat Frisia door de uitwerking van het remwegscenario voldoende aannemelijk heeft gemaakt dat, mocht het richtscenario over 5 jaar door een beleidsaanpassing daadwerkelijk leidend worden voor het nieuwe gebruikruimtebesluit (zie aanbevelingen voor aanpassing van de operationele toetsing<sup>26</sup>), de zoutwinning en daarmee bodemdaling tijdig te kunnen stoppen.

---

<sup>20</sup> Mijnbouwwet, Art. 36 lid5, geldend van 01-05-2024 t/m heden

<sup>21</sup> In de passende beoordeling 2006 is slechts het oppervlak van de kombergingsgebieden Vlie en Marsdiep vastgesteld, niet de begrenzing.

<sup>22</sup> Adviescommissie relatieve zeespiegelstijging Waddenzee, 2024. Advies beleids- en richtscenario relatieve zeespiegelstijging Waddenzee 2024-2050.

<sup>23</sup> Hand aan de Kraan methodiek in perspectief; Verkenning van de haalbaarheid van een zuiver probabilistische gebruikruimtetoeets. TNO 2024 R12239, 28 november 2024.

TNO-AGE kan zich vinden in de door Frisia toegepaste methodologie ten aanzien van de bodemdalingsberekeningen, en concludeert dat het bodemdalingsprognosemodel onzekerheden kent, die op dit moment met name worden bepaald door de daadwerkelijk te realiseren zoutproductie.

Met het oog op andere modelonzekerheden ten aanzien van de lange termijn bodemdalingsprognose tot 2052 adviseert TNO-AGE het cavernegedrag (convergentie) in Havenmond periodiek te evalueren (via de jaarlijkse rapportage o.b.v. het meet- en regelprotocol, of zoveel vaker als opportuun is). Resultaten van deze evaluatie kunnen aanleiding geven tot herziening van de bodemdalingsprognose en daarmee ook tot productieaanpassingen (cavernedruk en pekeldebiet).

TNO-AGE onderschrijft dat zoutwinning volgens het ‘hand aan de kraan’-principe door middel van bijsturing van de productie technisch goed mogelijk is.

## Seismisch risico

**Vraag:** *analyse van de risicobeoordeling seismiciteit.*

Ten aanzien van het seismisch risico verwacht Frisia op basis van de ervaringen bij Barradeel en uit de relevante wetenschappelijke literatuur geen noemenswaardig seismisch risico, en geen schade door trillingen als gevolg van diepe zoutwinning uit de Havenmond cavernes. Frisia stelt dat het KNMI netwerk op land nabij Wijnaldum, Firdgum en Zweins in staat is bevingen boven magnitude 1,5 te registreren. Frisia meldt een aanvullend meetnet in de stad Harlingen te hebben gefinancierd, welke “*in staat is zeer kleine veranderingen in scheefstand en bodemtrillingen te registreren*”.

### **Beoordeling TNO-AGE**

Eerder oordeelden TNO-AGE en SodM<sup>13</sup> dat “*het zeer onwaarschijnlijk [is] dat, gezien de typische kruipeigenschappen van steenzout, de zoutproductie in het Havenmond gebied tot voelbare bodemtrillingen zal leiden ( $M > 1,5$ )*”. Tot op heden heeft het KNMI netwerk<sup>24</sup> geen trillingen waargenomen, die oorzakelijk aan de Barradeel (of Havenmond) zoutwinning worden toegeschreven. TNO-AGE merkt op dat in Nederland meerdere, lichte trillingen zijn geregistreerd in de nabijheid van zoutcavernes<sup>25</sup> en dat wereldwijd enkele bevingen worden gerelateerd aan zoutwinning door oplosmijnbouw<sup>26</sup>.

In zijn algemeenheid zijn er twee veronderstelde mechanismen voor het optreden van trillingen rond zoutcavernes als gevolg van zoutkruip: spanningsopbouw in geconsolideerd sediment boven/aan de flanken van de zoutstructuur, en spanningsopbouw op anhydrietlagen. Omdat de Havenmond winning plaatsvindt in een vrij uniform, ongedeformeerd zoutpakket (in tegenstelling tot zoutkoepels) is het niet waarschijnlijk dat deze mechanismen optreden.

<sup>24</sup> <https://www.knmi.nl/kennis-en-datacentrum/dataset/aardbevingscatalogus>

<sup>25</sup> Muntendam-Bos AG, Hoedeman G, Polychronopoulou K, Draganov D, Weemstra C, van der Zee W, Bakker RR, and Roest H. An overview of induced seismicity in the Netherlands. Netherlands Journal of Geosciences, Volume 101, e1.

<sup>26</sup> Foulger et al., 2018. Global review of human-induced earthquakes. Earth-Science Reviews 178 438-514

TNO-AGE concludeert dat het niet waarschijnlijk is dat de zoutwinning in het Havenmond gebied tot voelbare bodemtrillingen op land zal leiden.

## **Gevolgen bodembeweging**

**Vraag:** *advies ten aanzien van de bodembeweging ten gevolge van de winning alsmede de daarmee verband houdende activiteiten en de maatregelen ter voorkoming van schade.*

Gezien de locatie van de Havenmond cavernes onder de Waddenzee is schade aan gebouwen door bodemtrillingen of bodemdaling volgens Frisia niet te verwachten. De verwachte daling van de waddenzeedijk en de Pollendam van enkele cm's aan het einde van de winning is volgens Frisia bekend bij Rijkswaterstaat en Wetterskip Fryslân, en zal worden meegenomen in de toekomstige ophoging van deze werken. In aanvulling op het feit dat Frisia haar cavernes zodanig gepositioneerd heeft dat de relevante bodemdaling vrijwel geheel buitendijks plaatsvindt, heeft Frisia een tiltmeternetwerk in de stad Harlingen gefinancierd.

## **Beoordeling TNO-AGE**

Omdat de te verwachten bodemdalingskom bijna volledig in de Waddenzee ligt, acht TNO-AGE, net als Frisia, het onwaarschijnlijk dat dit directe schade aan gebouwen in of nabij het winningsgebied kan veroorzaken.

Omdat het optreden van voelbare bodemtrillingen op land onwaarschijnlijk is, verwacht TNO-AGE geen gebouwschade door een beving als gevolg van zoutwinning. Daarnaast is het voorkomen van natuurschade geborgd onder de voorwaarde dat zoutwinning alleen kan plaatsvinden binnen de gestelde grenzen van het "hand aan de kraan" beleid.

TNO-AGE verwacht geen schade aan de bebouwing en natuurwaarden door bodembeweging als gevolg van de zoutwinning.

## **Caverneverkleining in relatie tot lekkagerisico door scheurvorming**

In aanvulling op de beantwoording van de door KGG gestelde vragen, gaat TNO-AGE in deze paragraaf nader in op het risico van pekellekkage na het insluiten van een caverne.

De kans op het ontstaan van een lekpad na insluiting van een caverne neemt niet noodzakelijk af naarmate het cavernevolumen kleiner wordt; alleen verkleining van de cavernehoogte leidt tot een afname van de kans op het ontstaan van scheurvorming (doordat op deze manier de overdruk van de pekels in het bovenste deel van de caverne gereduceerd wordt). De te verwachten omvang van pekellekkage neemt in theorie wel af bij het verkleinen van het cavernevolumen.

In de Havenmondsituatie neemt bij de voorgenomen caverneverkleining de caverne diameter af, en blijft de hoogte van de caverne vrijwel gelijk. Frisia<sup>27,28</sup> komt tot de conclusie dat de kans op het ontstaan van een lekpad klein is, en ook in het geval er lekkage zou optreden het effect zeer gering zal zijn.

---

<sup>27</sup> Havenmond cavern abandonment risks d.d. 6 september 2021

<sup>28</sup> Frisia brief: Datum: 30 november 2023 van: General manager A K+S Company- uit Harlingen Onderwerp: soft shut-in van HVM-cavernes op basis van een alternatief cavernemanagement

### **Beoordeling TNO-AGE**

TNO-AGE is nagegaan of vermindering van het cavernevolumen (van drie van de vier geplande cavernes) voorafgaand aan het definitief verlaten van de cavernes (in de aanvraag verwoord als een *soft shut-in*) doelmatig is om het risico van pekellekkage na het insluiten van een caverne te verkleinen.

TNO-AGE onderschrijft de stelling van Frisia, dat de kans op het ontstaan van een lekpad klein is, ongeacht de wijze waarop de caverne wordt afgesloten (*soft shut-in* of *hard shut-in*). Een scenario, waarbij scheurvorming door het cavernedak optreedt en pekels weglekt, resulteert in een lekkage van korte duur met een lokaal effect op bodemdaling en een verwaarloosbaar effect op het bodemdalingsvolume in de komberging Vlie. Daarmee is het onwaarschijnlijk dat de voorgestelde verkleining van een -al vrij beperkt- cavernevolumen van 1 miljoen m<sup>3</sup> naar 0,3 miljoen m<sup>3</sup> zal leiden tot een significante risicoreductie op pekellekkage.

Afgezien van mogelijke technische en operationele randvoorwaarden met betrekking tot de wijze van insluiten, ziet TNO-AGE het streven om in te zetten op het achterlaten van kleine(re) cavernes binnen het Havenmond gebied (en elders, zie *soft shut-in* versus *hard shut-in*, Kroon et al., 2003<sup>29</sup>) als een keuze, waarin meerdere belangen moeten worden afgewogen (onder meer welke mate van bodemdaling door zoutwinning op welk moment het minst ongewenst is). Dit geldt temeer als dit streven gevolgen kan hebben voor de doelmatigheid van de winning (geïllustreerd in Bijlage 7 van de aanvraag).

TNO-AGE concludeert dat de voorgestelde verkleining van een -al vrij beperkt- cavernevolumen van 1 miljoen m<sup>3</sup> naar 0,3 miljoen m<sup>3</sup> niet tot een significante extra risicoreductie van pekellekkage leidt. Cavernevolumen verkleining is daarmee een ondoelmatige maatregel, die verder tot gevolg heeft dat de laatste drie jaar van de winning minder doelmatig zullen verlopen en er in de periode tot 2052 extra bodemdaling zal optreden (ten opzichte van een reguliere hard shut-in).

Erop vertrouwend u hiermee van dienst te zijn geweest.

Met vriendelijke groet,



Nico Zornig  
Hoofd Adviesgroep Economische Zaken a.i. (TNO-AGE)

---

<sup>29</sup> Kroon, I. C., Orlic, B., and Scheffers, B. C.: Abandonment of solution mined salt caverns in the Netherlands, TNO, Utrecht, the Netherlands, NITG 03-172-B, 2003.

## BIJLAGE 1

### Zeespiegelstijging scenario's in relatie tot het 'hand aan de kraan' beleid

Conform het 'hand aan de kraan' beleid worden zeespiegelstijging scenario's gebruikt voor het vaststellen van de gebruiksruimte voor delfstoffenwinning in het Natura-2000 gebied Waddenzee. Sinds 2006 wordt de gebruiksruimte minimaal elke 5 jaar herzien en wordt nu jaarlijks bekeken of nieuwe inzichten aanleiding geven tot tussentijdse herziening.

Het beleidsscenario voor de zeespiegelstijging bestaat (conform de PB, EZK 2006) uit twee delen: 1) een via extrapolatie uit datareeksen van de getijdemeetstations bepaalde verwachtingswaarde voor een periode van 5 jaar, en 2) aansluitend op de meest waarschijnlijke (naar de Nederlandse kust vertaalde) IPCC projectie, waarin zeespiegelstijging door klimaatverandering is meegenomen, het zogenaamde richtscenario. Beide delen zijn recent herzien in een nieuw gebruiksruimtebesluit<sup>30</sup> voor delfstofwinning onder de Waddenzee (Adviescommissie, 2024):

- Het beleidsscenario voor de periode 2024 tot en met 2028 op basis van een drietal recent verschenen publicaties (Keizer et al., 2023, Steffelbauer et al., 2022 en Stolte et al., 2023);
- Het richtscenario op basis van de jongste IPCC modelberekeningen (met projecties voor het jaar 2050, zie ook KNMI, 2023).

Beiden worden hieronder nader toegelicht.

#### Beleidsscenario 2024-2028

Het uitgangspunt is, dat zonder een gevalideerd prognosemodel, welke de observaties van de getijdemeetstations langs de Nederlandse kust afdoend kan verklaren, het beleidsscenario 2024-2028 is aangewezen op extrapolatie vanuit de getijdemeetstation-datareeksen (conform PB, EZK 2006).

#### Waargenomen verloop zeespiegelstijging langs de Nederlandse kust

Door toepassing van een verbeterde methodiek voor data-analyse is voor het eerst uit meetgegevens aannemelijk dat - in lijn met de wereldwijde zeespiegelontwikkeling - ook langs de Nederlandse kust de zeespiegel rond 1960 versneld stijgt en wel met een constante versnelling van ca 0,022 mm/jaar<sup>2</sup> (Keizer et al., 2023, Figuur 4a). Deze waarde ligt overigens dicht bij de 0,018 mm/jaar<sup>2</sup>, die eerder is afgeleid uit waarnemingen op kuststations wereldwijd (Church & White, 2006). In de Passende Beoordeling (2006) en bij de actualisatie van het beleidsscenario in 2011 (TNO, 2011) is deze versnelling overgenomen, hoewel destijds en ook nog recent in de Zeespiegelmonitor 2018 (Baart et al, 2019) nog geen statistisch significante versnelling uit Nederlandse datareeksen kon worden afgeleid.

---

<sup>30</sup> <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/rapporten/2024/04/25/bijlage-bij-kamerbrief-gebruiksruimtebesluit-waddenzee>

### Lange termijn windeffecten

Ook is voor het eerst voorgesteld om de lange termijn windeffecten te gebruiken als voorspellende variabele om de onzekerheid in de zeespiegelstijging mee te reduceren (Keizer et al., 2023)<sup>31</sup>. Eén van de onderliggende aannames is, dat dergelijke windinvloed enkel kan worden toegeschreven aan natuurlijke variabiliteit (en dan in de toekomst zou kunnen omdraaien) en niet gerelateerd is aan door de mens veroorzaakte veranderingen in windpatronen. De vastgestelde omvang van het effect (~ 0,15 mm/jaar) is volgens Keizer et al. (2023) klein genoeg om zeespiegelextrapolaties over meerdere decades (tot 2100) mogelijk te maken. De Adviescommissie 2024 heeft dit vertaald naar een zeespiegelscenario met een snelheid van 2,8 mm/jaar (voor het jaar 2000) en met versnelling van 0,05 mm/jaar<sup>2</sup> (Figuur 1).

Dat beide extrapolaties zoveel uiteenlopen komt onder meer, volgens de Adviescommissie 2024, doordat met de gebruikte analysemethode de zeespiegelstijging na het jaar 2000 niet met zekerheid kan worden vastgesteld (Keizer et al., 2023). Er is dus volgens de Adviescommissie 2024 meer onderzoek nodig om beter te begrijpen welke fysische processen de verschillen in lokale zeespiegelsnelheden veroorzaken (Keizer et al., 2023; Adviescommissie, 2024).

### **Evaluatie TNO-AGE**

Voor de extrapolatie tot 1 januari 2029 geldt volgens TNO-AGE, dat het meenemen van de windeffecten alleen relevant zijn als ze op korte termijn zouden veranderen. Dat kan op grond van het bovenstaande niet worden uitgesloten, maar TNO-AGE ziet daarin ook geen aanleiding om als verwachting aan te nemen dat dit op deze korte tijdschaal zal gaan gebeuren; het is waarschijnlijker, dat op die korte termijn de zeespiegel langs de Nederlandse kust zal blijven versnellen zoals het doet sinds de jaren 60-70 van de vorige eeuw (Keizer et al., 2023, Figuur 4a).

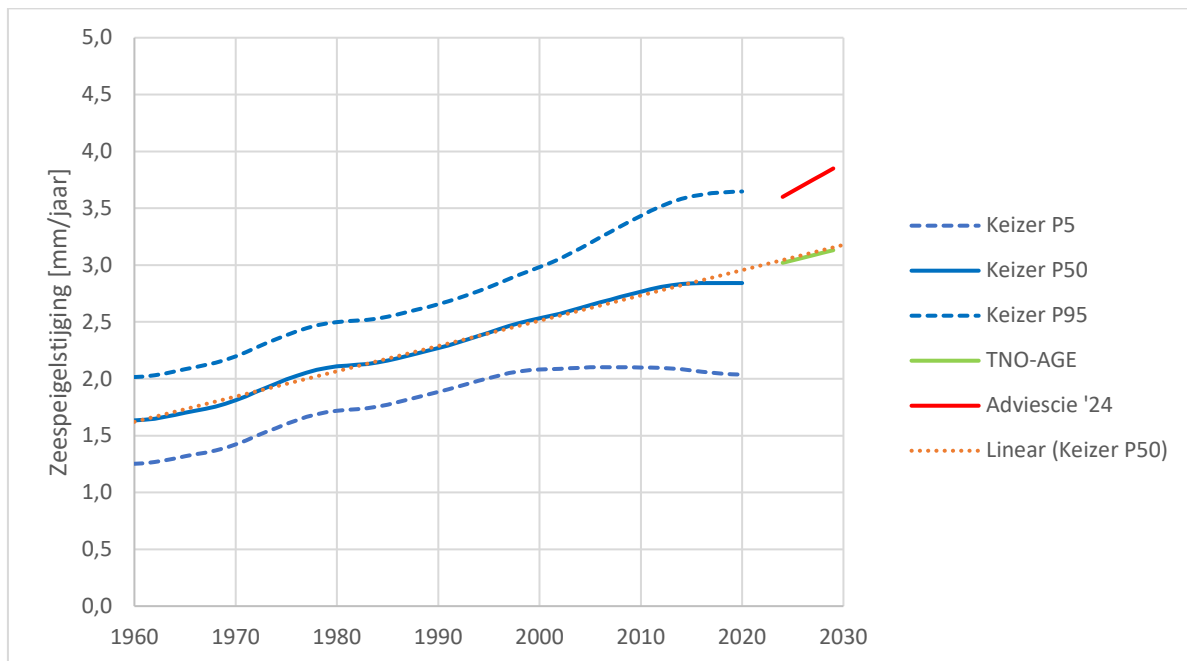
TNO-AGE merkt op dat, voor het wel al meenemen van een eventuele langjarige invloed door verandering in de windopzet in de extrapolatie (zie Adviescommissie, 2024), extra aannames nodig zijn<sup>32</sup>, die niet door de Keizer et al. (2023) publicatie worden ondersteund. Verder kan dit alternatief worden geïnterpreteerd als een extra voorzorg, wat vervolgens indruist tegen de manier waarop binnen de “hand-aan-de-kraan” invulling wordt gegeven aan het voorzorgsbeginsel in de normstelling, namelijk niet via de zeespiegelstijging maar via het meegroeivermogen.

TNO-AGE adviseert om het scenario voor relatieve zeespiegelstijging te actualiseren ten behoeve van de gebruiksruintoets en daarbij uit te gaan van een realistische inschatting en voor de extrapolatie tot 1 januari 2029 een verwachtingswaarde te kiezen conform de groene trend in Figuur 1.

---

<sup>31</sup> Om uit een datareeks van zeespiegelstanden langs de Nederlandse kust de snelheid van de veranderende zeespiegel te kunnen afleiden, is het noodzakelijk om te corrigeren voor korte en middellange termijn (cyclische) variaties. Correctie voor de korte termijn (jaarlijkse) variatie in windopzet wordt bijvoorbeeld al sinds 2018 toegepast in de Zeespiegelmonitor (Baart et al, 2019) is een vorm van ruisonderdrukking van de meetreeks. Ruisonderdrukking sluit aan bij de HadK-systematiek, waar gekeken wordt naar gemiddelden over perioden van 18,6+ jaar (PB, 2006). Waar de correcties voor de korte termijn variaties resulteren in een wat kleinere bandbreedte rond de trend (Baart et al, 2019), resulteert toepassing van de langjarige windopzetcorrectie juist in een systematische, lange termijn verschuiving van die trend (Keizer et al., 2023).

<sup>32</sup> Extra aannames Adviescommissie (2024): (a) de versnelling vanaf het jaar 2000 tot heden bedraagt 0,05 mm/jaar<sup>2</sup>, (b) deze versnelling zet zich in de komende jaren (in ieder geval tot 1 januari 2029) voort met een P50 waarschijnlijkheid, (c) uiterlijk met ingang van 1 januari 2024 zal het lange termijn deel van de wind gaan liggen of structureel van richting veranderen en (d) het effect daarvan op de zeespiegel zal zich vrijwel onmiddellijk en in volle omvang manifesteren.



Figuur 1. Beleidsscenario's met verwachtingswaarden voor de relatieve zeespiegelstijging voor de periode 2024-2028. Deze zijn afgezet tegen de trend in de zeespiegelstijging voor de periode 1965-2020 cf. het Keizer et al. (2023) Tr-model. De onderbroken lijnen tonen respectievelijk het 5<sup>de</sup> en 95<sup>ste</sup> percentiel van dit model. De gestippelde oranje lijn is de TNO-AGE lineaire fits/extrapolaties tot 2030. De TNO-AGE verwachtingswaarde (groen) is afgeleid op basis deze lineaire extrapolatie.

## Richtscenario

Voor het richtscenario gaat het vigerende gebruiksruimtebesluit uit van het SSP2-4.5 klimaatscenario met een waarde van 6,8 mm/jaar in 2050 (KNMI, 2023). De mediane stijgingssnelheid op basis van deze klimaatprojectie in 2029 bedraagt 5,8 mm/jaar.

## Evaluatie TNO-AGE

Zelfs na een ensemble-selectie uit verschillende modelrealisaties is daarmee nog steeds sprake van een significante mismatch met de observaties van de getijdemeetstations langs de Nederlandse kust (KNMI, 2023). Dat maakt aansluiting tussen het richtscenario en het beleidsscenario 2024-2028 op zijn minst lastig (zie ook Adviescommissie, 2024 p. 20). Twee recente KNMI publicaties (Bars Le et al., preprint 2024, Bars Le & Drijfhout, submitted 2024) gaan verder in op deze mismatch. De conclusie die TNO-AGE uit deze twee publicaties trekt, is dat de klimaatmodellen – ondanks de vele aannames en vrijheidsgraden – nog steeds niet in staat zijn om de lokale waarnemingen te verklaren en daarmee ook minder betrouwbaar zijn zelfs voor korte termijn projecties. TNO-AGE adviseert ook het richtscenario te herzien om de bruikbaarheid te verbeteren en hier nader onderzoek naar uit te voeren.

## **Referenties**

Adviescommissie relatieve zeespiegelstijging Waddenzee, 2024. Advies beleids- en richtscenario relatieve zeespiegelstijging Waddenzee 2024-2050.

Baart F., G. Rongen, M. Hijma, H. Kooi, R. de Winter, R. Nicolai, 2019. Zeespiegelmonitor 2018 – De stand van zaken rond de zeespiegelstijging langs de Nederlandse kust. Deltares, rapport 11202193-000-ZKS-0004.

Bars Le D., Keizer I., Drijfhout S. S., preprint.(2024). Constraining local ocean dynamic sea level projections using observations . EGU sphere  
(<https://egusphere.copernicus.org/preprints/2024/egusphere-2024-2872/>)

Bars Le D. & Drijfhout S.S., submitted (2024). Connecting the past and the future to build sea-level scenarios. manuscript submitted to Earth's Future  
(<https://essopenarchive.org/doi/full/10.22541/essoar.173282288.84101656/v1>)

Church, J.A., N.J. White, 2006. A 20th century acceleration in global sea-level rise. Geophys. Res. Lett., 33, L01602. <https://doi.org/10.1029/2005GL024826>.

EZK, 2006. Passende beoordeling, “Gaswinning binnen randvoorwaarden. Passende beoordeling van het Rijksbesluit over de aardgaswinning vanaf de locaties Moddergat, Lauwersoog en Vierhuizen,” 20 januari 2006.

Keizer, I., D. Le Bars, C. de Valk, A. Jüling, R. van de Wal, S. Drijfhout, 2023. The acceleration of sea-level rise along the coast of the Netherlands started in the 1960s. Ocean Science, 19(4), 991-1007. <https://doi.org/10.5194/os-19-991-2023>.

KNMI, 2023. KNMI'23-klimaatscenario's voor Nederland, KNMI, De Bilt, KNMI-Publicatie 23-03

Steffelbauer, D.B., R. E. Riva, J.S. Timmermans, J.H. Kwakkel, M. Bakker, 2022. Evidence of regional sea-level rise acceleration for the North Sea. Environmental Research Letters, 17(7), 074002. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac753a>.

Stolte, W., F. Baart, S. Muis, M. Hijma, M. Taal, D. Le Bars, S. Drijfhout, 2023. Zeespiegelmonitor 2022. Deltares, rapport 11209266-000-ZKS-0001.

TNO, 2011. Actualisatie beleidsscenario zeespiegelstijging voor bepaling gebruiksruimte voor gaswinning onder de Waddenzee vanaf de locaties Moddergat, Lauwersoog en Vierhuizen.