

Postbus 80015, 3508 TA Utrecht

Ministerie van Economische Zaken en Klimaat
Directie Transitie Diepe Ondergrond, Cluster Mijnbouw Vergunningen
T.a.v. [REDACTED]
Postbus 20401
2500 EK DEN HAAGwww.tno.nl
[REDACTED]Datum
29 maart 2024
Onze referentie
AGE 24-10.056

Onderwerp Aanvullende gegevens NAM inzake Ternaard

Geachte heer [REDACTED],

Op 12 maart jl. heeft u mij per e-mail verzocht om advies over de aanvullende gegevens, die de NAM¹ heeft geleverd bij haar winningsplanaanvraag Ternaard (2019), onderdeel van een RCR-procedure. Uw adviesverzoek heeft EZK als volgt aangekondigd²: *“De staatssecretaris heeft dinsdag een brief aan de Tweede Kamer gestuurd waarin hij aangeeft dat hij op basis van de nieuwe zeespiegelstijgingsscenario’s en een nieuw advies van SodM niet anders kan dan de instemming voor het winningsplan van de NAM voor de winning van gas onder de Waddenzee te weigeren. Wel wil hij eerst NAM in de gelegenheid stellen te komen met nieuwe berekeningen op basis van deze scenario’s en het advies van SodM. [...] Wij zullen de wettelijke adviseurs (SodM, TNO, Mijnraad) vragen om op deze herberekening van NAM te adviseren.”*

In 2019 heeft TNO-AGE op verzoek van SodM advies uitgebracht over het door de NAM ingediende winningsplan Ternaard. In dit advies beperkt TNO-AGE zich daarom tot beoordeling van de door de NAM recent aangeleverde informatie³, de aanbevelingen voor een probabilistische aanpak van het Adviescollege Hand aan de Kraan Waddenzee (2021) om naast bodemdaling en zeespiegelstijging ook een onzekerheidsanalyse van het meegroeivermogen toe te voegen, en de nieuwe wetenschappelijke inzichten (sinds 2019) over de waarden van deze drie variabelen.

Centraal staat dat conform de Natura-2000 status van de Waddenzee de natuurwaarden redelijkerwijs niet mogen worden aangetast door de aan de voorgenomen gaswinning Ternaard gerelateerde bodemdaling. Daarom moet de NAM conform de zogenaamde Hand-aan-de-Kraan-systematiek bij de start en tijdens de gasproductie jaarlijks aantonen, dat de

¹ Nederlandse Aardolie Maatschappij BV (NAM)² op 8 maart 2024 (per e-mail)³ Zoals ontvangen per e-mail op 12 maart 2024

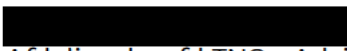
verwachtingswaarde van deze bodemdalingsbelasting binnen de vastgestelde Gebruiksruimte blijft (Passende Beoordeling 2006 (PB 2006); EZK, 2006).

Advies

Op grond van de onderbouwing bij dit advies concludeert TNO-AGE dat de bodemdaling ten gevolge van de in de aanvraag voorgenomen gaswinning Ternaard beheersbaar is binnen de gebruiksruimte.

Erop vertrouwend u hiermee van dienst te zijn geweest.

Met vriendelijke groet,



Afdelingshoofd TNO - Adviesgroep Economische Zaken

Onderbouwing

A. Beoordeling van NAM bodemdalingsinformatie

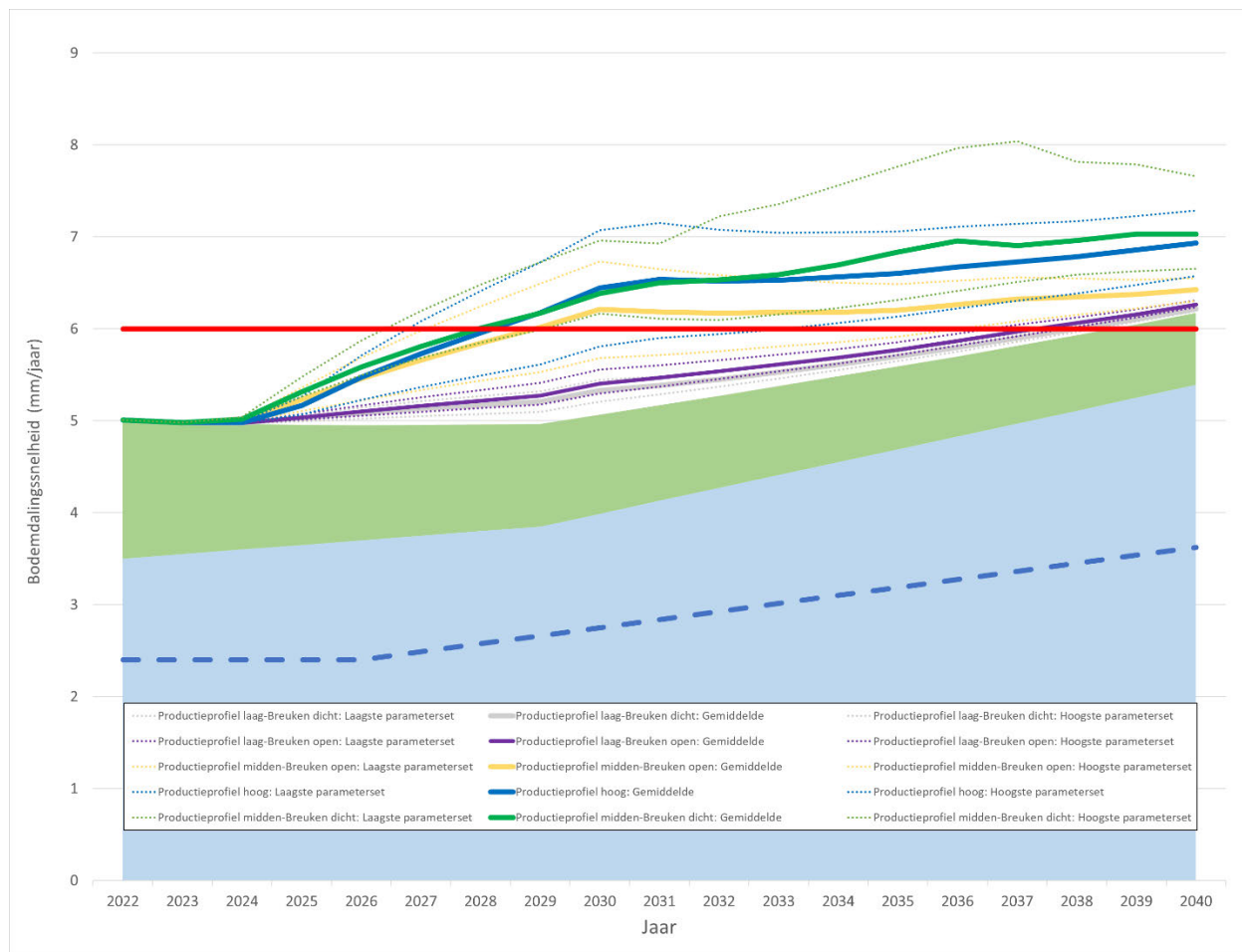
Binnen de Hand-aan-de-Kraan-systematiek (HadK, zie PB 2006) is de bodemdalingsbelasting door de gaswinning Ternaard een door de exploitant (hier: de NAM) via gasproductie te sturen variabele. In de 2019-aanvraag (Tabel 6.2) voor instemming met het winningsplan heeft de NAM dit vormgegeven middels drie productieprofielen (hoog, midden en laag). De productieprofielen geven bij het gebruik van een enkele productieput aan, welke productiesnelheid en -hoeveelheid maximaal verwacht kan worden. Bij een goed producerende put kan de gasproductie indien nodig beperkt worden; bij een tegenvallende productiviteit kan overwogen worden om het veld met een extra put te draineren. Het verschil tussen goede of tegenvallende putproductie hangt vooral af van twee variabelen, namelijk de doorlatendheid van het reservoirgesteente en het effectieve gebied, dat door een enkele put gedraineerd kan worden op grond van open of gesloten breuken. Beide variabelen zijn vooraf onzeker en dat vertaalt zich naar onzekerheid in de te verwachten bodemdaling. TNO-AGE merkt op dat gedurende de productiefase er geleidelijk meer data beschikbaar zal komen, waarmee deze onzekerheden kunnen worden verkleind.

De 2024-aanvulling door de NAM bevat nadere informatie over het lage productieprofiel (in het bijzonder de reservoirdrukken⁴) en twee Gebruiksruimtetoetsen. Deze toetsen heeft de NAM uitgevoerd op basis van:

- Een meegroeivermogen in de komberging Pinkegat van 6 mm/jaar.
- Het scenario voor de relatieve zeespiegelstijging uit 2021 cf. het vigerende gebruiksruimtebesluit respectievelijk het voorgestelde scenario voor de relatieve zeespiegelstijging uit 2024 volgens de Adviescommissie relatieve zeespiegelstijging Waddenzee (2024).
- Het bodemdalingsmodel en parameters conform de 2019-aanvraag (met aangepaste begindatum productie).

TNO-AGE heeft een controleberekening uitgevoerd. Daarvoor is in kaart gebracht wat de verschillen zijn tussen de NAM-aanvraag uit 2019, de rapportage o.b.v. het Meet- en Regel Protocol 2022 (MRP) en de recente aanvullende documenten. Vervolgens heeft TNO-AGE eigen berekeningen uitgevoerd en de uitkomsten daarvan vergeleken met de aangeleverde NAM-resultaten. De TNO-AGE controleberekening (Figuur 1) leidt tot een vergelijkbaar resultaat met de NAM-berekening.

⁴ Per e-mail op 15 maart 2024



Figuur 1. TNO-AGE controleberekening voor de komberging Pinkegat voor de verschillende gasproductieprofielen en onderliggende scenario's op grond van de onzekerheid in doorlatendheid en open versus gesloten breuken. Per productieprofiel is de bodemdaling voor de laagste, middelste en hoogste parameterset getoond in mm/jaar (zie legenda) in combinatie met het 2024-scenario voor de relatieve zeespiegelstijging (Adviescommissie relatieve zeespiegelstijging Waddenzee, 2024) in lichtblauw. De verwachte belasting door de bestaande winning (Meet- en Regelprotocol, 2022) is weergegeven in lichtgroen. Ter vergelijking wordt met donkerblauwe stippellijn het vigerende beleidsscenario voor de relatieve zeespiegelstijging getoond. Het meegroeivermogen van de komberging Pinkegat (PB 2006) is weergegeven als een rode lijn.

B. Onzekerheidsanalyse meegroeivermogen

In 2006 is gekozen voor een gedeeltelijk deterministische aanpak om invulling te geven aan het voorzorgsbeginsel in de normstelling⁵ (PB, 2006). Alle voorzorg zit in principe op één plek, namelijk gebruik van de ondergrens van het meegroeivermogen in plaats van de verwachtingswaarde van het meegroeivermogen. Een meegroeivermogen ondergrens voor de Nederlandse kombergingen is in 2006 vastgesteld op grond van een geologische reconstructie van het natuurlijk functionerende waddensysteem (PB, 2006 en referenties daarin). De waargenomen sedimentatiesnelheden (Elias et al., 2013; Wang et al., 2018) liggen ruim boven het huidige vastgestelde meegroeivermogen (6 mm/jaar) van de komberging Pinkegat (PB, 2006).

Het Adviescollege Hand aan de Kraan Waddenzee (2021) zegt over de vigerende, gedeeltelijk deterministische aanpak: “[dat een volledig] *probabilistische aanpak, mogelijk gecombineerd met scenario's, beter rekenschap geeft van de wetenschappelijke onzekerheden en risico's. Hierbinnen passen ook de extreme scenario's, waardoor deze methodiek het maatschappelijk debat kan verhelderen alsook meer vertrouwen kan geven in de bescherming van de natuurwaarden van de Waddenzee, ook bij snellere zeespiegelstijging dan waarmee nu rekening wordt gehouden*”.

TNO-AGE en SodM hebben in 2015 onderzoek gepubliceerd over een meer probabilistische benadering van de HadK systematiek (Van Thienen-Visser et al., 2015). In 2023 heeft EZK TNO-AGE opdracht gegeven om de mogelijkheden voor een volledig probabilistische aanpak uit te werken. Dit onderzoek is in de afrondende fase en de inhoud van deze paragraaf is hier grotendeels op gebaseerd. In lijn met de aanbevelingen van het Adviescollege HadK (2021)⁶ en van de UNESCO World Heritage Centre (2023) bekijken we het meegroeivermogen⁷ dus als variabele, inclusief onzekerheden en nieuwe inzichten.

Het meegroeivermogen (M) kan worden uitgedrukt als fractie van de kritische verdrinkingssnelheid (R_c), de snelheid waarboven een komberging definitief verdrinkt (Wang et al., 2018; Wang en van der Spek, 2021). Bij zeespiegelsnelheden onder het meegroeivermogen blijft het morfologisch systeem, en daarmee de natuurwaarden, intact. Tussen de waarde van het meegroeivermogen en de kritische verdrinkingssnelheid zal het morfologische systeem zich bewegen naar een nieuw evenwicht (waarbij het wadplaatareaal geleidelijk zal afnemen). Bij langdurige overschrijding van de kritische verdrinkingssnelheid (conform de IPCC projecties) komt het sedimentologische systeem niet meer terug in (dynamisch) evenwicht, waarna een natuurlijke komberging - bij gebrek aan voldoende sedimentaanvoer - uiteindelijk verdrinkt (o.a. Van Goor et al, 2003). Verdrinking vindt plaats op een langere tijdschaal (> 100 jaar). Hieruit blijkt, dat als de overschrijding van het meegroeivermogen op de tijdschaal van morfologische processen kortdurend plaatsvindt - bijvoorbeeld door een aan gaswinning gerelateerde bodemdalingpuls of kortstondige zeespiegelvariatie -, dit een omkeerbaar proces kan zijn (Wang en van der Spek, 2021).

⁵ Als de Staat op enig moment invulling geeft aan de overgang naar een volledig probabilistisch aanpak, zal moeten worden vastgesteld hoe deze normstelling, inclusief voorzorgsbeginsel, moet worden vertaald naar een andere vorm (bijvoorbeeld op basis van overschrijdingskansen van de Gebruiksruimte).

⁶ DGKE-WO / 21092405 Datum 28 juni 2021 Betreft Gas- en zoutwinning Waddenzee: evaluatie hand aan de kraan-principe en actualisatie relatieve zeespiegelstijgingsscenario's

⁷ Het Meegroeivermogen is het natuurlijke vermogen van een kombergingsgebied om de relatieve zeespiegelstijgingssnelheid (inclusief autonome bodemdaling) op de lange termijn (19-jaars gemiddelde) door middel van sedimentatie bij te houden, terwijl het geomorfologische evenwicht en de sedimentbalans in stand blijven.

Omdat het Pinkegat in (dynamisch) morfologische evenwicht is, geldt $M = \alpha \cdot R_c$, met een bijhorende waarde voor α van 0,4 (Wang en Van der Spek, 2021). Voor de komberging Pinkegat is de verwachtingswaarde van R_c 32,7 mm/jaar en zal de kritische verdrinkingsgrens na 2100 worden bereikt (Wang et al, 2018; Wang en Van der Spek, 2021). De daaruit afgeleide waarde van het Pinkegat meegroeivermogen komt dan overeen met 13 mm/jaar (Wang en Van der Spek, 2021). Er is meer onderzoek nodig om de onzekerheidsbandbreedte rond deze waarde vast te stellen.

C. Onzekerheidsanalyse relatieve zeespiegelstijging

Waar in de afgelopen 20 jaar weinig aandacht is besteed aan het meegroeivermogen en eventuele kennishiaten daarin, is het beleidsscenario voor de zeespiegelstijging sinds 2006 minimaal elke 5 jaar herzien en wordt nu jaarlijks bekeken, of nieuwe inzichten aanleiding geven tot tussentijdse herziening⁸. Dit is het geval voor het vigerende beleidsscenario, dat in 2022 is in gegaan (Adviescommissie, 2021).

Het beleidsscenario bestaat (conform de PB, 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 toe aan herziening (Adviescommissie, 2024): het richtscenario op basis van de jongste IPCC modelberekeningen (met projecties voor het jaar 2050, zie ook KNMI, 2023), 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).

Richtscenario

In dit advies gaan we (conform Adviescommissie, 2024) 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 [4,5.-7,6] mm/jaar. Zelfs na modelensembleselectie 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).

Beleids­scenario 2024-2028

Zonder een gevalideerd prognosemodel, dat de observaties van de getijdemeetstations langs de Nederlandse kust afdoend kan verklaren, blijven we voor het beleidsscenario 2024-2028 aangewezen op extrapolatie vanuit de getijdemeetstation-datareeksen (conform PB, 2006). Daarbij maken we gebruik van de jongste data en inzichten.

Door toepassing van een andere 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 sinds de jaren 60-70 van de vorige eeuw versneld stijgt en wel met een versnelling van ca 0,025 mm/jaar² (Keizer et al., 2023, Figuur 4a). Deze waarde ligt overigens dicht bij de 0,018 mm/jaar², die eerder is afgeleid uit waarnemingen op

⁸ De gebruiksruimte voor gas- en zoutwinning in de Waddenzee wordt mede vastgesteld op basis van het beleidsscenario voor de zeespiegelstijging en wordt daarmee ook minimaal elke 5 jaar herzien.

kuststations wereldwijd (Church & White, 2006) en in de Passende Beoordeling (2006) en bij de actualisatie van het beleidsscenario in 2011 (TNO, 2021) is gehanteerd. Toentertijd en ook nog recent in de Zeespiegelmonitor 2018 (Baart et al, 2019) kon nog geen statistisch significante versnelling uit Nederlandse datareeksen worden afgeleid.

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)⁹. 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 ($\sim 0,15$ mm/jaar) is volgens Keizer et al. (2023) klein genoeg om zeespieglextrapolaties over meerdere decades (tot 2100) mogelijk te maken; met een snelheid van 2,8 mm/jaar (voor het jaar 2000) en met versnelling van $0,05$ mm/jaar². Dat beide extrapolaties zoveel uiteenlopen, komt onder meer omdat met de gebruikte analysemethode de zeespiegelstijging na het jaar 2000 niet met zekerheid kan worden vastgesteld (Keizer et al., 2023). Er is dus meer onderzoek nodig om beter te begrijpen welke fysische processen de verschillen in lokale zeespiegelsnelheden veroorzaken (Keizer et al., 2023, Adviescommissie, 2024).

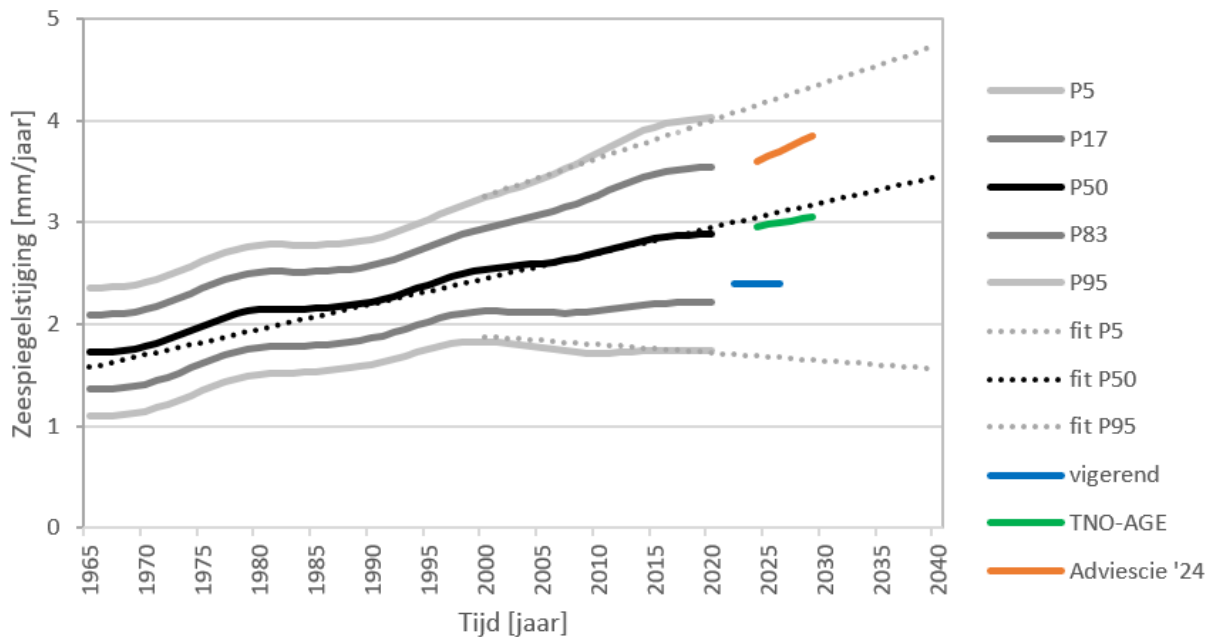
Voor de extrapolatie tot 1 januari 2029 geldt volgens TNO-AGE, dat de lange termijn windeffecten alleen relevant kunnen zijn als ze op die korte termijn zouden gaan veranderen. Dat kan op grond van het bovenstaande niet worden uitgesloten, maar TNO-AGE ziet daarin ook geen aanleiding om als verwachting 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).

Het alternatief is om een eventuele langjarige invloed door verandering in de windopzet wel al mee te nemen in de extrapolatie (zie Adviescommissie, 2024). TNO-AGE merkt op, dat daarvoor extra aannames nodig zijn¹⁰, die niet door de Keizer et al. (2023) publicatie worden ondersteund. Verder kan dit alternatief worden geïnterpreteerd als een extra voorzorg en dat druist in tegen de manier, waarop binnen de HadK invulling wordt gegeven aan het voorzorgsbeginsel in de normstelling, namelijk niet via de zeespiegelstijging maar via het meegroeivermogen (zie paragraaf B van dit advies).

TNO-AGE adviseert daarom om voor de extrapolatie tot 1 januari 2029 een verwachtingswaarde te gebruiken conform de groene trend in Figuur 2.

⁹ 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) als 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).

¹⁰ Extra aannames Adviescommissie (2024): (a) de versnelling vanaf het jaar 2000 tot heden bedraagt $0,05$ mm/jaar², (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 2. Beleidsscenario's met verwachtingswaarden voor de relatieve zeespiegelstijging voor respectievelijk de periode 2022-2026 en 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 doorgetrokken lijnen tonen respectievelijk het 5, 17, 50, 83 en 95 percentiel van dit model. De gestippelde lijnen zijn TNO-AGE lineaire fits/extrapolaties tot 2040. De TNO-AGE verwachtingswaarde (groen) is afgeleid op basis van een driehoeksverdeling (verwachtingswaarde $= (P5+P50+P95)/3$).

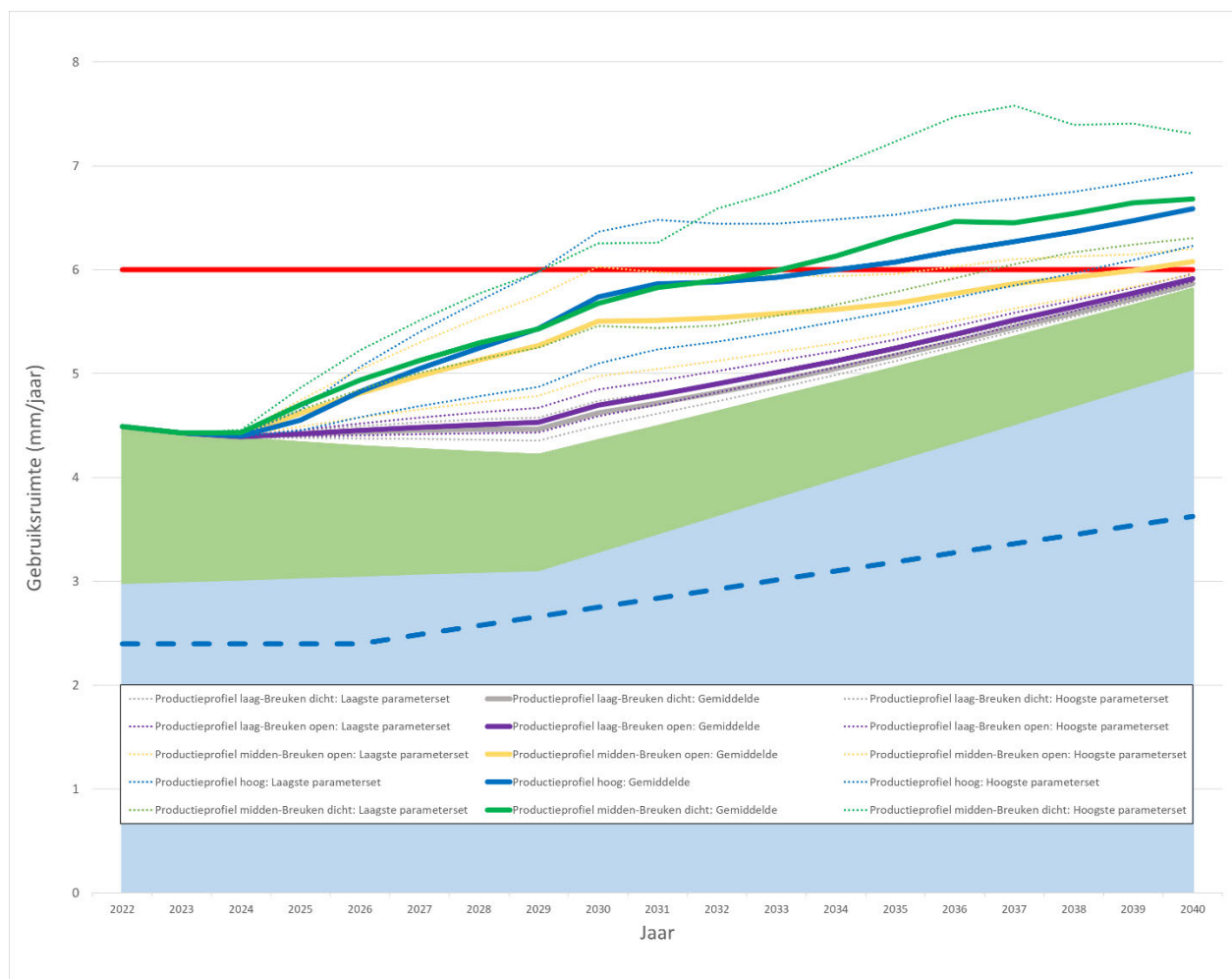
D. Handelingsperspectief

Op basis van een integrale afweging, inclusief het voorzorgsbeginsel (conform de PB, 2006 via het meegroeivermogen) en met de laatste inzichten heeft TNO-AGE een Gebruiksruimtetoets uitgevoerd (Figuur 3). De resultaten van beide toetsen (Figuur 1 en 3) illustreren dat de productiestrategie gaandeweg mogelijk zal moeten worden bijgesteld vanwege:

- onzekerheid vooraf over de doorlatendheid van het reservoirgesteente en het effectieve gebied, dat door een enkele put gedraineerd kan worden op grond van open of gesloten breuken en
- de eis om binnen de Gebruiksruimte te blijven,

en dat dit (indien nodig) technisch haalbaar is door de productie stapsgewijs te beperken, of (bij een tegenvallende productiviteit) door het gasveld Ternaard met een extra put te draineren. Dit sluit aan bij het TNO-AGE (2019) advies: *“dat het waarschijnlijk is dat [...] pas na een aantal jaar gaswinning meer zekerheid is over de meest doelmatige winningsstrategie die daarnaast ook voldoet aan de geldende randvoorwaarden voor winning onder de Waddenzee”*. Een productie-beperking of eventueel een productiestop is een effectieve mitigerende maatregel voor het beperken van de bodemdalingssnelheid in het geval de Gebruiksruimte overschreden dreigt te worden (zie ook Adviescollege HadK, 2021).

TNO-AGE concludeert op grond van de resultaten van beide toetsen (Figuur 1 en 3) dat de bodemdaling ten gevolge van de in de aanvraag voorgenomen gaswinning Ternaard beheersbaar is binnen de gebruiksruimte.



Figuur 3. TNO-AGE Gebruiksruimtetoeets voor de komberging Pinkegat voor de verschillende gasproductieprofielen en onderliggende scenario's op grond van de onzekerheid in doorlatendheid en open versus gesloten breuken. Per productieprofiel is de bodemdaling voor de laagste, middelste en hoogste parameterset getoond in mm/Jaar (zie legenda) in combinatie met het beleidsscenario voor de relatieve zeespiegelstijging van Figuur 2 in lichtblauw (vergelijk Figuur 1). De belasting door de bestaande winning (referentiesituatie Meet- en Regelprotocol berekening 2022) is weergegeven in lichtgroen. Ter vergelijking wordt met donkerblauwe stippellijn het vigerende 2021-beleidsscenario voor de relatieve zeespiegelstijging getoond. De ondergrens van het meegroeivermogen van de komberging Pinkegat is weergegeven als een rode lijn.

Referenties

Adviescollege Hand aan de Kraan Waddenzee, 2021. De toekomst van Hand aan de Kraan - omgaan met onzekerheden. 8 januari 2021.

Adviescommissie relatieve zeespiegelstijging Waddenzee, 2021. Advies beleids- en richtscenario relatieve zeespiegelstijging Waddenzee.

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.

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>.

Elias, E.P.L., Van der Spek, A.J.F., Wang, Z.B. & De Ronde, J.G., 2012. Morphodynamic development and sediment budget of the Dutch Wadden Sea over the last century. *Netherlands Journal of Geosciences / Geologie en Mijnbouw* 91: 293–310

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>.

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.

TNO, 2019. Adviesverzoek aanvraag in stemming winningsplan Ternaard. Kenmerk AGE 19-10.052, 12-09-2019.

van Goor, M.A., Zitman, T.J., Wang, Z.B. & Stive, M.J.F., 2003. Impact of sea-level rise on the morphological equilibrium state of tidal inlets. *Marine Geology* 202(3-4), 211-227.

Van Thienen-Visser, K., Breunese, J.N. & Muntendam-Bos, A.G., 2015. Subsidence due to gas production in the Wadden Sea: How to ensure no harm will be done to nature. ARMA 15-098

UNESCO World Heritage Centre - State of Conservation (SOC 2023) Wadden Sea (Denmark, Germany, Netherlands (Kingdom of the)). <https://whc.unesco.org/archive/2023/whc23-45com-7B.Add2-en.pdf>

Zheng Bing Wang, Edwin P.L. Elias, Ad J.F. van der Spek, Quirijn J. Lodder 2018: Sediment budget and morphological development of the Dutch Wadden Sea: impact of accelerated sea-level rise and subsidence until 2100. *Netherlands Journal of Geosciences / Volume 97 / Issue 3 / September 2018*, Published online by Cambridge University Press: 11 October 2018, pp. 183-214.

Zheng Bing Wang en Ad van der Spek, *Deltares* 17 maart 2021: 'Meegroeivermogen en kritische zeespiegelstijgingsnelheid voor verdrinking in de Nederlandse Waddenzee'.