

Postbus 80015, 3508 TA Utrecht

Ministerie van Economische Zaken en Klimaat
Directie Transitie Diepe Ondergrond,
T.a.v. [REDACTED]
Postbus 20401
2500 EK DEN HAAG

Onderwerp Aanvullend advies na-ijling inzake Ternaard

Geachte [REDACTED],

Op 10 juni jl. heeft u mij per e-mail verzocht om aanvullend advies met betrekking tot de modellering van na-ijleffecten van de bodemdaling door de voorgenomen gaswinning van het Ternaard veld.

In het TNO-AGE advies¹ Ternaard uit 2019 was daar reeds een paragraaf over opgenomen. TNO-AGE meldt in deze paragraaf dat zij [...] *op basis van de door NAM² beschreven bodemdalingsmodellen, berekeningen uitgevoerd met betrekking tot de effectiviteit van een productiestop of productiebeperking op de bodemdalingssnelheid in het geval de gebruiksruijme beperkt wordt. De modellen voorspellen, voor alle scenario's een snelle afname van de bodemdalingssnelheid na het stopzetten van de productie. Het hand-aan-de-kraan principe lijkt hiermee ook een effectieve maatregel voor het Ternaard veld.*

In het meest recente aanvullend advies³ Ternaard (2024) herhaalt TNO-AGE dat *de bodemdaling ten gevolge van de in de aanvraag voorgenomen gaswinning Ternaard beheersbaar is binnen de gebruiksruijme.*

TNO-AGE heeft op 24 mei 2024 een mondelinge toelichting gegeven op deze modellering. Op uw verzoek vat ik deze informatie samen in dit aanvullend advies. Hierbij heeft u gevraagd om een duidelijke uitleg van het begrip en de onzekerheden van na-ijling met aandacht voor de gaswinning van het Ternaard veld onder de Waddenzee en het Hand-aan-de Kraan beleid⁴.

¹ Onderwerp: Adviesverzoek aanvraag instemming winningsplan Ternaard, Datum 12-09-2019, Onze referentie AGE 19-10.052

² De Nederlandse Aardolie Maatschappij B.V.

³ Onderwerp: Aanvullende gegevens NAM inzake Ternaard, Datum 29 maart 2024 Onze referentie AGE 24-10.056

⁴ Passende Beoordeling 2006: Gaswinning binnen randvoorwaarden. Passende beoordeling van het Rijksprojectbesluit over de aardgaswinning vanaf de locaties Moddergat, Lauwersoog en Vierhuizen, 20 januari 2006.

Inleiding

Van een groot aantal gasvelden (b.v. Ameland en Groningen) is bekend, of is de verwachting, dat na afloop van de winning – als de kraan helemaal is dichtgedraaid – er nog bodemdaling zal optreden. Ook voor het Ternaard veld is de verwachting dat in enigerlei mate de bodemdaling zal na-ijlen. De bodemdalingssnelheid als gevolg van na-ijlende processen is vele malen kleiner dan de (directe) bodemdaling die plaatsvindt tijdens gasproductie. Daarentegen kan dit proces van trage na-ijling over een langere periode van enkele decennia plaatsvinden.

Het exacte bodemdalingsgedrag als gevolg van de voorgenomen gaswinning is nog onzeker. Deze onzekerheden worden kleiner als de (reservoir) gesteente-eigenschappen van de voorgenomen boring bekend zijn en naar mate er meer gas geproduceerd is. In algemene zin kunnen na-ijlende processen leiden tot meer en langer doorgaande bodemdaling en/of een vervorming van de bodemdalingsskolom.

Voor het Hand-aan-de-Kraan (HadK) beleid (en dit advies) in de Waddenzee is de snelheid van volume verandering van de bodemdalingsskolom binnen een komberging van de Waddenzee van belang en niet zozeer de verandering van de vorm van de bodemdalingsskolom.

1. Na-ijlende bodemdaling

Hieronder worden de belangrijkste processen beschreven die kunnen leiden tot na-ijling van bodemdaling.

Compactie gesteente

Voortgaande bodemdaling na dichtdraaien van de kraan wordt met name veroorzaakt door het proces van doorgaande compactie van het gesteente in de gasvoerende laag. Deze na-ijling wordt door NAM berekend volgens het geomechanische model dat gebruikt wordt in de *Long term Subsidence* (LTS-II) studie⁵. De LTS-II studie concludeert onder meer dat zolang de druk in het gasvoerende gesteente boven hydrostatische druk blijft de compactie van het gesteente zich elastisch gedraagt. Dit houdt in dat bij het stoppen van de gasproductie het gesteente niet meer verder compacteert. Zolang de reservoir druk boven hydrostatische druk blijft zal in het geval van een productiestop de bodemdaling instantaan reageren (stoppen): er vindt geen na-ijling plaats.

Na-ijling als gevolg van compactie van het reservoirgesteente zal pas na enkele jaren gasproductie, wanneer de druk in de gasvoerende laag onder de hydrostatische druk komt, op gang kunnen komen. De LTS-II studie laat zien dat de na-ijlende compactie dan volgens het RTiCM compactie-model⁶ beschreven kan worden. De onzekerheid over de omvang en de duur van de na-ijling wordt verkleind als productiegedrag en reservoir eigenschappen bekend zijn. De onzekerheden over omvang en duur kunnen verder worden verkleind door het RTiCM compactie-model te kalibreren door middel van bodemdalingmetingen.

⁵ NAM, (2017). Ensemble Based Subsidence application to the Ameland gas field – long term subsidence study part two (LTS-II) continued study Doc nr. EP201710200509

⁶ Pruiksma, J.P. & Breunese, J.N. & Thienen-Visser, Karin & De Waal, Hans. (2015). Isotach formulation of the rate type compaction model for sandstone. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*. 78. 127-132. 10.1016/j.ijrmms.2015.06.002

Poriedrukvereffening

Een andere vorm van na-ijling, met een minder grote invloed, kan worden veroorzaakt door een (vertraagde) verandering van poriedruk als gevolg van drukvereffening binnen de gasvoerende en/of watervoerende laag. De snelheid van drukvereffening is met name afhankelijk van de doorlatendheid van het reservoir en de doorlatendheid van de breuken. Als drukvereffening plaatsvindt binnen of tussen gasvoerende lagen van de breukblokken heeft dit geen invloed op het totale bodemdalingsvolume maar zal alleen invloed hebben op de vorm van de bodemdalingskom. Bij drukvereffening zal immers op bepaalde locaties de reservoir druk (vertraagd) dalen, maar op andere locaties zal deze (vertraagd) stijgen.

Drukvereffening in de gasvoerende laag is daarmee voor het HadK beleid niet van belang, als de bodemdalingseffecten hiervan binnen eenzelfde komberggebied plaatsvinden. Voortgaande bodemdaling na dichtdraaien van de kraan kan ook plaatsvinden door drukvereffening met een watervoerende laag. In bepaalde gevallen kan dit leiden tot een (vertraagde) drukverlaging in een watervoerende laag zonder dat dit leidt tot significante drukverhoging in de gasvoerende laag. Dit proces van drukverlaging zal aanvullende bodemdaling tot gevolg hebben welke vertraagd kan optreden. Dit is met name relevant als de bodemdalingseffecten door drukverlaging in de watervoerende laag plaatsvinden binnen het kombergingsgebied.

Zoutkruip

Een derde vorm van na-ijling kan veroorzaakt worden door het kruipgedrag van het bovenliggende zoutgesteente. Steenzout in de ondergrond gedraagt zich visceus. Dit betekent dat door spanningsveranderingen (veroorzaakt door bodemdaling) zout kan gaan kruipen in de richting van het centrum van de bodemdalingskom. Dit is een langzaam proces en kan tot lokale vervorming van de bodemdalingskom leiden. Echter het bodemdalingsvolume blijft gelijk. Na-ijling door zoutkruip binnen een komberggebied wordt daarmee voor het HadK beleid (en dit advies) buiten beschouwing gelaten.

Conclusie

De voortgaande bodemdaling, na het dichtdraaien van de kraan, is een proces dat met name plaats kan vinden als de druk in het gasvoerende gesteente is gedaald onder hydrostatische druk. Deze na-ijling, pas mogelijk na enkele jaren gasproductie, wordt met name bepaald door doorgaande compactie van het gesteente in de gasvoerende laag. Daarnaast kan, zei het in mindere mate en in specifieke omstandigheden, na-ijling plaatsvinden door poriedrukvereffening via de watervoerende laag.

2. Na-ijlende bodemdaling van het Ternaard veld

Het Ternaard gasveld is in 1991 ontdekt met de TRN-1 exploratieput en het gasveld heeft volgens NAM een (initiële) reservoirdruk van 557 bar en een hydrostatische druk van ongeveer 380 bar.

De na-ijling is voor Ternaard door NAM berekend volgens het geomechanische model dat gebruikt is in de Long term Subsidence (LTS-II) studie. Zolang de productieput nog geboord moet worden en er geen productie heeft plaatsgevonden, bestaat er nog onzekerheid over reservoir eigenschappen (porositeit & permeabiliteit, compactie, reservoirdruk, enz.) en breukeigenschappen (open/dicht).

NAM heeft in haar aanvraag vijf productiescenario's (zie Tabel) met bijbehorende bodemdaling uitgewerkt. Naast de onzekerheid over de reservoir eigenschappen (lage/hoge productie) wordt de onzekerheid van het breukgedrag meegenomen. Variatie in het breukgedrag wordt door NAM meegenomen in het mogelijke aantal van de in totaal vijf breukblokken (b1 t/m b5) waar de beoogde productieput uit zou kunnen produceren (Figuur 6-1, aanvraag 2019). De productieput is gepland in breukblok b3. Breukblok b5 is aangeboord door de eerste Ternaard put (TRN-1) en kan eventueel nog worden gebruikt als observatieput om de reservoirdruk te meten. De druk in de gas-voerende laag zal het langzaamst dalen in het geval alle breuken open zijn omdat de drukkaling dan over het grootste gebied kan worden verdeeld.

Productie scenario	Breuken	Productie uit breukblok					Boven hydrostatische druk einde productie ⁷	Na-ijling	
		b1	b2	b3	b4	b5		door compactie gesteente	via watervoerende laag
Laag	alles open	✓	✓	✓	✓	✓	ja	nee	mogelijk
Laag	alles dicht	✗	✗	✓	✗	✗	ja	nee	nee
Midden	alles dicht	✗	✗	✓	✗	✗	nee	ja	nee
Hoog	open en dicht	✗	✓	✓	✓	✗	nee	ja	mogelijk
“breuken open”	alles open	✓	✓	✓	✓	✓	ja	nee	mogelijk

⁷ Gebaseerd op de drukprofielen of deze na einde productie boven hydrostatische druk van 380 bar blijven van Tabel 11.9, Aanvraag Instemming Winningsplan Ternaard 25 juni 2019, en aanvullende informatie NAM 2024,

Compactie gesteente

De druk in het gasvoerende gesteente blijft in drie van de vijf productiescenario's aan het einde van de productie boven hydrostatische druk (zie Tabel). In dit drukbereik – als de kraan helemaal wordt dichtgedraaid – zal de bodemdaling instantaan reageren (stoppen): er vindt geen na-ijling door compactie van het gesteente plaats. TNO-AGE merkt op dat er geen directe relatie tussen productiehoeveelheid en na-ijlen bestaat, immers het laag en hoog productiescenario, met een verwachte productie van respectievelijk 1,3 miljard Nm³ en 7,6 miljard Nm³, blijven boven hydrostatische druk na afloop van de productie.

Voor het Midden en Hoog productiescenario wordt er, doordat breuken binnen het gasveld gesloten zijn, uit respectievelijk één (b3) en drie (b2, b3, b4) breukblokken geproduceerd. De reservoirdruk in deze productiescenario's zal binnen enkele jaren van productie onder hydrostatische druk komen. Uitgaande van de druktabel van Tabel 11.9 van de aanvraag (2019) kan dit na 4 en 12 jaar respectievelijk voor het Midden en Hoog productiescenario plaatsvinden.

Poriedrukvereffening aquifer

Voor alle scenario's gaat NAM er vanuit dat de noordelijke, zuidelijke en westelijke randbreuken van de Ternaard hoofdstructuur ondoorlatend zijn omdat het breukverzet dusdanig groot is dat deze worden afgesloten door de bovenliggende ondoorlatende kleisteen- en steenzoutpakketten. De oostelijke randbreuk vormt de begrenzing met het producerende Nes gasveld. Hoewel het breukverzet minder groot is zijn er geen aanwijzingen⁸ dat er communicatie is tussen het Nes gasveld en dit deel van het Ternaard veld.

De noordelijke breukblokken b2 en b3 zijn geheel met gas gevuld en zijn niet lateraal verbonden met een watervoerende laag (Bijlage C, aanvraag 2019). Na-ijling via poriedrukvereffening van de watervoerende laag voor het productiescenario Midden en Laag waar alleen uit breukblok b3 wordt geproduceerd speelt logischerwijs geen rol.

Alleen in het scenario waarbij er uit de breukblokken b1, b4 en/of b5 wordt geproduceerd is er sprake van een verbinding met een watervoerende laag. Van de watervoerende lagen van de aangrenzende gasvelden wordt verondersteld dat deze beperkt mobiel zijn en bevatten daarnaast immobiel gas. Dit zorgt voor een beperkte stroming van water naar het gasvoorkomen, daarnaast beperkt de aanwezigheid van immobiel gas eveneens drukdaling in de watervoerende lagen. De invloed van de verbonden watervoerende lagen op na-ijlende effecten en de mate ervan, is nog onbekend zolang er nog geen productie heeft plaats gevonden. Daarnaast bevinden de watervoerende lagen zich grotendeels buiten de komberging, op land, en zijn voor het HadK beleid niet van belang (Figuur 11-2, aanvraag 2019).

Controleberekeningen

TNO-AGE heeft enkele van de productiescenario's van NAM bestudeerd (zie Bijlage), waarbij de grootte en snelheid van de na-ijleffecten zijn berekend als de kraan na zes jaar wordt dichtgedraaid. De controleberekeningen laten zien dat een productiestop een effectieve maatregel voor het Ternaard veld is binnen het HadK beleid: de bodemdaling is beheersbaar.

⁸ NAM 2024, Gaswinning vanaf de locaties Moddergat, Lauwersoog en Vierhuizen. Resultaten uitvoering Meet- en regelcyclus 2023

Bij een productiestop na enkele jaren productie zal, afhankelijk van het productiescenario, binnen één tot vier jaar de bodemdalingssnelheid afnemen naar bijna nul mm/jaar (ruim minder dan 0,1 mm/jaar). Dit is het geval voor elk van de 9 modelparametersets die het mogelijke compactie gedrag beschrijft.

Conclusie

Na-ijling is een proces dat met name een rol speelt als de druk in het gasreservoir onder hydrostatische druk uitkomt, voor Ternaard is dat bij ongeveer 380 bar. De huidige druk in het reservoir is 557 bar. De eerste jaren van gasproductie boven deze hydrostatische druk is er daarom geen sprake van na-ijling. De na-ijling zal onder de hydrostatische druk bepaald worden door compactie van het gesteente. Voor het Ternaard gasveld zal dit het snelst plaatsvinden bij een productiescenario waar de breuken niet doorlatend (gesloten) zijn.

De onzekerheden over mogelijke na-ijling worden voor het Ternaard gasveld bepaald door reservoir eigenschappen en breukgedrag. Deze onzekerheden zullen na enkele jaren van gasproductie kleiner worden. Onzekerheid van de hoeveelheid en de snelheid van na-ijling kan daarnaast verder verkleind worden door kalibratie van het RTiCM model met de bodemdalingmetingen. De monitoring boven het Ternaard veld valt binnen het Waddenzee meet- en regelprotocol⁸.

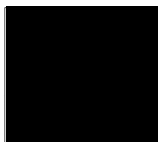
Controle berekeningen van TNO-AGE laten zien dat na-ijling bij het dichtdraaien van de kraan, enkele jaren na begin van de productie, zeer beperkt is: afhankelijk van het productiescenario zal binnen één tot vier jaar de bodemdalingssnelheid afnemen naar bijna nul mm/jaar.

TNO-AGE merkt op dat er geen directe relatie tussen productiehoeveelheid en na-ijlen bestaat. Zowel het laag en hoog productiescenario (verwachte productie respectievelijk 1,3 miljard Nm³ en 7,6 miljard Nm³) blijft boven hydrostatische druk en er wordt geen na-ijlende bodemdaling na afloop van de productie verwacht. Gezien de onzekerheden in het te realiseren productiescenario, zouden de mogelijke vooraf (extra) opgelegde beperkingen van de gasproductie om bodemdaling te beperken dan ook niet gericht moeten zijn op productiehoeveelheid.

Het hand-aan-de-kraan beleid blijft een effectieve maatregel om overschrijding van de gebruiksruimte te voorkomen voor het Ternaard veld, de bodemdaling is beheersbaar.

Erop vertrouwend u hiermee van dienst te zijn geweest.

Met vriendelijke groet,



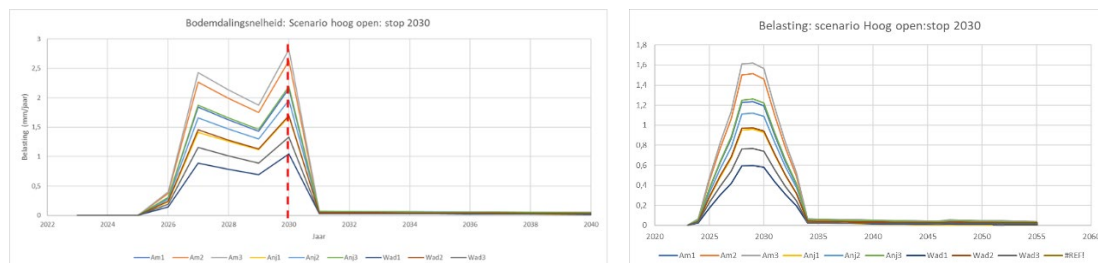

Plaatsvervangend Hoofd Adviesgroep Economische Zaken en Klimaat (TNO-AGE)

BIJLAGE

BIJLAGE

TNO-AGE heeft de na-ijleffecten met enkele controle berekeningen uitgevoerd gebaseerd op de beschrijving van NAM's methode en inputparameters van de aanvraag uit 2019 voor de Midden en Hoog productiescenario's en voor het Laag productiescenario met de door NAM aangeleverde aanvullende informatie uit 2024. TNO-AGE heeft de na-ijleffecten berekend uitgaande van een productieduur van zes jaar van 2024 tot en met 2029 waarbij de druk in de gasvoerende laag na zes jaar niet meer daalt. Er is gekozen voor een productieduur van 2024 tot en met 2029, omdat na zes jaar productie de bodemdalingssnelheid relatief hoog is en bijna vergelijkbaar is met de tijdsspanne van het beleidsscenario⁹. De bodemdalingssnelheid, belangrijk voor het HadK beleid, wordt gegeven door het jaarlijkse bodemdalingsvolume van de gaswinning in het komberggebied Pinkegat te delen op de gehele oppervlakte van het Pinkegat. De belasting is het gewogen zes jaargemiddelde van de bodemdalingssnelheid. TNO-AGE heeft een aantal scenario's hieronder berekend. De input en output data van de berekeningen zijn als Excel toegevoegd.

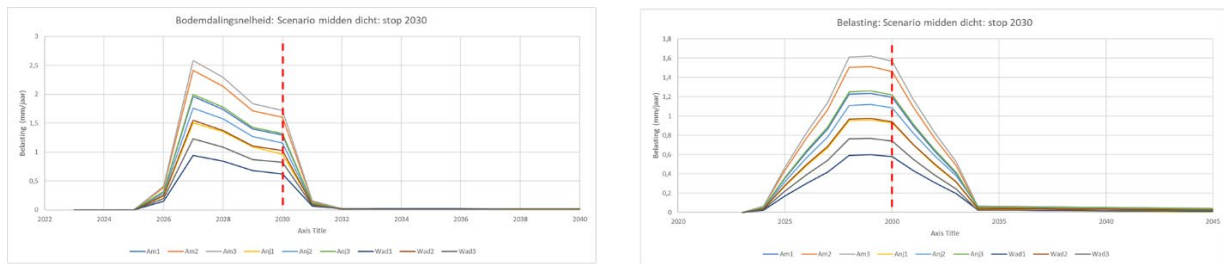
Figuur 1 laat de productiestop in het Hoge productiescenario met open en dicht breuken, productie uit drie breukblokken (b2 t/m b4) zien. De twee pieken in de bodemdalingssnelheid (verticale as in mm/jaar) worden veroorzaakt doordat de drie breukblokken niet een zelfde drukverval hebben. De reservoirdruk aan het einde van productie is in alle drie de breukblokken nog boven hydrostatisch. In dit elastische bereik (boven hydrostatische druk) is de bodemdalingssnelheid na productiestop bijna instantaan, voor dit hoge productiescenario's binnen één jaar zo goed als nul.



Figuur 1: Productiestart 2024 en productieduur tot en met 2029 (rode stippellijn), bodemdalingssnelheid (hoge productiescenario's/open en dicht breuken) voor de 9 verschillende modelparameter sets.

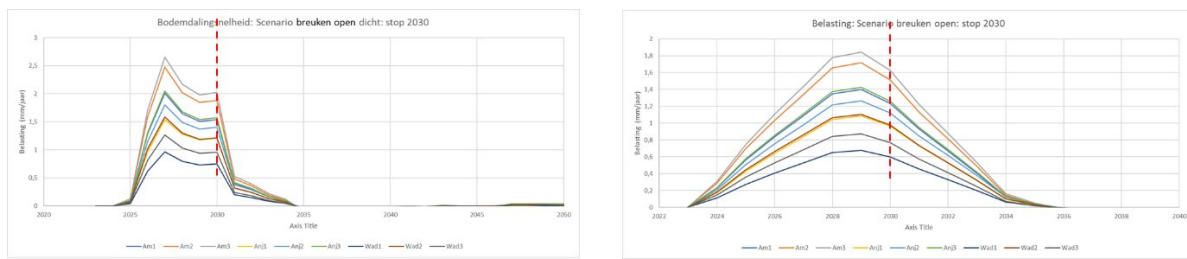
Figuur 2 laat de invloed van een productiestop na zes jaar zien voor het Midden productiescenario's met dichte breuken zien, productie uit slechts één breukblok (b3). Tot 2029 gedraagt de compactie zich elastisch. Vanaf 2029 komt de reservoir druk onder de hydrostatische druk en komt de compactie in het RTiCM domein met een na-ijlende component. Omdat de drukdaling beperkt is wordt nog steeds een snelle daling verwacht: binnen drie jaar naar bijna nul mm/jaar. En ook naar een zeer lage belasting binnen vier jaar.

⁹de periode januari 2024 tot januari 2029....(<https://mijnbouwvergunningen.nl/attachment/entity/ddd1a730-a98a-41f6-9b8a-e23165271a8e>)



Figuur 2: Productiestart 2024 en productieduur tot en met 2029 (rode stippellijn). Linker figuur bodemdalingssnelheid, rechter figuur belasting (beide voor midden productiescenario's/dichte breuken) voor de 9 verschillende modelparameter sets.

Figuur 3 laat de invloed van een productiestop na zes jaar zien voor het productiescenario's met "breuken open" en langzame poriedrukvereffening met de watervoerende laag. De druk in dit productiescenario blijft boven hydrostatische druk en de na-ijling wordt dus bepaald door de poriedruk vereffening en daarmee compactie in de watervoerende laag. Ook in dit scenario wordt een snelle respons verwacht na stoppen van de productie. De bodemdalingssnelheid neemt binnen vier jaar af naar bijna nul mm/jaar en belasting neemt binnen vijf jaar af naar bijna nul mm/jaar.



Figuur 3: Productiestart 2024 en productieduur tot en met 2029 (rode stippellijn). Linker figuur bodemdalingssnelheid, rechter figuur belasting (beide voor "breuken open" productiescenario's en langzame druk vereffening via watervoerende laag voor de 9 verschillende modelparameter sets).