

# **Winningsplan Ternaard**

## **Inhoudsopgave Aanvraag**

*(klik op de hoofdstuktitels om naar het betreffende hoofdstuk te gaan)*

o Winningsplan Ternaard 25 juni 2019

o Beantwoording vragen ministerie van EZK juli 2021

# **Aanvraag Instemming Winningsplan**

**Ternaard**

**25 juni 2019**

Blanco pagina

## 1 Samenvatting



### Achtergrond winningsplannen – algemeen

Het winnen van aardgas uit een gasveld wordt vastgelegd in een winningsplan. Kort gezegd beschrijft het winningsplan de technische aspecten van de winning (met nadruk op de ondergrond, zoals de geologie) en de mogelijke risico's en effecten met betrekking tot bodemdaling en -trilling, inclusief eventuele maatregelen.

De winning kan alleen plaatsvinden indien de Minister van Economische Zaken en Klimaat (EZK) instemt met het winningsplan. Het uitgangspunt hierbij is de Mijnbouwwet, waaraan voldaan moet worden. De procedure van een winningsplan bevat de volgende stappen:

- NAM dient een winningsplan in bij de Minister van EZK en vraagt om instemming.
- De Minister van EZK vraagt advies aan verschillende partijen die bij de winning betrokken zijn, zoals: provincies, gemeenten, waterschappen, Staatstoezicht op de Mijnen (SodM), Technische commissie bodembeweging (Tcbb), TNO en de Mijnraad.
- Deze adviezen worden meegenomen in het ontwerp instemmingsbesluit van de Minister van EZK.
- Het ontwerp besluit ligt vervolgens voor een periode van 6 weken ter inzage. Iedereen kan in deze fase reageren door een zienswijze in te dienen.
- Vervolgens worden deze zienswijzen behandeld en stelt EZK een definitief instemmingsbesluit op. Uiteindelijk zal de Minister al dan niet instemmen met het winningsplan. Er kunnen ook aanvullende voorschriften worden gesteld.
- Het definitieve instemmingsbesluit gaat vervolgens nog 6 weken ter inzage voor beroep. Alleen belanghebbenden kunnen in deze fase beroep aantekenen.
- Indien er beroep is ingediend dan zal de Afdeling Bestuursrechtspraak van de Raad van State hierover oordelen.
- Bij een definitief winningsplan verloopt de gaswinning verder volgens dit winningsplan.
- Indien er afwijkingen zijn zal NAM een actualisatie van het winningsplan moeten indienen.

Naast het winningsplan kunnen nog diverse andere vergunningen noodzakelijk zijn, zoals een milieuvergunning en bouwvergunning. Voor meer informatie zie ook [www.hoewerktgaswinnen.nl](http://www.hoewerktgaswinnen.nl).

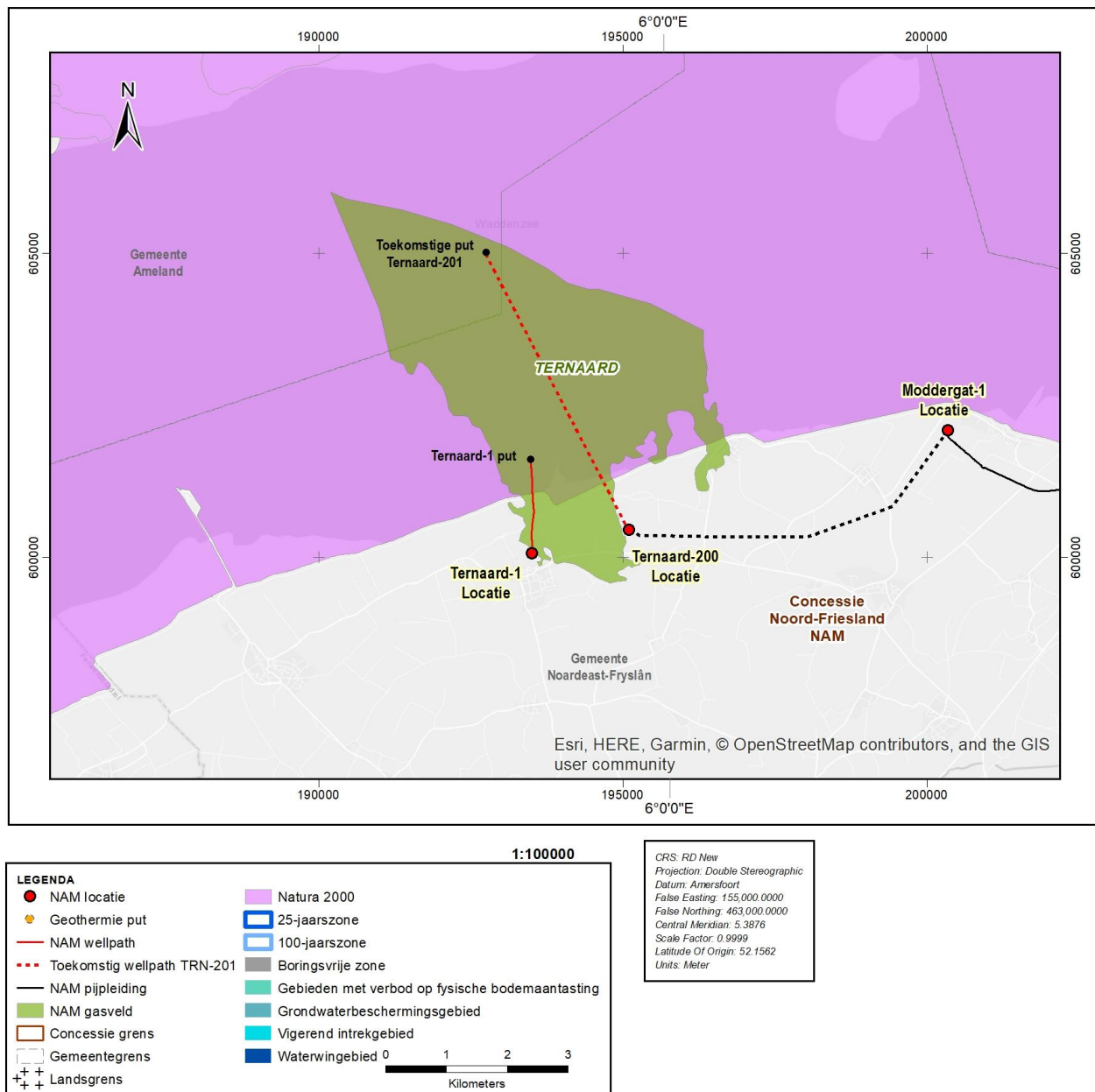
### Achtergrond winningsplan Ternaard

Dit winningsplan omvat het gasveld Ternaard (gasveld wordt ook wel “voorkomen” genoemd in winningsplannen). Het gasveld ligt in de provincie Fryslân, grotendeels onder de Waddenzee en in de gemeentes Noardeast-Fryslân en Ameland. Het Ternaard veld is in 1991 aangeboord vanaf de Ternaard-1 locatie bij het dorp Ternaard. Destijds is er besloten om het gasveld niet meteen te produceren maar eerst nadere analyses te doen naar de technische en economische haalbaarheid van de ontwikkeling van het veld.

Om het Ternaard veld te produceren zal een nieuwe put geboord worden vanaf een nieuwe locatie. Deze nieuwe locatie “Ternaard-200” ligt verder verwijderd van het dorp Ternaard. Het gewonnen gas wordt met behulp van een nieuwe pijpleiding naar de bestaande NAM Moddergat-1 locatie getransporteerd. Vandaar

stroomt het gas via een bestaande pijpleiding naar de Anjum locatie, alwaar het gas op specificatie wordt gebracht en aan de Gasunie wordt geleverd.

De reden voor het indienen van dit winningsplan is dat de NAM van plan is om het gasveld na boring in productie te brengen.



Figuur 1-1: Overzicht van het Ternaard voorkomen, inclusief infrastructuur. Putten zijn aangegeven met rode lijnen.

### Hoeveel gas kan worden gewonnen?

NAM verwacht 1,0 tot 7,6 miljard Nm<sup>3</sup> aardgas te winnen uit het Ternaard veld over de periode 2021-2037. De daadwerkelijke productie is nog onzeker en hangt onder meer af van het succes van boring(en) en de kwaliteit van het reservoir dat aangetroffen wordt. De productie uit Ternaard zal onder het zogeheten Hand-aan-de-Kraan principe vallen, zoals dat voor de bestaande NAM-gasvelden onder de Waddenzee geldt. Dit Hand-aan-de-Kraan principe heeft tot doel dat eventuele bodemdaling door gaswinning niet leidt tot negatieve effecten

voor de Waddenzee. Jaarlijks zal worden getoetst of de winning zoals beschreven in dit winningsplan moet worden bijgesteld.

### **Bodemdaling door gaswinning**

Door de winning van gas uit diepe gesteentelagen neemt de druk van het gas in het gesteente langzaam af. Het gewicht van kilometers dikke gesteentelagen boven het gasveld zorgt ervoor dat de gashoudende gesteentelaag iets wordt samengeperst. Dit kan zich aan de oppervlakte manifesteren in een lichte bodemdaling. Dit is een zeer geleidelijk proces, dat over decennia plaatsvindt en zich over een groot gebied uitstrekt. De term “verzakking” die veel in de media verschijnt past niet bij de observaties van bodemdaling door gaswinning in Nederland en wereldwijd. Om een beter beeld te geven; de ‘helling’ die ontstaat door bodemdaling door gaswinning is typisch een paar centimeter over de lengte van een kilometer. Op het niveau van een woning komt dit neer op een verschil van de dikte van 1 vel A4 papier tussen de voor- en achtergevel. Meer informatie staat op [www.bodemdalingfryslan.nl](http://www.bodemdalingfryslan.nl) , [www.commissiebodemdaling.nl](http://www.commissiebodemdaling.nl) en op de TNO-website; [www.natuurinformatie.nl](http://www.natuurinformatie.nl).

Het winningsplan bevat een overzicht van de gemeten bodemdaling in de Waddenzee tot nu toe. Ten eerste vinden er GPS campagnes plaats in de Waddenzee waarbij alle peilmerkclusters met een interval van drie jaar worden gemeten en elk jaar een aantal peilmerken worden aangemeten. De bodemdalingsmeting in het Lauwersmeergebied wordt ook elke drie jaar gedaan. Tevens vindt rondom de Waddenzee, op een aantal locaties, permanente GPS-monitoring plaats. Sinds 2016 is ook een permanent GPS-station operationeel in Ternaard. Ook op Ameland en Schiermonnikoog vinden bodemdalingsmetingen plaats met een interval van 3 jaar. Samen vormen deze metingen de nulmeting voor de mogelijke bodemdaling door gaswinning uit het Ternaard veld.

Het winningsplan bevat een prognose van de bodemdaling door gaswinning aan het einde van de winning. De voorspelling voor de bodemdaling in de ondergrond door gaswinning uit Ternaard is maximaal 6 cm over een periode van meer dan 30 jaar met een onzekerheid tussen de -2 en +6 cm. In de Waddenzee wordt bodemdaling gecompenseerd met natuurlijke aanvulling van zand en slib door getijdestromingen. Op het wad zal de bodemdaling door de Ternaard gaswinning geheel gecompenseerd worden door deze aanvoer van zand en slib. De “bodemdalings in de ondergrond” zoals die gerapporteerd worden in dit winningsplan zullen daarom niet zichtbaar zijn in de waterdiepte of plaathoogte in de Waddenzee. De mogelijke effecten op het wad worden jaarlijks gemonitord en gerapporteerd aan de Auditcommissie gaswinning onder de Waddenzee.

In het verwachte productiescenario zal de bodemdaling op land minder dan 2 cm zijn. Schade door bodemdaling op land wordt niet verwacht omdat de bodemdaling door gaswinning beperkt, langzaam en over een groot gebied plaatsvindt. Mogelijk moeten waterpeilen worden aangepast door het waterschap (Wetterskip Fryslân). NAM is aansprakelijk voor eventuele meerkosten van bijvoorbeeld het peilbeheer als gevolg van bodemdaling door gaswinning.

### **Toelichting risico van aardbevingen**

In 2014 is een rapport van de Onderzoeksraad voor Veiligheid verschenen met een duidelijke boodschap: er moet meer aandacht komen voor de veiligheid bij gaswinning. Dit heeft geleid tot aanpassing van de Mijnbouwwet. In de tussentijd is door SodM een methodiek ontwikkeld om het risico van aardbevingen beter in beeld te brengen. Bedrijven als NAM moeten deze methodiek gebruiken in de winningsplannen. In het winningsplan Ternaard is het risico van aardbevingen volgens deze nieuwe methodiek uitgewerkt.

Op basis van verschillende parameters met betrekking tot de ondergrond en gasproductie is bepaald wat de waarschijnlijkheid is dat een gasveld zou kunnen beven. Daarnaast wordt op basis van de specifieke geologische eigenschappen een inschatting gemaakt van de sterkste beving waar theoretisch gezien rekening mee moet worden gehouden. Ook is rekening gehouden met andere elementen, zoals de opbouw van de ondiepe ondergrond en bevolkingsdichtheid.

Velden die zouden kunnen beven worden ingedeeld in 3 categorieën, waarbij categorie 1 de lichtste en categorie 3 de zwaarste is. Afhankelijk van de risicocategorie gelden er voor een veld monitoringsverplichtingen, beheersmaatregelen en onderzoekverplichtingen. Alleen het Groningen gasveld valt in categorie 3. Het Ternaard gasveld valt in categorie 1, de laagste risicocategorie. Voor deze categorie velden zijn geen extra monitoringsmaatregelen nodig.

Hoewel de kans op een beving klein is, kan een beving nooit worden uitgesloten. Bij eventuele schade is NAM altijd wettelijk aansprakelijk voor schade die zij veroorzaakt volgens het Burgerlijk Wetboek. Mochten omwonenden toch schade ondervinden, dan kan dat gemeld worden bij NAM of bij het Landelijk Loket Mijnbouwschade. Tevens is de Minister van EZK voornemens een onafhankelijke en deskundige commissie in het leven te roepen (landelijke Commissie Mijnbouwschade), om te zorgen voor een onafhankelijke beoordeling van meldingen van mijnbouwschades in Nederland. Het is belangrijk om te benadrukken dat het risico van aardbevingen en schade door gaswinning uit Ternaard niet te vergelijken is met de situatie in Groningen vanwege de veel kleinere omvang van de reservoirs. Ook in de omliggende velden, waarvan sommige al meer dan 30 jaar in productie zijn, zijn nooit bevingen opgetreden die door mensen gevoeld zijn.



## **Inhoud**

1	Samenvatting .....	3
	Inhoud .....	7
	Formulier aanvraag instemming winningsplan.....	9
2	Inleiding .....	11
2.1	Doel van het Winningsplan .....	11
2.2	Leeswijzer .....	11
3	Plaats van winning .....	13
3.1	Productielocatie, put(ten) en voorkomen(s) .....	13
3.2	Schematische weergave gasbehandeling en afvoer van het gas.....	15
4	Boringen .....	16
4.1	Inleiding: algemene beschrijving van een put .....	16
4.2	Overzicht boring(en) in voorkomen(s).....	17
4.3	Schematische voorstelling putverbuizing(en) .....	17
4.4	Putstimulatie.....	17
5	Ondergrond .....	18
5.1	Inleiding: hoe worden de ondergrond-eigenschappen gemeten.....	18
5.2	Geologie en gesteente-eigenschappen van het voorkomen .....	18
5.1	Gesteente-eigenschappen van de bovenliggende lagen.....	20
5.2	Andere gebruiksmogelijkheden van de ondergrond .....	21
6	Ontwikkelingsvooruitzichten.....	22
6.1	Inleiding .....	22
6.2	Historische Productie .....	22
6.3	Onzekerheden.....	22
6.4	Winningsstrategie & reservoir management .....	22
6.5	Winningsnelheid (hoeveelheden per voorkomen/per jaar) .....	23
6.6	Duur van de winning .....	25
6.7	Jaarlijks eigengebruik bij winning.....	25
6.8	Jaarlijks bij winning afgeblazen/afgefakkelde koolwaterstoffen .....	25
6.9	Stoffen die jaarlijks worden mee geproduceerd.....	25
6.10	Jaarlijks bij winning in de ondergrond terug te brengen delfstoffen en andere stoffen .....	25
7	Bodemdaling .....	26
7.1	Inleiding: hoe komt bodemdaling tot stand .....	26
7.2	Bodemdalingsmodel & historische bodemdaling .....	28
7.3	Bodemdalingsvooruitzichten .....	29
7.4	Onzekerheid in verwachte bodemdaling.....	31
7.5	Monitoring van bodemdaling .....	32
7.6	Mogelijke gevolgen van de verwachte bodemdaling .....	32

7.7	Maatregelen om (gevolgen van) bodemdaling te voorkomen of te beperken .....	33
8	Bodemtrilling.....	34
8.1	Inleiding: hoe komen bevingen ten gevolge van gaswinning tot stand.....	34
8.2	Historische bevingen boven het Ternaard veld.....	34
8.3	Algemeen kader voor Seismische Risico Analyse.....	34
8.4	Seismische Risico Analyse voor het Ternaard voorkomen .....	37
8.5	Mogelijke gevolgen van bevingen ten gevolge van gaswinning uit het Ternaard veld .....	38
8.6	Monitoring van bodemtrillingen .....	39
8.7	Maatregelen om bodemtrillingen te voorkomen of te beperken.....	40
8.8	Maatregelen die gevolgen van bodemtrillingen beperken of voorkomen .....	40
9	Overige omgevingsaspecten.....	41
9.1	Algemeen .....	41
10	Verklarende woordenlijst.....	42
11	Bijlage A: Bodemdaling: details en achtergronden .....	43
11.1	Introductie.....	43
11.2	RTCiM model, factoren van invloed en gebruikte productiescenario's.....	43
11.3	Parameterwaarden in het bodemdalingsmodel .....	44
11.4	Resultaten voor de bodemdalingssnelheid en belasting .....	45
11.5	Resultaat voor de bodemdaling op bestaande meetpunten in het Pinkegat kombergingsgebied.....	48
11.6	Detectie van reservoirscenario's door middel van drukmetingen .....	50
11.7	Detectie van bodemdalingsscenario's door middel van geodetische metingen .....	51
11.8	Conclusies.....	52
11.9	Reservoirdrukken per blok en per jaar.....	53
12	Bijlage B: Seismische Risico Analyse .....	55
13	Bijlage C: Geologische kaarten voor het Ternaard veld .....	61

## Formulier aanvraag instemming winningsplan

ex artikel 34 lid 1 Mijnbouwwet (Mw) juncto artikel 24 Mijnbouwbesluit (Mb)


Elektronisch in te dienen bij:

Ministerie van Economische Zaken

Directie Energie & Omgeving

mijnbouwaanvragen@minez.nl

<u>Artikel</u>	<u>Onderwerp</u>	<u>Beschrijving</u>
Mw 34 lid 1	<b>Verzoek om instemming van het winningsplan</b>  Ternaard	<input type="checkbox"/> een winningsplan voor voorkomens in het continentaal plat vanaf de 12 zeemijlszone  <input checked="" type="checkbox"/> een winningsplan voor voorkomens in Nederlands territorium tot 12 zeemijl uit de kust
	<b>Algemene gegevens</b>	
	<i>Naam indiener</i>	Nederlandse Aardolie Maatschappij B.V.
	<i>Adres</i>	Postbus 28000 9400 HH Assen
	<i>Contactpersoon</i>	Martijn Haarsma
	<i>E-mail</i>	<a href="mailto:Martijn.Haarsma@shell.com">Martijn.Haarsma@shell.com</a>
Mw 34 lid 2	<b>Indiener</b>	<input checked="" type="checkbox"/> is houder van de vergunning <input type="checkbox"/> is uitvoerder cf artikel 22 Mw
	<b>Winningsvergunninggebied(en) Ligging Gemeente en Provincie</b>	<input checked="" type="checkbox"/> winningsvergunning(en) Noord-Friesland, gelegen in de Provincie Fryslân en Gemeenten Noardeast-Fryslân en Ameland.
Mw 34 lid 1 Mb 24 lid 1a	<b>Voorkomens koolwaterstoffen</b>	Ternaard
Mb 24 lid 1a	<b>Soort koolwaterstof die wordt gewonnen</b>	<input type="checkbox"/> olie <input checked="" type="checkbox"/> hoog calorisch gas <input type="checkbox"/> Groningen kwaliteit gas <input type="checkbox"/> laag calorisch gas <input type="checkbox"/> zwavelhoudend gas <input checked="" type="checkbox"/> aardgascondensaat
Mr 1.2.1 lid 3	<b>Bestaande of nieuwe winning</b>	<input type="checkbox"/> winningsplan voor reeds bestaande winning (inclusief voorziene uitbreiding) <input checked="" type="checkbox"/> winningsplan voor nieuwe winning
Mw 34 lid 7	<b>Coördinatie vergunningen</b>	<input checked="" type="checkbox"/> ja: te weten met: <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Omgevingsvergunning</li> <li><input type="checkbox"/> Watervergunning</li> <li><input type="checkbox"/> Mijnbouwmilieuvergunning</li> <li><input checked="" type="checkbox"/> Anders, namelijk: Rijks Coördinatie Regeling</li> </ul> <input type="checkbox"/> nee

	<b>Bedrijfs- en productiegegevens</b>	<b>Sectie</b>
Mw 35 lid 1	Beknopte beschrijving van het winningsplan	1, 2
Mw 35 lid 1c Mb 24 lid 1c,d	Beknopte beschrijving van wijze van winning door middel van (een) mijnbouwwerk(en)	3
Mb 24 lid 1a	Geologische beschrijving van voorkomen(s)	5
Mb 24 lid 1a Mb 24 lid 1b	Geologische doorsnede van voorkomen(s)	Bijlage C
Mw 35 lid 1a Mb 24 lid 1d,e	Overzicht ligging voorkomens, gasputten	3.1
Mb 24 lid 1d,e,g	Situering mijnbouwwerken situatietekening /eventueel foto	3.1
Mb 24 lid 1e,f	Overzicht boringen in voorkomen(s)	4.2
Mb 24 lid 1g	Schematische voorstelling putverbuizing(en)	4.3
Mb 24 lid 1h	Plaats en wijze waarop koolwaterstoffen in verbuizing treden	3.2, 4.3
Mb 24 lid 2	Productieontwikkeling strategie	6.4, 6.5
Mb 24 lid 2	Productiefilosofie	6.4
Mb 24 lid 2	Reservoir management	6.4
Mw 35 lid 1a,d Mb 24 lid 1a	Omvang winning (hoeveelheden per voorkomen/per jaar)	6.5
Mw 35 lid 1b	Duur van de winning (per voorkomen)	6.6
Mb 24 lid 1i	Stoffen die jaarlijks worden mee geproduceerd	6.9
Mb 24 lid 1j	Jaarlijks eigengebruik bij winning	6.7
Mb 24 lid 1j	Jaarlijks bij winning afgeblazen/afgefakkelde koolwaterstoffen	6.8
Mb 24 lid 1k	Jaarlijks bij winning in de ondergrond terug te brengen delfstoffen en andere stoffen	6.10
Mw 36 lid 1 sub b	Planmatig gebruik of beheer van delfstoffen, aardwarmte, andere natuurlijke rijkdommen, waaronder grondwater met het oog op de winning van drinkwater, of mogelijkheden tot het opslaan van stoffen	5.4
	<b>Gegevens inzake bodemdaling als gevolg van de winning</b>	<b>Sectie</b>
Mw 35 lid 1f	Aard van de bodemdaling ten gevolge van de winning alsmede de daarmee verband houdende activiteiten	7.1
Mb 24 lid 1m Mb 24 lid 1n Mb 24 lid 1o	Gekalibreerde bodemdaling en bodemdalingprognoses (uiteindelijk verwachte mate van bodemdaling)	7.2 – 7.4 Bijlage A
Mb 24 lid 1q	Omvang en aard van de schade	7.6
Mb 24 lid 1r	Maatregelen om bodemdaling te voorkomen / te beperken	7.5
Mb 24 lid 1s Mw 35 lid 1f	Maatregelen die gevolgen van schade door bodemdaling beperken of voorkomen	7.7
	<b>Gegevens inzake bodemtrilling als gevolg van de winning</b>	<b>Sectie</b>
Mw 35 lid 1f	Aard van de bodemtrilling ten gevolge van de winning alsmede de daarmee verband houdende activiteiten	8.1, 8.2
Mb 24 lid 1p	Risicoanalyse bodemtrilling	8.3, 8.4, Bijlage B
Mb 24 lid 1q	Omvang en aard van de schade	8.5
Mb 24 lid 1r	Maatregelen om bodemtrillingen te voorkomen / te beperken	8.6, 8.7
Mb 24 lid 1s Mw 35 lid 1f	Maatregelen die gevolgen van schade door bodemtrillingen beperken of voorkomen	8.8
	<b>Overige veiligheidsaspecten</b>	<b>Sectie</b>
Mw 35 lid 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	8.3, 8.5
Ondertekening		Datum: 25 juni 2019 Plaats: Assen
Naam: Elke Rettberg Functie: Asset Manager – Asset Land		Mb 24 lid I Jaarlijkse kosten onderverdeeld in investeringen, onderhoud, bedrijfsvoering, verlaten en verwijderen. Zie deel "vertrouwelijk"

## **2 Inleiding**

### **2.1 Doel van het Winningsplan**

De Nederlandse Aardolie Maatschappij B.V. ("NAM") is houder van de Winningsvergunning Noord-Friesland (KB, 17-2-1969). Conform artikel 34 van de Mijnbouwwet (Mw) dient de winning van koolwaterstoffen te gebeuren in overeenstemming met een winningsplan. In het Mijnbouwbesluit (Mb) is in artikel 24 aangegeven welke informatie het winningsplan moet bevatten.

Dit winningsplan omvat het gasvoorkomen Ternaard. Het Ternaard veld is ontdekt in 1991 en nog niet eerder in productie geweest. NAM is voornemens om na het verkrijgen van alle benodigde vergunningen dit veld in productie te nemen.

Dit winningsplan bevat productie- en bodemdalingsvoorspellingen, en een seismische risicoanalyse.

### **2.2 Leeswijzer**

In dit document wordt ingegaan op de manier waarop het gas gewonnen wordt, de geologie en de eigenschappen van het ondergrondse gasvoorkomen en de voorspelde productiehoeveelheden, mate van bodemdaling en het risico op aardbevingen. Hoofdstuk 1 (Samenvatting) geeft een overzicht van dit winningsplan en is bedoeld om de belangrijkste punten van het plan uit te leggen zonder technische details. Hoofdstuk 3 (Plaats van winning) en 4 (Boringen) geven meer informatie over de locaties, huidige en toekomstige putten, en mogelijke putstimulaties. Hoofdstuk 5 (Ondergrond) geeft een beschrijving van de ondergrond. In hoofdstuk 6 (Ontwikkelingsvooruitzichten) wordt ingegaan op de toekomstige productie en de ontwikkelingsplannen voor het Ternaard voorkomen.

De nog te verwachten bodemdaling door toekomstige productie wordt beschreven in hoofdstuk 7 (Bodemdaling). De bodemdaling wordt regelmatig gemonitord volgens een meetplan conform de geldende normen, onder toezicht van Staatstoezicht op de Mijnen (SodM). In het geval van Ternaard zal deze bodemdaling ook jaarlijks worden gemonitord door de Auditcommissie gaswinning onder de Waddenzee. Hoofdstuk 8 (Bodemtrilling) gaat verder in op de seismische risicoanalyse. De seismische risicoanalyse laat zien dat het Ternaard gasvoorkomen in de laagste seismische risicocategorie valt (categorie I).

NAM heeft het winningsplan zo bedoeld dat zij binnen de grenzen van het plan opereert als:

- a. de totale productie uit een veld niet uitkomt boven de maximale totale voorspelde productie in het "hoog scenario" van sectie 6.5 van dit winningsplan, onafhankelijk van welke putten of infrastructuur hierbij gebruikt wordt. Als voorzien wordt dat de cumulatieve productie uit een veld gaat uitkomen boven de cumulatieve productie in het "hoog scenario", zal NAM het winningsplan dienen aan te passen;
- b. de winning niet langer duurt dan de productieperiode in het "hoog scenario". Als NAM de winning langer wil voortzetten, zal een verzoek tot wijziging in het instemmingsbesluit moeten worden ingediend.
- c. de gemeten bodemdaling door gaswinning niet groter is dan voorspeld in hoofdstuk 7 van het winningsplan (inclusief de aangehouden onzekerheidsmarges). Als de bodemdaling door gaswinning groter blijkt (of groter lijkt te worden) dan voorspeld, zal NAM het winningsplan dienen aan te passen;
- d. het voorkomen in dit winningsplan in de risicocategorie blijft ingedeeld zoals in hoofdstuk 8 berekend. NAM zal het winningsplan dienen aan te passen als op basis van nieuwe gegevens of inzichten het seismisch risico van Ternaard groter blijkt te zijn.

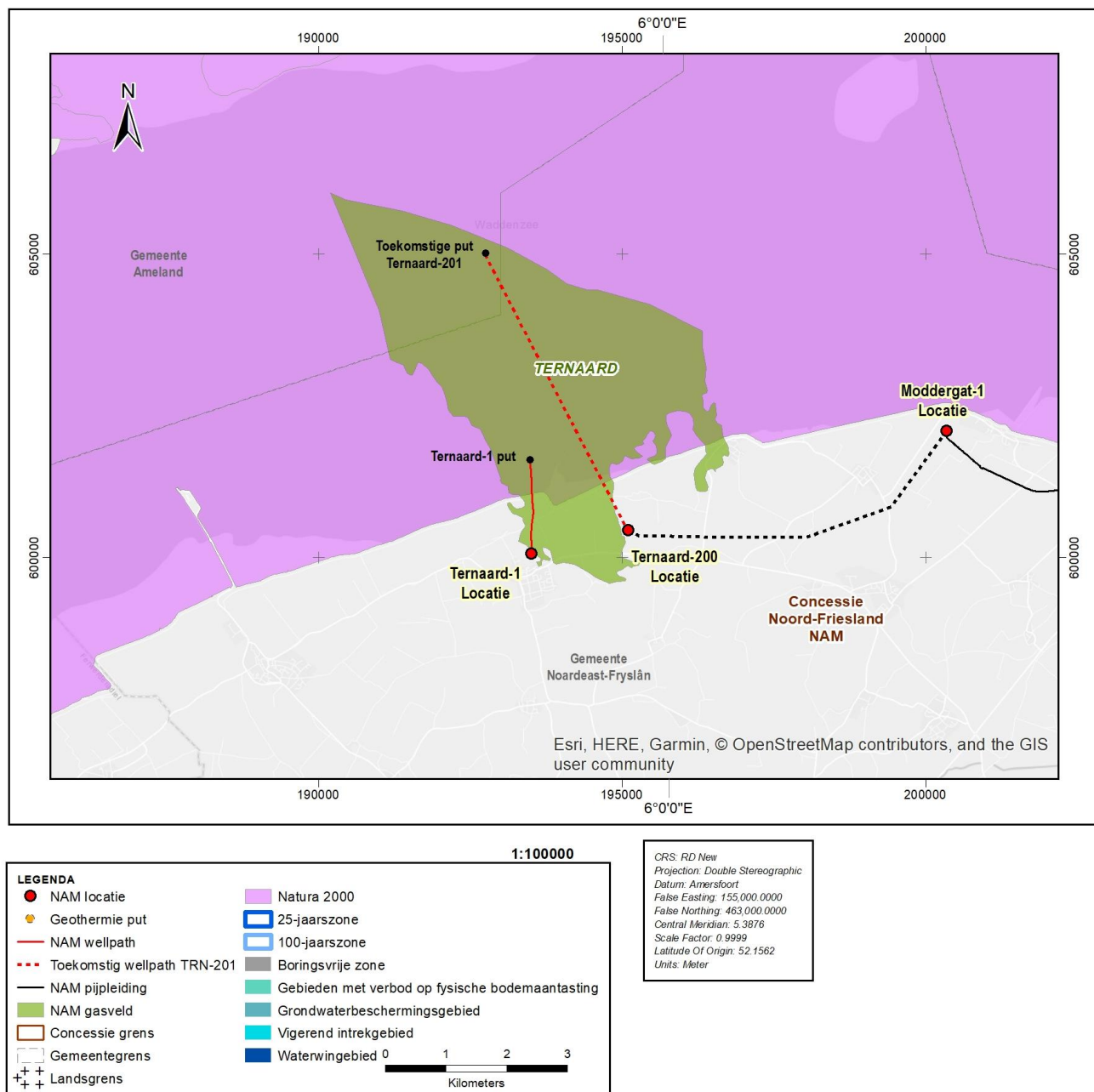
Eventuele toekomstige activiteiten op een locatie (bijvoorbeeld compressie) of in het reservoir (bijvoorbeeld extra putten) zullen de gangbare vergunningsprocedures volgen.

Een klein onderdeel van het winningsplan wordt apart toegezonden aan het Ministerie van Economische Zaken. Dit vertrouwelijke deel bevat bedrijfsgevoelige informatie over de verwachte productie- en investeringskosten. Omdat openbaarmaking de concurrentiepositie van NAM kan beïnvloeden is dit onderdeel niet openbaar.

### 3 Plaats van winning

#### 3.1 Productielocatie, put(ten) en voorkomen(s)

Het Ternaard gasveld zal vanaf een nieuwe locatie "Ternaard-200" door een nog te boren put geproduceerd worden. Het gasveld ligt in de provincie Fryslân onder de Waddenzee (een Natura 2000 gebied en Unesco Werelderfgoed). In Figuur 3-1 hieronder is een topografische kaart met de locatie van de voorkomens, de putten, de oppervlaktelocaties en pijpleidingen, de waterwin- en grondwaterbeschermingsgebieden en de beschermde natuurgebieden (inclusief Natura 2000) aangegeven. In dit gebied zijn geen geothermische putten.



Figuur 3-1 : Ternaard voorkomen en omgeving

Figuur 3-2 toont een luchtfoto van de puttenlocatie Ternaard-1. De nieuw aan te leggen locatie Ternaard-200 zal dezelfde afmetingen hebben (zie Figuur 3-3).



*Figuur 3-2 : De Ternaard-1 locatie*



*Figuur 3-3 : Artist's impression van de nieuwe Ternaard-200 locatie*

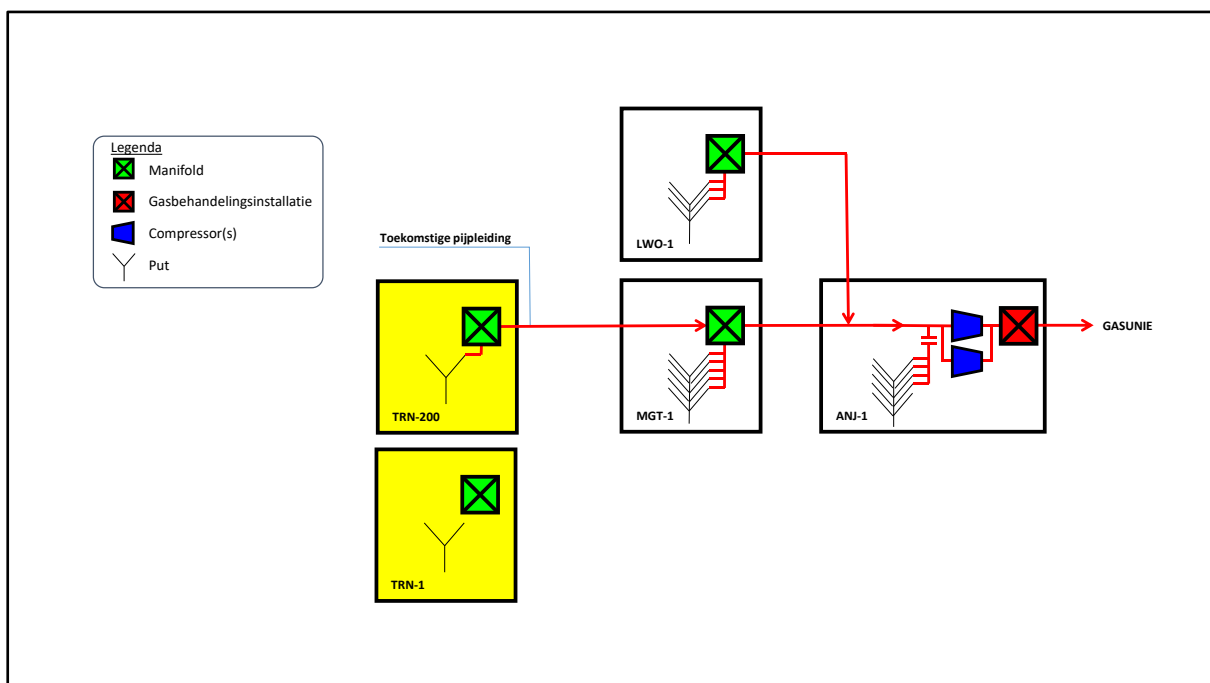


### 3.2 Schematische weergave gasbehandeling en afvoer van het gas

Figuur 3-4 geeft een schematische weergave van de gasstromen in het Anjum productiesysteem. Het gas uit het Ternaard gasveld wordt op de Ternaard-200 locatie (TRN-200) geproduceerd. Het gas gaat vervolgens per pijpleiding via de Moddergat-1 locatie (MGT-1) naar de Anjum-1 behandelingsinstallatie (ANJ-1). De figuur toont ook de oorspronkelijke Ternaard-1 locatie (TRN-1) en de Lauwersoog-1 locatie (LWO-1).

In de Anjum behandelingsinstallatie wordt het gas ontdaan van condensaat (een kleine hoeveelheid vloeibare koolwaterstoffen die meekomt met de gasproductie) en water dat eventueel meegeproduceerd is uit het reservoir. Deze vloeistoffen worden vanaf de locatie per vrachtwagen naar de NAM-installatie in Grijpskerk afgevoerd.

Na het comprimeren van de gasroom, wordt deze in de behandelingsinstallatie op specificatie gebracht en afgeleverd aan het Gasunie netwerk.



Figuur 3-4: Schema van de gasstromen in het Anjum systeem

## 4 Boringen

### 4.1 Inleiding: algemene beschrijving van een put

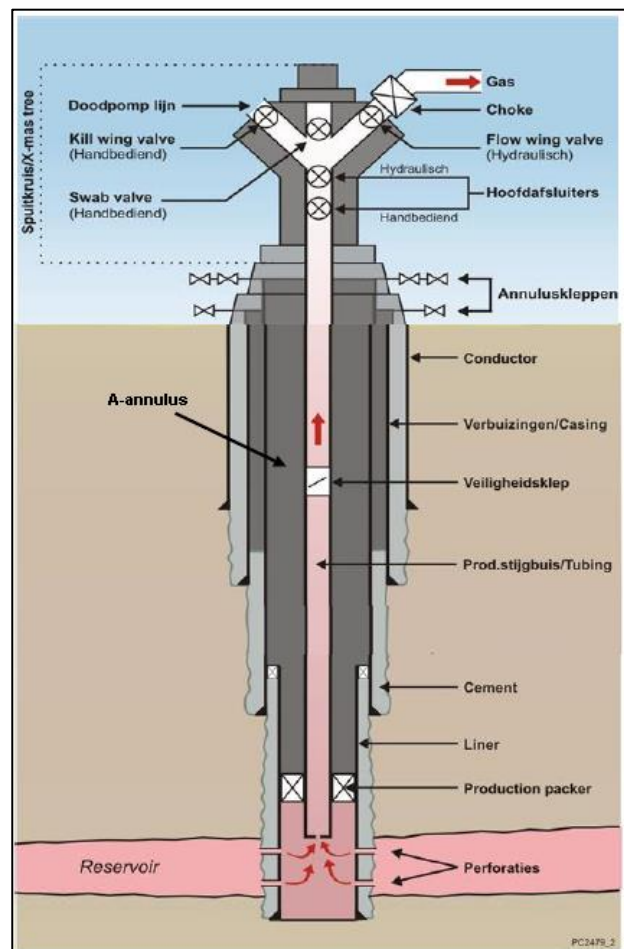
Figuur 4-1 geeft een schematische weergave van een gasproductie-put. Hieronder volgt een korte beschrijving van het boren van een put en de belangrijkste onderdelen.

Het boren van een put gebeurt met een boortoren. Voordat de boortoren op locatie wordt geplaatst wordt er een buis in de grond geheid (ongeveer 50 meter diep). De boortoren wordt daarna boven op deze geheide buis opgebouwd. Een boorpijp bestaat van onder naar boven uit een beitel, motor, stabilisatoren, meetapparatuur en boorpijpen tot naar de boortoren. Tijdens het boorproces wordt er gebruik gemaakt van boorvloeistof. Deze zorgt voor het aandrijven van de motor, het verwijderen van boorgruis en koeling van de boorpijp. Tevens levert deze boorvloeistof een hydrostatische druk in het boorgat om gasinstroom te voorkomen. Bovenop het boorgat staat een metalen installatie, bestaande uit verschillende afsluiters die tijdens het boorproces geactiveerd kunnen worden: de BOP ("blow out preventer").

Het boren van een put, door de verschillende grondlagen, gebeurt in secties waarvan de diameter afneemt met de diepte. Het boorgat wordt verstevigd door middel van een metalen buis: een 'casing'. De casing wordt in het boorgat vast gecementeerd waardoor een sterke en stabiele put ontstaat. Dit geeft bescherming en isolering van bovenliggende grondlagen en het grondwater. Het boren van secties en zetten van casing herhaald zich meerdere keren totdat het gasveld is bereikt.

Voor de gasproductie wordt een aparte productie-stijgbuis ('tubing') gebruikt. Deze verbuizing zorgt ervoor dat gas gecontroleerd omhoog kan stromen. De tubing is dus een buis binnen de casing en is zodoende een extra barrière voor het gas. De ruimte tussen de tubing en de casing wordt A-annulus genoemd. De druk in deze annulus wordt voortdurend gemonitord om de goede staat, de integriteit, van de put te kunnen waarborgen. Tevens heeft de tubing verschillende veiligheidskleppen. Als de tubing is geïnstalleerd, worden er perforaties gemaakt in de casing ter hoogte van het reservoir en kan het gas door de tubing omhoog stromen. Aan het oppervlakte is de 'X-mas tree' de verbinding tussen de tubing en de bovengrondse gasleiding. Deze 'tree' is zichtbaar op de locaties en bevat diverse kleppen die nodig zijn om de put te bedienen.

In de X-mas tree en in de installatie op de putlocatie zijn speciale meters aanwezig waarmee druk, temperatuur en gasstroomsnelheid continu gemeten kunnen worden.



Figuur 4-1: Schematische weergave van een generieke gasproductie-put. De tekening is niet op schaal (sterk verticaal gekrompen)

## 4.2 Overzicht boring(en) in voorkomen(s)

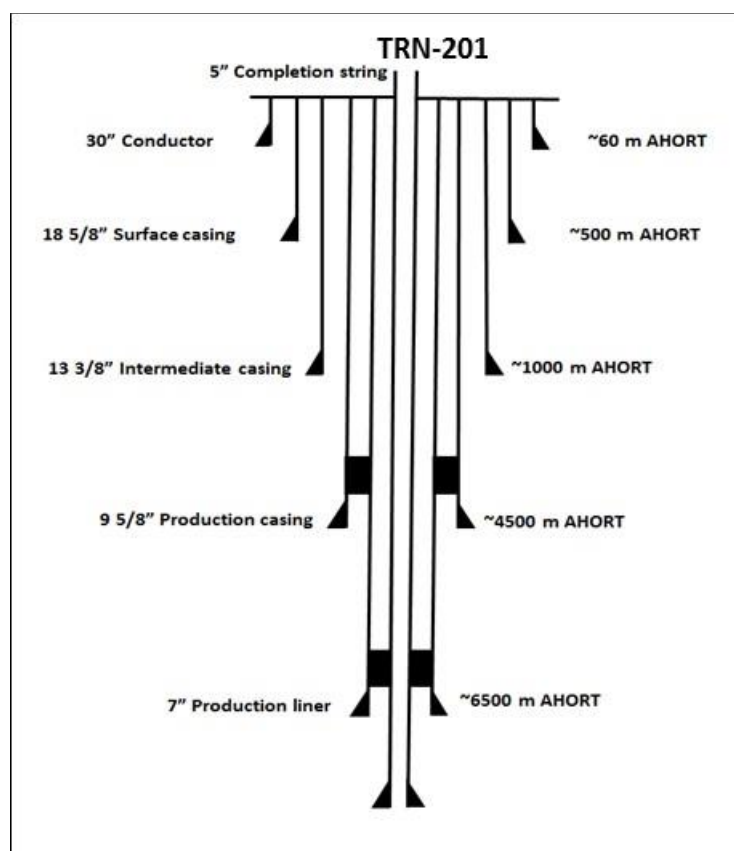
In Tabel 4-1 zijn de bestaande en geplande boringen voor het Ternaard voorkomen met verdere algemene informatie weergegeven. Het uiteindelijk aantal putten voor het Ternaard voorkomen is onzeker. De productiescenario's in dit winningsplan zijn gebaseerd op de geplande put TRN-201.

Tabel 4-1: Lijst van boringen per voorkomen

Voorkomen	NAM Locatie	Putnaam	Formatie	Putvorm	Putstatus
Ternaard	Ternaard-1	TRN-1	Slochteren	gedevieerd	gesuspendeerd
Ternaard	Ternaard-200	TRN-201	Slochteren	gedevieerd	gepland

## 4.3 Schematische voorstelling putverbuizing(en)

Hieronder is, schematisch, de putverbuizing van de TRN-201 boring weergegeven. De put zal produceren uit de Slochteren reservoirformatie en zal op een diepte tussen de 3422 m TVDNAP en 3665 m TVDNAP door perforaties verbonden zijn met het gashoudende reservoir.



Figuur 4-2: Putverbuizing voor de geplande put TRN-201. Dieptes zijn aangegeven langs de put (m AHORT). Aangezien putten vaak gedevieerd zijn geboord, is de verticale diepte t.o.v. NAP (m TVDNAP) altijd minder dan de 'along hole rotary table' diepte (m AHORT)

## 4.4 Putstimulatie

Het reservoirgesteente van het Ternaard voorkomen is naar alle waarschijnlijkheid goed doorlaatbaar. Hierdoor is er *geen* stimulatie van het reservoir nodig (hydraulische stimulatie of reservoirstimulatie door fracken met zuur).

## **5 Ondergrond**

### **5.1 Inleiding: hoe worden de ondergrond-eigenschappen gemeten**

Voor het in beeld brengen van de ondergrond worden een groot aantal metingen uitgevoerd en verschillende modellen gemaakt die helpen om het voorkomen beter te begrijpen. Deze informatie wordt gebruikt om een voorspelling te kunnen maken over hoeveel gas aanwezig is en hoeveel hiervan geproduceerd kan worden. Doordat de vorm van het veld alleen uit indirecte metingen kan worden vastgesteld, en doordat gesteente-eigenschappen alleen worden gemeten in en vlakbij de putten, bestaat er een onzekerheid over de grootte en de andere eigenschappen van het voorkomen. Voorspellingen zullen daarom altijd een onzekerheidsmarge hebben. De grootte van de onzekerheidsmarge verschilt van parameter tot parameter, en zal dus een verschillende impact op verschillende voorspellingen hebben.

De vorm en diepte van het veld wordt bepaald uit de analyse van geluidsgolven (“seismiek”). De seismiek heeft altijd een zekere mate van ruis. Bovendien zijn de voortplantingssnelheden van geluid in de lagen boven het voorkomen onzeker. De exacte diepte van het voorkomen is alleen bekend op een klein aantal plaatsen waar een put het reservoir binnengaat. Het gevolg daarvan is dat er onzekerheid is over de vorm en exacte diepte van het veld buiten de putten.

De fysische eigenschappen van gesteente, zoals dichtheid, elektrische weerstand en geluidssnelheid, zijn belangrijke parameters voor het bepalen van gesteente-eigenschappen als porositeit, saturatie in de poriën en doorlaatbaarheid van het gesteente voor stroming (permeabiliteit). Deze fysische eigenschappen worden bepaald door middel van metingen die verkregen zijn door na het boren meetinstrumenten in de boorgaten te laten zakken.

Uit deze boorgat-metingen worden de eigenschappen berekend van het gesteente rond de boorgaten. De eigenschappen van de gesteenten verder weg van de boorgaten worden verkregen door correlatie tussen de verschillende boorgaten en met behulp van geologisch modellen van de ondergrond. Inherent hieraan zijn onzekerheden, omdat de eigenschappen van de gesteenten niet overal hetzelfde zijn.

Diverse aspecten van de winning, zoals de hoeveelheid gas, de mogelijke productiesnelheid en het verloop van productie in de tijd, met de daarbij behorende drukdaling, bevatten daarom onzekerheid. De voorspellingen voor deze aspecten zijn daarom van onzekerheidsmarges voorzien.

### **5.2 Geologie en gesteente-eigenschappen van het voorkomen**

Hieronder zullen de geologische formaties uiteengezet worden. Voor een volledige beschrijving met nadere uitwerking van gebruikte begrippen wordt verwezen naar geologische standaardliteratuur.<sup>1</sup>

Tijdens de geologische geschiedenis (enkele honderden miljoenen jaren) worden lagen die organische bestanddelen bevatten soms diep begraven. Dat kan leiden tot het genereren van gas of olie. De olie of het gas dat daarna naar boven stroomt (‘migreert’) komt terecht in gesteente dat is afgesloten met een afdekkende laag waar zich dan het olie- of gasreservoir vormt.

De gesteentelagen in de ondergrond zijn in het algemeen over grote afstanden aanwezig. Door bewegingen van aardplaten en botsingen tussen aardplaten in de geologische geschiedenis zijn er

---

<sup>1</sup> Geology of the Netherlands, Wong et al. (eds), Royal Netherlands Academy of Arts and Sciences, 2007 / Amsterdam University Press, 2007

golvingen ontstaan in de lagen. Omdat gesteente niet goed buigzaam is leidt dit tot breuken. Het resultaat is dat het gesteente vaak uit licht schuin-liggende breukblokken bestaat.

Tabel 5-1: Geologische formaties.

Ouderdom	Groep	Formatie	Member	Afkorting	
Tertiair	North Sea (NS)	Upper		NS	
		Mid	Rupel Sand	NM	
			Ieper Clay	NLFFY	<i>Impermeable</i>
			Basal Tuffite	NLFFT	
		Landen Clay	NLLFC	<i>Impermeable</i>	
Boven Krijt	Chalk (CK)	Ommelanden		CK	
Onder Krijt	Rijnland (KN)	Vlieland		KNN	
Onder Triassic	Lower Trias (RB)	Lower Buntsandstein		RB	
Boven Perm	Zechstein (ZEZ)	Z2 & 3 & 4	Undifferentiated Salt	ZEZSA	<i>Impermeable</i>
		Z2	Z2 Anhydrite	ZEZ2A	
			Z2 Carbonate	ZEZ2C	
		Z1	Z1 Upper Anhydrite	ZEZ1T	<i>Impermeable</i>
			Z1 Halite	ZEZ1H	
			Z1 Anhydrite	ZEZ1W	
			Z1 Carbonate	ZEZ1C	
		Coppershale	ZEZ1K		
Onder Perm	Rotliegend (RO)		Ten Boer Claystone	ROCLT	
			Upper Slochteren	ROSLU	<i>Reservoir</i>
			Ameland Claystone	ROCLA	
			Lower Slochteren	ROSL	<i>Reservoir</i>
Carboon	Limburg (DC)			DC	<i>Gas Source</i>

### Reservoir Formatie

De Slochteren formatie (Rotliegend groep, lichtpaars in Tabel 5-1) is het gashoudend reservoir voor het Ternaard voorkomen. Het Slochteren heeft zich ontwikkeld tijdens het Perm tijdperk (Rotliegend Groep). Het Rotliegend wordt opgedeeld in een Silverpit formatie en een Slochteren formatie. De eerste is een kleilaag (Ten Boer Claystone) waaruit, in dit gebied, geen gas geproduceerd wordt. Het Slochteren bestaat uit een zogenaamd Upper en Lower Slochteren. In dit gebied wordt alleen uit het Upper Slochteren geproduceerd. Naar verwachting heeft het zandsteen in dit reservoir een redelijke goede reservoir kwaliteit en doorlatendheid. De Rotliegend groep wordt afgedekt door de zoutsteen uit de Zechstein groep die een impermeabele afsluiting vormt en het gas in het reservoir insluit.

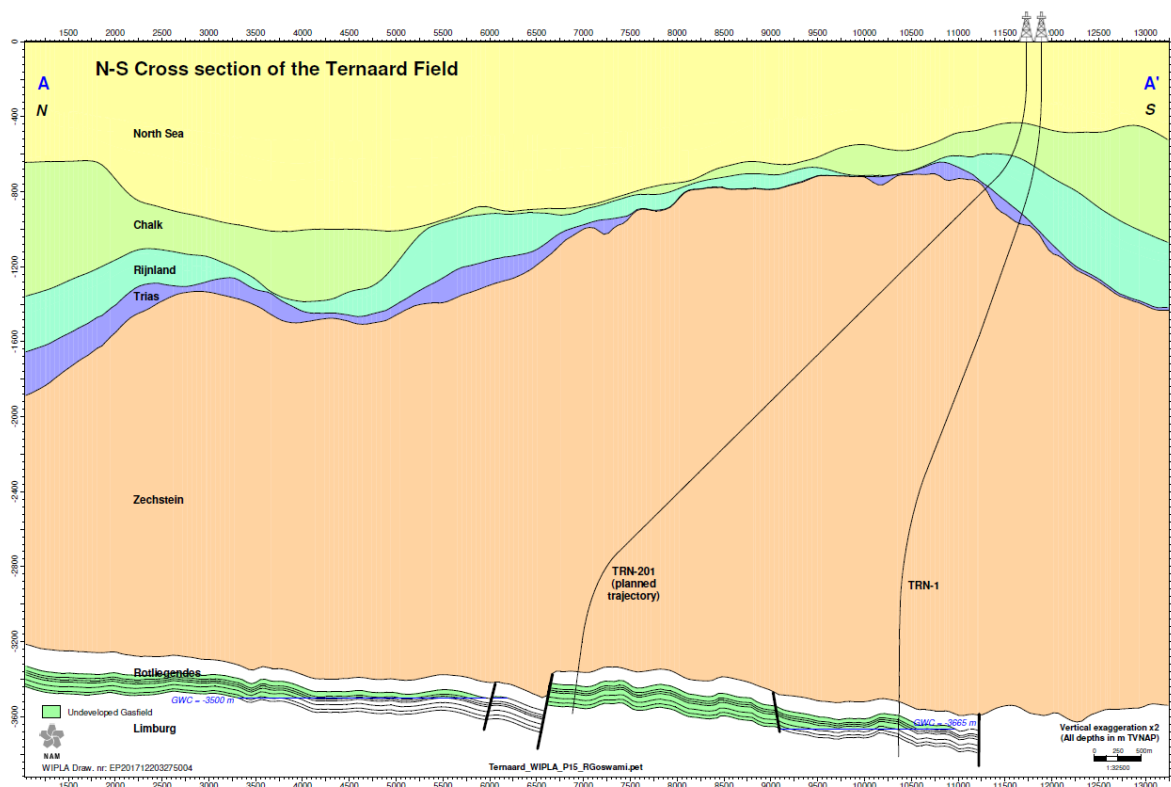
### Bron Koolwaterstoffen

Het gas in het Ternaard Rotliegend voorkomen is gevormd in de onderliggende koollagen van het Carboon. Omdat dit diep is begraven, onder voldoende druk en temperatuur, zijn deze organische elementen gas gaan genereren. Omdat gas lichter is dan water, is dit gas in verloop van tijd omhoog gemigreerd langs breuken, door verticaal permeabele lagen en natuurlijke scheurtjes naar de bovenliggende zandsteenlagen van Perm ouderdom (Rotliegend reservoir). Het gas zal zich altijd verzamelen in de hoogste plaatsen van het reservoir omdat het lichter dan water is. Boringen zullen dan ook op zulke plaatsen gericht zijn.

### Structuur

Het Ternaard voorkomen is een structuur die begrensd wordt door breuken. De randbreuk aan de noordkant vormt de grens met het Ameland veld. In het oosten vormt de randbreuk de begrenzing met het Nes gasveld. Het Ternaard voorkomen wordt in het noorden en langs de zuidelijke en westelijke randbreuken afgesloten door de ondoorlatende zoutsteen van het Zechstein.

Binnen de structuur van het Ternaard voorkomen komen meerdere kleine breuken voor die meer of minder doorlaatbaar kunnen zijn. Vanuit omliggende velden is bekend dat noord-zuid lopende breuken een iets grotere kans op doorlaatbaarheid hebben dan oost-west lopende breuken. Er is ook een mogelijkheid dat al deze breuken niet afsluitend zijn, zodat drukcommunicatie over het hele reservoir mogelijk is. Dit zou veroorzaakt kunnen worden als de reservoirparameters zoals permeabiliteit, porositeit en gassaturatie beter dan gemiddeld zijn. Dit is echter nog onzeker, omdat het gasveld nog niet langdurig getest is.



Figuur 5-1: Dwarsdoorsnede van maaiveld tot aan het reservoir over het Ternaard voorkomen.

### Reservoir Eigenschappen

In Tabel 5-5-2 is een bandbreedte aangegeven voor de gemiddelde gesteente-eigenschappen van het Slochteren reservoirgesteente die in het Ternaard voorkomen verwacht worden. Er is een significante onzekerheid op deze eigenschappen omdat ze in dit gebied sterk variëren.

Tabel 5-5-2: Verwachte gemiddelde fractie van net reservoir in de formatie (Net-to-Gross), porositeit en permeabiliteit van het zand in het Ternaard voorkomen.

Producterende formatie	Gemiddelde Net-to-Gross (%)	Gemiddelde porositeit (%)	Gemiddelde Permeabiliteit (mD)
Upper Slochteren	90 – 98	12,9 – 15,5	0,4 - 20

In bijlage C zijn schematische doorsneden en geologische kaarten van het Ternaard voorkomen weergegeven.

#### 5.1 Gesteente-eigenschappen van de bovenliggende lagen

Boven de Slochteren formatie bevindt zich nog ongeveer 3400 m gesteente. Dat bestaat uit de volgende formaties van boven naar beneden (zie ook Tabel 5-1 en Figuur 5-1):

## Tertiair

- Boven-Noordzee: Kleilagen (impermeabel) afgewisseld met zandlagen. Deze formatie beslaat de bovenste 300 - 400 m. Grondwater bevindt zich in deze laag.
- Onder-Noordzee: Kleilagen (impermeabel) afgewisseld met (permeabele) zandlagen.

## Krijt

- Ommelanden: Krijtsteen Permeabel
- Vlieland: Kleilagen afgewisseld met zandlagen Op plaatsen permeabel.

## Trias

- BuntZandsteen Siltsteen Op plaatsen permeabel

## Boven Perm

- Zout: Haliet (zout) Impermeabel
- Anhydriet: Anhydriet Impermeabel
- Carbonaat: Carbonaat Op plaatsen permeabel

## Onder Perm

- Ten Boer: Kleisteen Impermeabel

Voor het Ternaard reservoir geldt dus dat deze op grote diepte ligt en dat zich een groot aantal impermeabele en continue lagen tussen het voorkomen en het oppervlak bevinden.

## 5.2 Andere gebruiksmogelijkheden van de ondergrond

In Nederland vindt waterwinning plaats in de bovenste lagen van de Boven-Noordzee formatie, boven de grens waar het zoete grondwater overgaat tot zoutwater. Deze grens ligt meestal op ongeveer 20 tot 150m diepte. Zoutwater is aanwezig in de ondergrond tot aan de basis van het sedimentair bassin (>5km in Nederland), en vaak ook verder. In het gebied rondom Ternaard is geen sprake van waterwinning (zie hoofdstuk 3).

Geothermische projecten kunnen gescheiden worden in "bodemwarmte" en "aardwarmte". Bodemwarmte haalt men tot enkele honderden meters diep uit de bodem en wordt gebruikt voor verwarming van woningen, gebouwen en kassen. Dit soort projecten wordt veel toegepast in Nederland. Omdat het boren zich beperkt tot de bovenste ~300m is er geen interactie met gaswinning. Aardwarmte maakt gebruik van energie diep uit de aarde en putten moeten dieper geboord worden (meer dan 2 kilometer diep, afhankelijk van de locatie). SodM is toezichthouder op zowel gaswinning als geothermie, waardoor eventuele interactie voorkomen zal worden. Zoutwinning vindt plaats in Nederland vanuit verschillende lagen. Ook in de provincie Fryslân wordt zout gewonnen, maar niet in de nabijheid van Ternaard. Gasopslag of ander gebruik van de diepe ondergrond is niet voorzien in dit gebied.

## 6 Ontwikkelingsvooruitzichten

### 6.1 Inleiding

Het Ternaard gasveld ligt in de winningsvergunning Noord-Friesland. In 1991 is de put TRN-1 geboord en getest. Deze put is niet in productie genomen vanwege de geringe opbrengst uit het voorkomen (hoogstwaarschijnlijk veroorzaakt door de locatie van de put in een deel van het veld met slechtere reservoir eigenschappen). Deze put is gesuspendeerd op dit moment.

### 6.2 Historische Productie

Er is geen historische productie uit het Ternaard voorkomen. De put TRN-1 is niet in gebruik genomen.

### 6.3 Onzekerheden

De onzekerheid van toekomstige productie van het Ternaard voorkomen is afhankelijk van verschillende factoren:

- De hoeveelheid gas die verbonden is met de toekomstige put(ten);
- De kwaliteit van het reservoir in de nog te boren put(ten);
- De mate waarin waterproductie de gasproductie zal hinderen of stoppen.

Deze onzekerheden kunnen afnemen door monitoring van reservoirgedrag (met name druk) en door gegevens uit de toekomstige boring(en).

### 6.4 Winningsstrategie & reservoir management

De winning zal plaatsvinden doordat gas naar de put stroomt als gevolg van de aanwezige reservoirdruk. Er wordt geen injectie toegepast. Het gas wordt zodanig gewonnen dat de faciliteiten optimaal worden benut.

In navolgend overzicht (Tabel 6-1) wordt de verwachte totale gaswinning gegeven. De “statische GIIP” (*gas initially in place*) geeft de geschatte hoeveelheid gas die voor start van productie in het reservoir aanwezig is. Het “winningspercentage” in de laatste twee kolommen in Tabel 6-1 is gedefinieerd als het percentage van het oorspronkelijke aanwezige gas dat geproduceerd wordt. De grote variatie in winningspercentage is voornamelijk een gevolg van de variatie in gesteente-eigenschappen waaruit geproduceerd wordt, waaronder de hoeveelheid gas die verbonden is met de toekomstige put en de kwaliteit van het reservoir waarin deze geboord worden. Naast de verwachte winning volgens het midden scenario is er ook een laag scenario en een hoog scenario gedefinieerd zoals beschreven in sectie 6.5.

Tabel 6-1 : Verwachte winning.

Voorkomen	Statische GIIP (blok-2,3,4) [miljoen Nm <sup>3</sup> ]	Totale winning tot eind 2018 [miljoen Nm <sup>3</sup> ]	Verwachte totale winning M. scenario [miljoen Nm <sup>3</sup> ]	Verwachte totale winning H. scenario [miljoen Nm <sup>3</sup> ]	Verwacht winningspercentage M. scenario	Verwacht winningspercentage H. scenario
Ternaard	25000	0	4800	7570	19%	30%



### 6.5 Winingssnelheid (hoeveelheden per voorkomen/per jaar)

Voor het voorkomen zijn drie te verwachten productieprofielen gegeven (laag, midden, hoog) om de onzekerheid in tijd en volume aan te geven. Tabel 6-2 geeft de verwachte productie uit het Ternaard voorkomen, grafisch weergegeven in Figuur 6-2. Opgemerkt dient te worden dat de gegeven getallen jaargemiddelden zijn. Aangenomen wordt dat de productie ophoudt wanneer de minimale stroomsnelheid van een put bereikt wordt.

Het Ternaard reservoirgesteente is in verschillende blokken verdeeld. Deze blokken zijn begrensd door breuken die al dan niet doorlatend zijn voor gas. In Figuur 6-1 zijn deze blokken schematisch weergegeven met in rood het ondergrondse doel van de Ternaard boring. De productiescenario's zijn afhankelijk van de doorlaatbaarheid van deze interne breuken in het Ternaard gasveld. De reservoir eigenschappen van blok-3 worden dusdanig ingeschat dat hier de beste kans is op goede toestroming van het gas naar de put. Blok-5 is reeds aangeboord door de eerste Ternaard put (TRN-1).



Figuur 6-1 : Schematische weergave van de blokken in het Ternaard gasveld. In rood het ondergrondse doel van de Ternaard-201 boring.

Het laag scenario (L) gaat uit van één productieput (TRN-201), waarvoor door afsluitende breuken in het veld slechts een beperkt gedeelte (blok-3) van de statische GIIP van het voorkomen toegankelijk is en waarbij de permeabiliteit van het gesteente vergelijkbaar is met de permeabiliteit in de TRN-1 put.

Het midden scenario (M) gaat uit van een betere reservoirkwaliteit zoals verwacht op basis van data uit omliggende velden en putten. In dit scenario produceert de put alleen het gasvolume dat aanwezig is in het breukblok dat wordt aangeboord (i.e. blok-3). De druk in dit blok zal geleidelijk dalen als gevolg van productie, terwijl de druk in de andere blokken niet zal dalen.

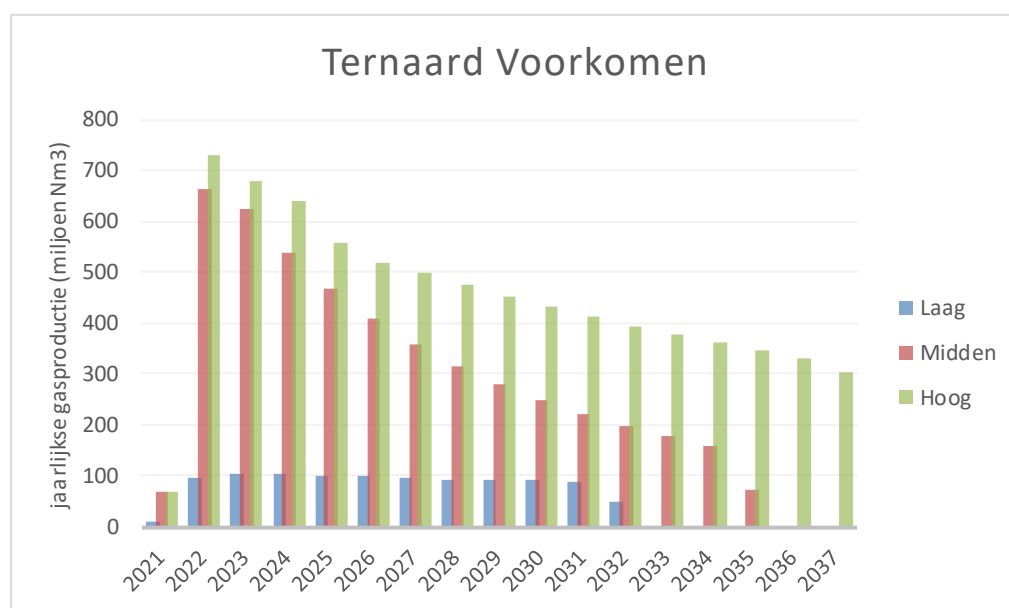
Het hoog scenario (H) gaat uit van een groter volume, dat mogelijk gewonnen kan worden indien de breuken tussen het aangeboorde blok (blok-3) en de aangrenzende blokken ten westen (blok-2) en ten oosten (blok-4) doorlatend zijn. Omdat in dit scenario uit een groter verbonden volume wordt geproduceerd, is de drukdaling in het reservoir als gevolg van productie kleiner dan voor het midden scenario waarbij alleen uit blok 3 wordt geproduceerd. Mogelijk zijn er voor dit scenario meerdere putten nodig.

Het “breuken open” scenario is een extra scenario speciaal voor bodemdaling berekening. In dit scenario wordt aangenomen dat alle breukblokken gelijkmatig depletieren als gevolg van productie volgens het hoog scenario productieprofiel.

In Bijlage A, hoofdstuk 11, wordt de verwachte bodemdaling voor de midden-, hoge- en “breuken open” productiescenario's berekend, waarbij wordt aangetoond dat de bodemdaling binnen de gebruiksruimte van de Waddenzee blijft. Jaarlijkse reservoirdrukmetingen, onderdeel van de Hand-aan-de-Kraan procedure (zie hoofdstuk 7), kunnen uitwijzen welk scenario van toepassing is. Dit staat beschreven in sectie 11.6. Het is niet uitgesloten dat er meer dan 1 put nodig is voor het produceren van de genoemde volumes.

Tabel 6-2: Verwachte productie uit het Ternaard voorkomen

Verwachte jaarlijkse productie [miljoen Nm <sup>3</sup> ]	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037
<b>Laag</b>	9	98	105	102	100	99	96	94	92	91	89	51	0	0	0	0	0
<b>Midden</b>	69	663	626	540	468	410	358	316	281	250	222	199	177	158	72	0	0
<b>Hoog</b>	69	731	678	638	558	519	499	475	452	433	412	394	377	361	345	330	302



Figuur 6-2: Jaarlijkse gasproductie uit Ternaard veld in miljoen Nm<sup>3</sup>.

## 6.6 Duur van de winning

Het laatste jaar van de productie volgens het hoog productiescenario is 2037. Voor het winningsplan Blija is besloten om vóór 2035 met het regionale bestuur en het Ministerie van EZK te spreken over voortzetting van de winning na 2035. Ook voor het winningsplan Moddergat-Lauwersoog-Vierhuizen is een wijziging instemmingsbesluit nodig om productie na 2035 voort te zetten. NAM verzoekt ook in het instemmingsbesluit voor Ternaard een dergelijke beperking van de productietermijn tot einde 2035.

Mogelijke wijzigingen van de gebruiksruimte en de belasting, veroorzaakt door de bodemdaling en/of zeespiegelstijging in de Waddenzee in de toekomst, kunnen de duur van de winning beïnvloeden.

## 6.7 Jaarlijks eigengebruik bij winning

De Anjum productielocatie gebruikt reeds bestaande gasproductie om in eigengebruik te voorzien. Ternaard winning zal geen extra eigengebruik veroorzaken.

## 6.8 Jaarlijks bij winning afgeblazen/afgefakkelde koolwaterstoffen

Er zullen geen koolwaterstoffen worden afgeblazen of afgefakkeld op de Ternaard-200 productielocatie tijdens de reguliere productie. Door Ternaard winning zal geen extra gas worden afgeblazen of afgefakkeld op de Anjum productielocatie.

## 6.9 Stoffen die jaarlijks worden mee geproduceerd

Er is nog geen condensaat-analyse beschikbaar voor Ternaard. De condensaat gegevens zijn daarom gebaseerd op de condensaatmetingen uit het naastgelegen Nes gasveld.

Gaseigenschap	
Initiële gas-condensaat ratio (m <sup>3</sup> /mln Nm <sup>3</sup> )	4
Condensaatdichtheid (kg/m <sup>3</sup> )	795
Relatieve gasdichtheid (lucht=1)	0,64
GHV (MJ/Nm <sup>3</sup> )	37
Wobbe (MJ/Nm <sup>3</sup> )	47
C <sub>1</sub> (mol%)	84
CO <sub>2</sub> (mol%)	0,7
H <sub>2</sub> S (mol%)	0
N <sub>2</sub> (mol%)	10

## 6.10 Jaarlijks bij winning in de ondergrond terug te brengen delfstoffen en andere stoffen

Productiewater wordt samen met het gas van de Ternaard locatie per pijpleiding vervoerd naar de Anjum locatie. Van de Anjum locatie wordt het water per vrachtwagen vervoerd naar de Grijpskerk locatie vanwaar het verder wordt getransporteerd, per pijpleiding, naar de locatie Borgsweer. Op locatie Borgsweer wordt het water via een bestaande injectieput teruggepompt in de diepe ondergrond. De waterinjectie op Borgsweer is vergund middels een Wabo vergunning met kenmerk DGETMEM/12365332 (gedateerd 26-11-2012).

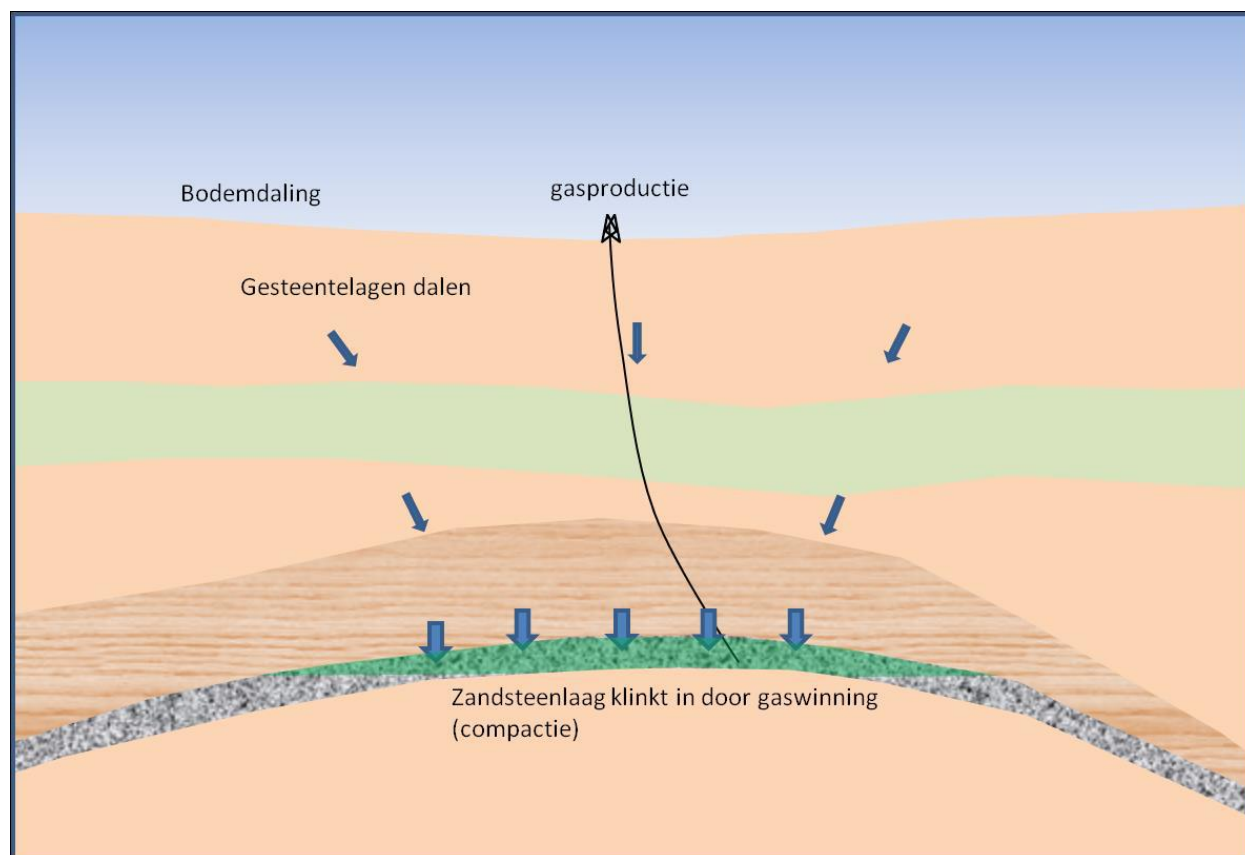
## 7 Bodemdaling

De bodemdalingsprognose laat zien dat de te verwachten bodemdaling boven het Ternaard gasveld van begin tot einde productie ongeveer 6 cm bedraagt in het diepste punt van de bodemdalingsskom. Dit diepste punt ligt onder het wad, waar de ondergrondse bodemdaling geheel gecompenseerd wordt door de natuurlijke aanvoer van zand en slib.

### 7.1 Inleiding: hoe komt bodemdaling tot stand

#### Bodemdaling door gaswinning

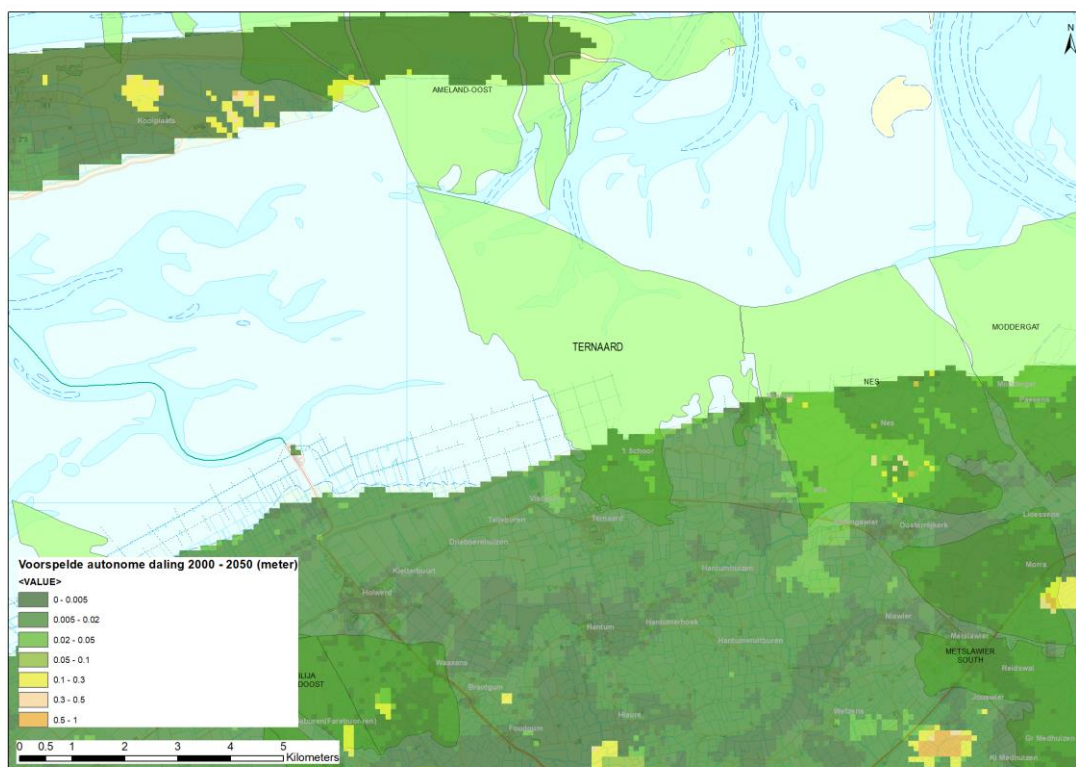
In een gasveld veroorzaakt de winning van aardgas een vermindering van de poriëndruk in het reservoir. Daarbij wordt het gesteente langzaam iets samengedrukt onder het gewicht van de bovenliggende lagen. Figuur 7-1 illustreert dit proces. Deze zogenaamde compactie van het reservoir hangt af van verschillende factoren zoals de materiaaleigenschappen van het reservoirgesteente, de grootte van de drukkaling en de dikte van het depleterende gasveld. De mate waarin de compactie wordt omgezet in bodemdaling op maaiveld-niveau is onder meer afhankelijk van de diepte en omvang van het depleterende gasveld. Bij een zeer groot gasveld als Groningen zal de bodemdaling boven het centrum van het veld vrijwel gelijk zijn aan de ondergrondse compactie. Bij kleinere velden zal de maximale bodemdaling aan het aardoppervlak slechts een fractie van de compactie van het reservoirgesteente bedragen. Bodemdaling kan gezien worden als een ondiepe schotel met een doorsnee van enkele kilometers. Deze bodemdalingsschotel van een veld beslaat een groter oppervlak dan het veld zelf. Wanneer gasvelden dicht bij elkaar liggen kunnen de bodemdalingsschotels elkaar overlappen.



Figuur 7-1: Drukdaling in het reservoir kan resulteren in bodemdaling. (Let op: figuur is niet op schaal).

## Bodemdaling door natuurlijke processen

Naast de bodemdaling ten gevolge van gas- of oliewinning zijn er ook andere oorzaken die leiden tot bodemdaling, samengevat onder de term autonome bodemdaling. Dit kan natuurlijke bodemdaling zijn of bodemdaling door drainage van veen- en kleigebieden. Veenoxidatie en veen/klei inklinking zijn de twee meest voorkomende oorzaken van autonome bodemdaling. De mate van autonome daling kan worden bepaald aan de hand van metingen en/of modelvoorspellingen. In deze modellen wordt oxidatie en inklinking berekend waarbij gebruik wordt gemaakt van laboratoriumgegevens en het voorkomen van bepaalde grondsoorten in de ondiepe ondergrond. Tegelijkertijd worden deze modellen gevalideerd en gekalibreerd door bodemdalingsmetingen. Voorspellingen van autonome bodemdaling gaan uit van bepaalde grondwaterscenario's. Dit zijn aannames over het toekomstig waterpeilbeheer door de waterschappen. Figuur 7-2 toont een voorspelling voor de autonome daling in het betreffende gebied voor de periode 2000-2050 (Deltares en PBL, 2011<sup>2</sup>, Hopman et al. 2013<sup>3</sup>). De voorspelling geeft een eerste orde schatting van de autonome daling wanneer het grondwaterpeil meebeweegt met de bodemdaling in deze periode. Voor het Waddenzeegebied zijn deze berekeningen niet uitgevoerd. Geconcludeerd wordt dat er in dit gebied autonome bodemdaling plaatsvindt in de periode 2000-2050 tot een maximum van 10 cm.



*Figuur 7-2: Maaiveld daling (m) over een periode van 50 jaar bij handhaving van huidige drooglegging bij huidig klimaat. De waarden op deze kaart geven slechts een eerste orde schatting van de mogelijke autonome daling. NB de kaart heeft een witte ondergrond voor het Waddenzeegebied omdat voor dit gebied geen modeluitkomsten zijn gegenereerd.*

<sup>2</sup> Deltares en PBL, 2011, Deltascenario's Verkenning van mogelijke fysieke en sociaaleconomische ontwikkelingen in de 21ste eeuw op basis van KNMI'06 en WLO-scenario's, voor gebruik in het Deltaprogramma 2011 – 2012, Deltares rapport 1205747-000

<sup>3</sup> Victor Hopman, Ger de Lange, Laura Vonhogen, Pauline Kruiver, Freek van Leijen, Raluca Ianoshi, Report on pilot service Rhine-Meuse Delta, Subcoast report D3.2.3, May 2013

## 7.2 Bodemdalingsmodel & historische bodemdaling

De bodemdaling door gaswinning wordt berekend met behulp van informatie van het gasveld, zoals dikte, drukdaling, grootte en de compressibiliteit of samendrukbaarheid van het gesteente (zie inleiding). Meer specifiek wordt de compactie en bodemdaling voor Ternaard berekend volgens het geomechanische model dat ook gebruikt is in de Long term Subsidence studie<sup>4</sup>. Een gedetailleerde beschrijving van de toepassing van dit model op Ternaard is terug te vinden in Bijlage A.

Voor een nieuw veld wordt een schatting voor de compressibiliteit gemaakt aan de hand van gegevens uit omliggende, vergelijkbare velden die al enige tijd produceren. Naarmate er meetbare bodemdaling door gaswinning optreedt, kunnen de geschatte waarden voor compressibiliteit verfijnd worden door middel van kalibratie van de bodemdalingsmodellen aan de metingen. Voor de velden in het Waddengebied wordt een dergelijke kalibratie elk jaar opnieuw uitgevoerd volgens een Meet- en Regelcyclus<sup>5</sup>. De bodemdalingmetingen in het gebied rond Ternaard in de periode 2006 – 2018 zijn weergegeven in Figuur 7-3, en vergeleken met de resultaten van de bodemdalingsmodellen uit de Meet- en Regelcyclus.

Uit de omliggende velden, zoals Ameland-Oost, Waddenvelden en Anjum, is door de lange productiehistorie en vele metingen goed inzicht verkregen over de compactie. De compactiemodellen van deze velden zijn nauwkeurig gekalibreerd aan de geodetische data. Het reservoirgesteente van deze velden is vergelijkbaar met het reservoirgesteente van het Ternaard veld, maar het is op dit moment niet te bepalen of de compactiewaarden dichter bij de Ameland waarden liggen of dichter bij de Waddenvelden of Anjum waarden. De waarden voor Ameland zijn ongeveer 2 keer hoger dan de waarden van Waddenvelden en Anjum.

In de M&R-cyclus over 2018 zijn verschillende waarden bepaald voor de parameters die gebruikt worden in de bodemdalingsmodellen die de onzekerheid in de bodemdalingsprognose beschrijven. Voor Ternaard zijn deze negen parametersets overgenomen, waarbij er bodemdalingsscenario's zijn gemaakt voor drie reservoirscenario's (in totaal 27 bodemdalingsscenario's). De parameterwaarden die het dichtst bij het gewogen gemiddelde van de belasting<sup>6</sup> liggen, volgens de M&R over 2018, zijn gebruikt als invoer voor het midden bodemdalingsscenario in Ternaard. Hierbij is ook rekening gehouden met een mogelijk na-ijl effect van de bodemdaling. Meer uitleg hierover is terug te vinden in Bijlage A.

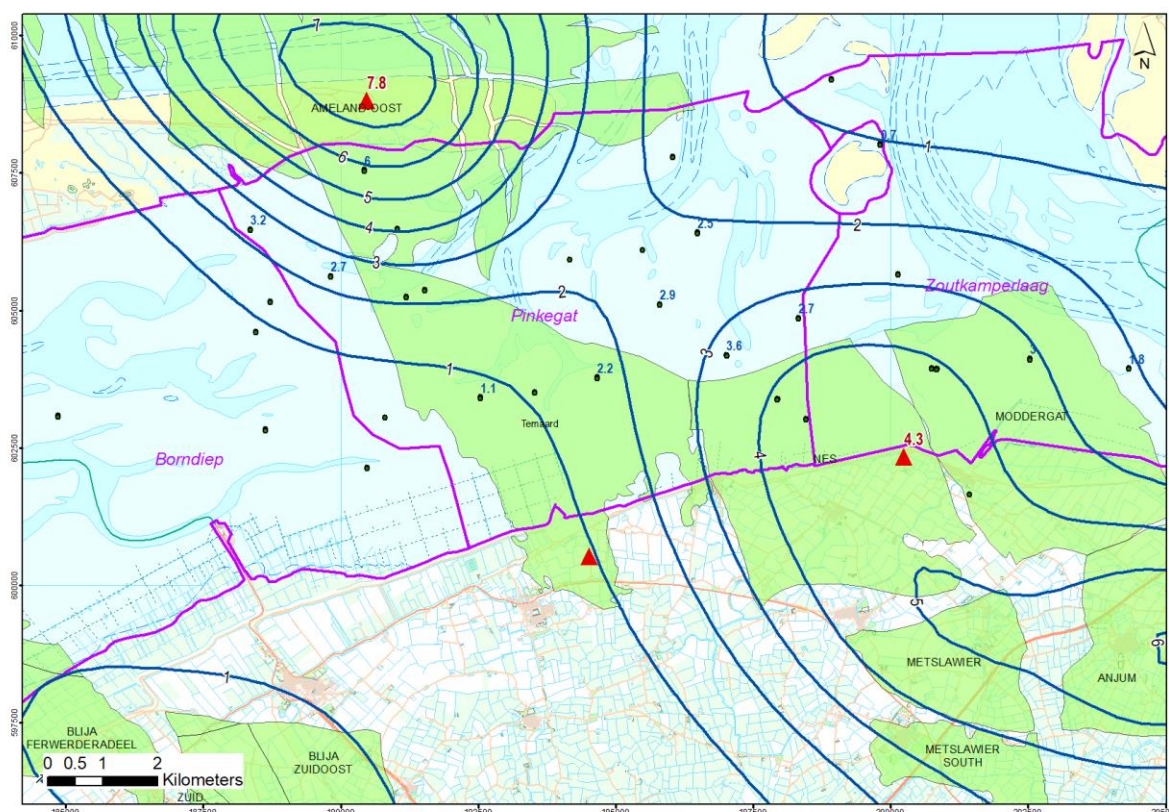
---

<sup>4</sup> NAM (2017) Long Term Subsidence vervolgstudie. EP201710200509.

<https://nam-onderzoeksrapporten.data-app.nl/reports/download/wadden/nl/e9129689-ebe7-4c29-ba92-a0f4ea434115>

<sup>5</sup> NAM (2019), Gaswinning vanaf de locaties Moddergat, Lauwersoog en Vierhuizen; Resultaten uitvoering Meet- en regelcyclus 2018.

<sup>6</sup> De belasting wordt berekend als het zesjaarlijks gemiddelde (rondom een bepaald jaar) van de gemiddelde bodemdalingssnelheid (mm/jaar) in een kombergingsgebied.

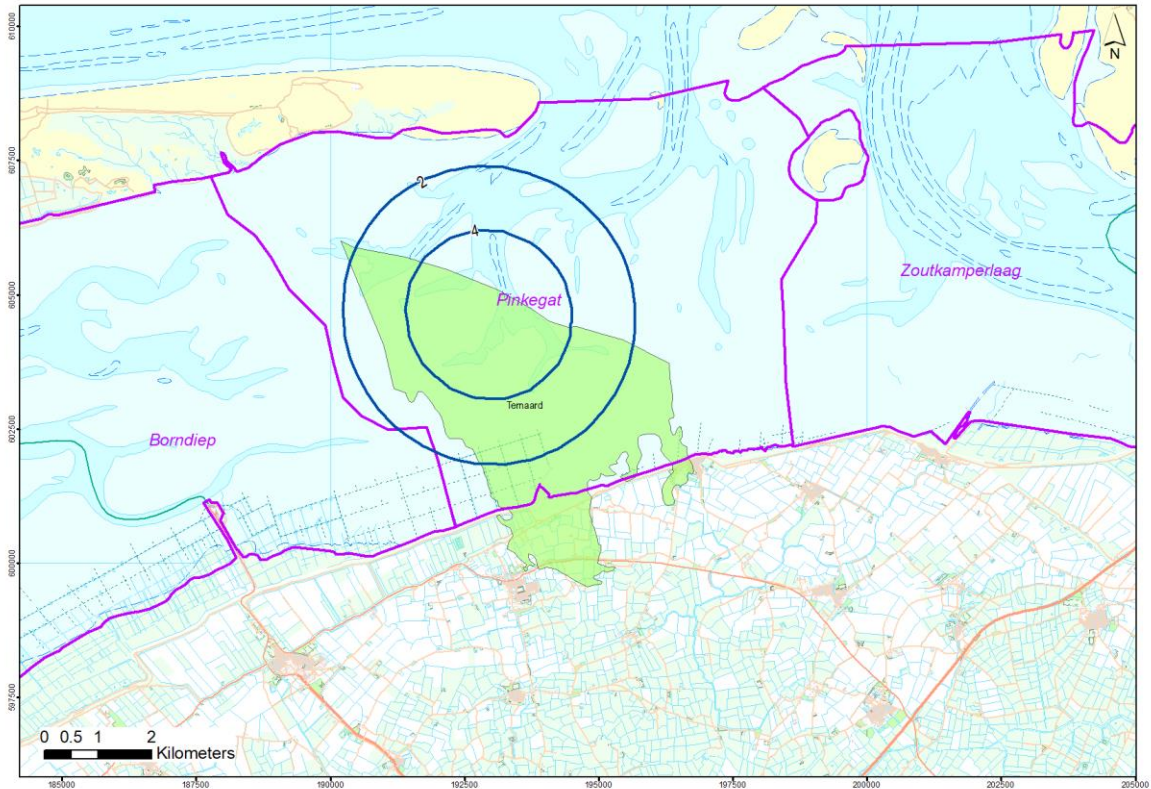


Figuur 7-3: Gemeten en gemodelleerde bodemdaling (in cm) in de periode 2006 - 2018. De rode driehoekjes zijn de permanente GPS-stations, de zwarte puntje zijn de GPS peilmerken op het wad.

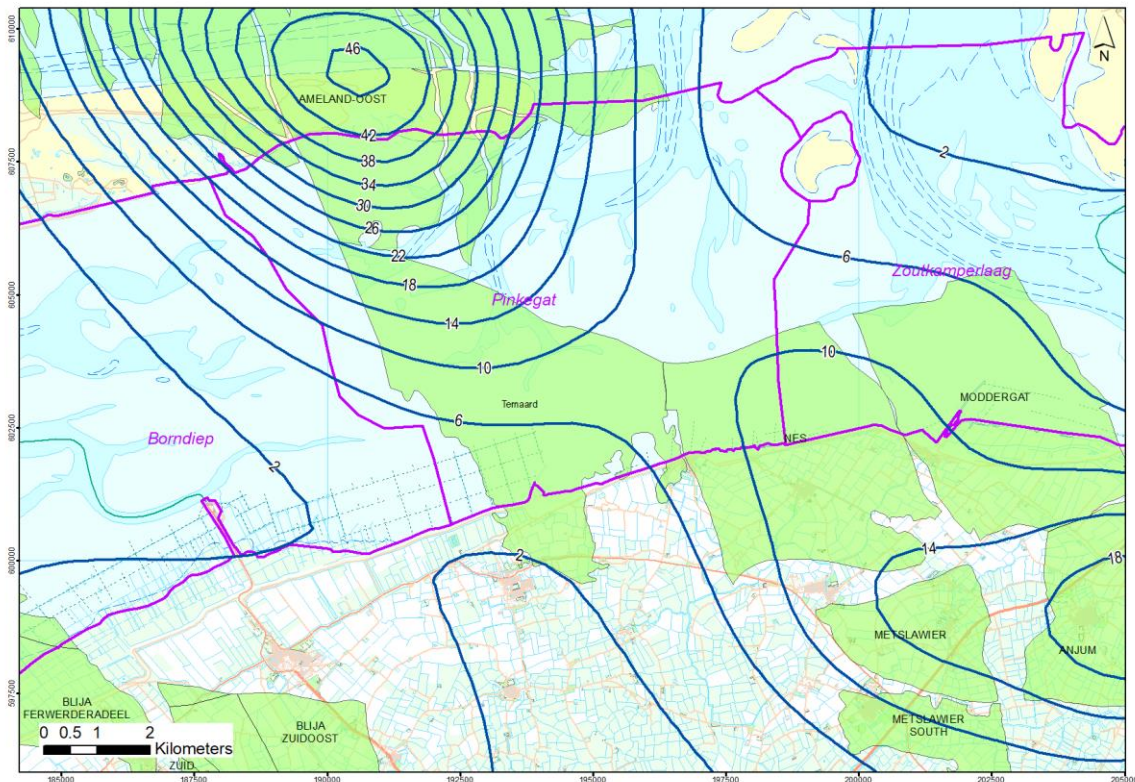
### 7.3 Bodemdalingsvooruitzichten

De verwachte bodemdaling ten gevolge van de gasproductie uit het Ternaard veld is berekend voor de drukkaling volgens het midden productiescenario vanaf begin productie (2021) tot ver na de beëindiging van de productie (2050). De totale bodemdaling die in deze periode optreedt is weergegeven in Figuur 7-4. Het midden productiescenario gaat ervan uit dat de interne breuken in het Ternaard veld niet doorlatend zijn. De diameter van de bodemdalingskom is daarom beperkt.

Figuur 7-5 toont de uiteindelijke totale (diepe) bodemdaling door gaswinning na afloop van de productie uit alle omliggende voorkomens. De totale maximale (diepe) bodemdaling boven het Ternaard gasveld zal rond de 20 cm zijn (in het noorden van het veld, met name veroorzaakt door de bodemdaling door productie uit het Ameland veld). Vanwege het langzame verloop van de bodemdaling, zal deze bodemdaling geheel gecompenseerd worden door de natuurlijke aanvoer van zand en slib.



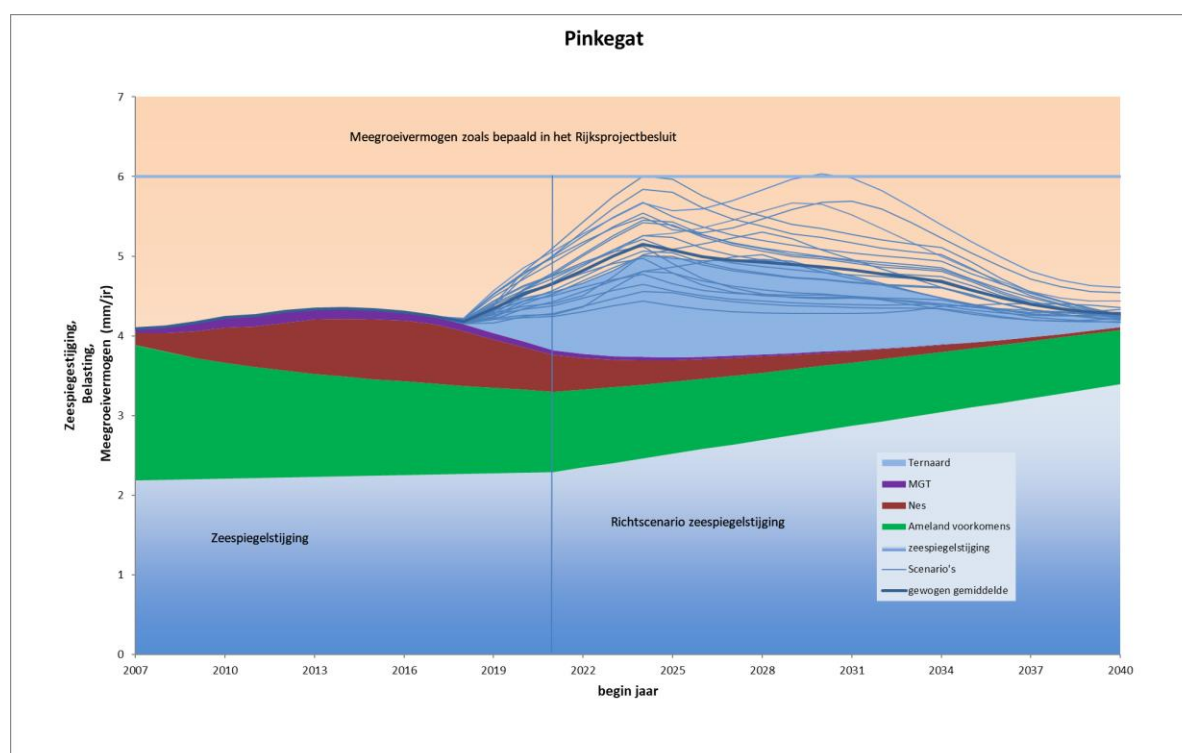
Figuur 7-4: Verwachte bodemdaling (in cm) in het jaar 2050 door gasproductie uit alleen het Ternaard veld, volgens het midden productiescenario.



Figuur 7-5: Totale verwachte bodemdaling (in cm) in 2050 ten gevolge van gaswinning uit alle velden inclusief de bodemdaling door Ternaard volgens het midden productiescenario.



Voor het Waddengebied moet de verwachte 6-jaarlijks-gemiddelde bodemdalingssnelheid (belasting) ten gevolge van de productie uit alle velden, samen met de verwachte zeespiegelstijgingsnelheid, onder het vastgestelde meegroeivermogen blijven. Jaarlijks worden de bodemdalingsmodellen opnieuw getoetst aan de meetdata in een Meet- en Regelcyclus. Figuur 7-6 toont de verwachte belasting door de gasproductie uit Ternaard boven op de verwachte belasting veroorzaakt door productie uit andere velden (Ameland en Waddenzee velden Nes en Moddergat) volgens de Meet- en Regelrapportage van 2018. De belasting van al deze velden samen, plus de voorspelde snelheid van de zeespiegelstijging, blijft onder het vastgestelde meegroeivermogen van 6 mm/jaar. Hierbij is de productie in het hoge productiescenario aangepast om binnen het meegroeivermogen te blijven. De dunne lijnen in dit figuur geven de onzekerheidsbandbreedte in de belasting weer. Deze lijnen zijn berekend middels de drie verschillende reservoirscenario's voor Ternaard en de negen geomechanische parametersets die gerapporteerd zijn in de Meet en Regelcyclus 2018.



Figuur 7-6: Verwachte belasting (inclusief mogelijke spreiding) in Pinkegat, voor de velden Ameland, Nes, Moddergat (MGT) en Ternaard. De bovenkant van het blauwe vlak geeft het verwachte scenario voor de belasting. De spreiding in de dunne lijnen geeft de onzekerheidsbandbreedte van Ternaard weer.

#### 7.4 Onzekerheid in verwachte bodemdaling

De te verwachten drukdaling in Ternaard hangt af van de aannames die gebruikt zijn in de verschillende reservoirscenario's. De onzekerheid in de drukdaling is gecombineerd met het verschil in de mogelijke grootte van het veld en met de onzekerheid in de compressibiliteit van het reservoirgesteente. De toekomstige bodemdaling, veroorzaakt door de gaswinning van Ternaard, ligt tussen de 4 en 12 cm. In het midden productiescenario is de bodemdaling tot 6 cm in het diepste punt van de bodemdalingsskom. De berekening van deze onzekerheid in de bodemdaling is verder uitgewerkt in bijlage A.

## **7.5 Monitoring van bodemdaling**

De bodemdaling wordt gemeten volgens het meetplan Waddenzee die de metingen beschrijft voor alle Wadden voorkomens<sup>7</sup>. Geodetische technieken die voor de metingen gebruikt worden zijn waterpassen, GPS (campagne en permanente metingen) en InSAR (satelliet) metingen. Het meetplan wordt jaarlijks ter instemming aan SodM gestuurd. Resultaten van de metingen worden middels een meetregister aan SodM verstrekt.

Met een interval van 3 jaar worden alle peilmerkclusters in de Waddenzee gemeten, waarbij elk jaar een aantal peilmerken worden aangemeten. De meest recente Waddenzee GPS-campagne is gedaan in 2019. De bodemdalingsmeting in het Lauwersmeergebied (optische waterpassing, InSAR, GPS) wordt met een interval van 3 jaar gedaan. De meest recente grootschalige meting is gedaan in 2018. Rondom de Waddenzee vindt op een aantal locaties permanente GPS-monitoring plaats (Moddergat, Anjum, Ameland-Oost, Nes-Ameland, en de platforms AME-2 en AWG-1). Sinds 2016 is ook een permanent GPS-station operationeel in Ternaard. Ook vinden op Ameland en Schiermonnikoog bodemdalingsmetingen door middel van optische waterpassingen plaats met een interval van 3 jaar (eerstvolgende meting in respectievelijk 2020 en 2021).

In de GPS Waddenzee campagnes van 2018 en 2019 zijn alle peilmerkclusters boven het Ternaard veld aangemeten. De clusters M019, M020 en M021 zijn jaarlijks gemeten over de jaren 2016-2019. De clusters 002D0066/67/68 en 002D0102/3/4 zijn jaarlijks gemeten over de jaren 2017-2019. Tezamen met de waterpassing en InSAR processing van 2018 in het Lauwersmeergebied vormt dit een solide nulmeting.

De Ternaard winning zal volgens het Hand-aan-de-Kraan principe worden geproduceerd. De uiteindelijke daling op het wad is zeer beperkt en wordt jaarlijks gemonitord. Mocht de vastgestelde gebruiksruimte worden overschreden of dreigen te overschrijden, dan kan dient de NAM de productie zodanig aan te passen dat overschrijding wordt voorkomen.

De metingen en de resultaten van de modelkalibratie op de nieuwe metingen worden jaarlijks gerapporteerd in het kader van de meet- en regelcyclus die geldt voor het Waddengebied en ook voor Ternaard zal gelden.

## **7.6 Mogelijke gevolgen van de verwachte bodemdaling**

Bodemdaling door gaswinning manifesteert zich aan de oppervlakte in de vorm van een platte, zeer gelijkmatige schotel. Die schotel veroorzaakt een zeer geringe helling van maximaal een paar centimeter over een kilometer afstand aan het maaiveld. Zoals in Figuur 7-4 is aangegeven, bedraagt de te verwachten bodemdaling door gaswinning uit het Ternaard veld minder dan 6 cm (op het wad) over een periode van 30 jaar. Boven land is de bodemdaling door gaswinning volgens het basis bodemdalingsscenario minder dan 2 cm.

Omdat bodemdaling een geleidelijk en gelijkmatig proces is wordt geen directe schade aan gebouwen/bouwwerken, infrastructuur verwacht omdat de resulterende vervorming (zoals scheefstand, kromming en horizontale rek) van de bovengrond zeer klein is. Hierbij wordt verwezen naar "Studieresultaten betreffende ongelijkmatige zakkingen in verband met aardgaswinning in de provincie Groningen; een uitgave van de Commissie Bodemdaling door Aardgaswinning; maart 1987". Meer recente rapporten die mogelijke oorzaken van schade in het gebied rondom West-Groningen en Loppersum<sup>8</sup> beschrijven bevestigen dit beeld.

---

<sup>7</sup> NAM. Formulier actualisering meetplan Waddenzee 2019

<sup>8</sup> [http://www.commissiebodemdaling.nl/files/1202097-000-BGS-0003-r-Gebouwschade%20Loppersum\\_def\\_par\\_20110421.pdf](http://www.commissiebodemdaling.nl/files/1202097-000-BGS-0003-r-Gebouwschade%20Loppersum_def_par_20110421.pdf)

Tevens is de kans klein dat de bodemdaling gevolgen kan hebben voor het normale beheer en het onderhoud van waterkeringen en waterlopen. Bij een daling van minder dan 2 cm (op land) in gebieden met een kunstmatig peilbeheer is de mate van bodemdaling aanzienlijk kleiner dan de jaarlijkse schommelingen in de waterstand (verschil zomer- en winterpeil). De waterhuishouding in het gebied is in de loop van eeuwen tot stand gekomen en wordt tegenwoordig volledig kunstmatig geregeld. Waterpeilen zijn vastgelegd in peilbesluiten. Indien een relatieve stijging van het waterpeil ten opzichte van het maaiveld de geldende norm dreigt te overschrijden, kan dit worden tegengaan door aanpassingen in de waterafvoer (compartimentering, versnelde afvoer waterbezwaar). Het waterschap is daarbij verantwoordelijk voor het waterbeheer in het beheersgebied.

In het geval dat dit beheer, als gevolg van de door de gaswinning veroorzaakte bodemdaling, toch te maken meerkosten met zich meebrengt die voor vergoeding in aanmerking komen, dan rust op NAM de verplichting die schade overeenkomstig de regels van het burgerlijk recht te vergoeden. Met de betreffende waterschappen kunnen afspraken worden gemaakt in bilateraal verband.

De beperkte bodemdaling zal geen effect hebben op de natuur of het milieu, zoals beschreven in de MER (zie hoofdstuk 9)

### **7.7 Maatregelen om (gevolgen van) bodemdaling te voorkomen of te beperken**

De nog te verwachten (diepe) bodemdaling door de toekomstige gaswinning uit dit winningsplan is minder dan 6 cm over een periode van 30 jaar. Voor het land gedeelte gaat het hier om een zeer geringe bodemdaling van minder dan 2 cm. De toekomstige bodemdaling zal volgens het meetplan Noord-Nederland worden vergeleken met de tot dan toe gemeten bodemdaling. Indien er aanwijzingen zijn dat de bodemdaling een negatief effect heeft op de waterhuishouding zal dit door NAM met het Wetterskip Fryslân besproken worden.

De Ternaard winning zal volgens het Hand-aan-de-Kraan principe worden geproduceerd. De uiteindelijke daling op het wad is zeer beperkt en wordt jaarlijks gemonitord. Mocht de vastgestelde gebruiksruimte worden overschreden of dreigen te overschrijden, dan dient de NAM de productie zodanig aan te passen dat overschrijding wordt voorkomen.

## 8 Bodemtrilling

De seismische risicoanalyse laat zien dat het Ternaard veld in **categorie I (laagste risicocategorie)** valt. Hieronder wordt uiteengezet hoe deze categorisering tot stand is gekomen en wat dit betekent in termen van reëel seismisch risico.

### 8.1 Inleiding: hoe komen bevingen ten gevolge van gaswinning tot stand

Als gevolg van de drukdaling in een gasveld treden in het reservoirgesteente spanningsveranderingen op. Spanningsverandering op een ondergrondse breuk kan leiden tot geïnduceerde bewegingen van het gesteente langs deze breuk. In sommige gevallen kan dit resulteren in een aardbeving. De kans op een aardbeving in een gasveld hangt onder meer af van de hoeveelheid breuken, de drukdaling en de grootte en dikte van het reservoir.

### 8.2 Historische bevingen boven het Ternaard veld

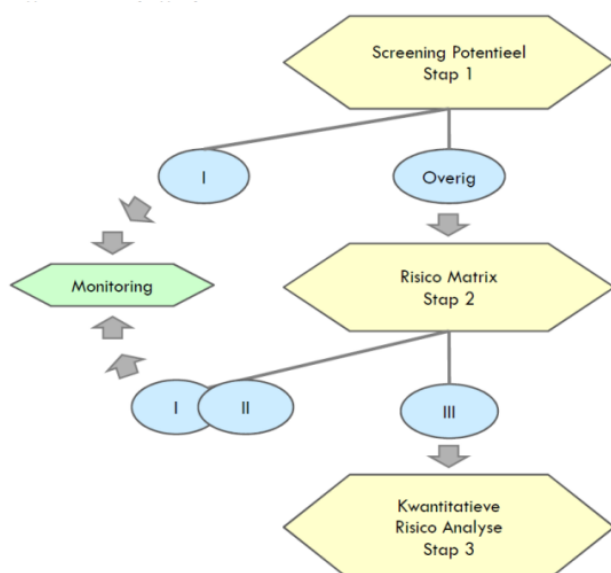
Boven het Ternaard gasveld heeft nog geen geïnduceerde beving plaatsgevonden.

### 8.3 Algemeen kader voor Seismische Risico Analyse

SodM heeft in 2016 een tijdelijke richtlijn voor Seismische Risico Analyse (SRA) gepubliceerd<sup>9</sup>. De SRA gaat uit van het stappenschema zoals getoond in Figuur 8-1. Bij het schema zijn twee parameters belangrijk:

- De kans op een beving door gaswinning, hoe klein dan ook;
- De theoretische “maximale bevingsmagnitude” ( $M_{max}$ ) als er een beving zou plaatsvinden.

In deze seismische risicoanalyse wordt uitgegaan van de maximale drukdaling volgens het hoog productiescenario. Meer details over de berekening van deze parameters staan in bijlage B.



Figuur 8-1: Schematische weergave van de verschillende stappen en risico categorieën (I, II, III) in de seismische risico-inventarisatie (conform SodM, 2016)

Stap 1:

<sup>9</sup> methodiek voor risicoanalyse omtrent geïnduceerde bevingen door gaswinning tijdelijke leidraad voor adressering mbb. 24.1.p, versie 1.2, SodM, 1 februari 2016

In stap 1 worden alle voorkomens bekeken. De voorkomens die direct in risicocategorie I (zeer laag seismisch risico) vallen zijn:

- voorkomens die niet meer produceren
- én voorkomens die niet seismisch actief zijn geweest en waarvoor de kans verwaarloosbaar is dat ze in de toekomst seismisch actief kunnen worden of waarvoor  $M_{max}$  laag uitvalt ( $M_{max} < 2,5$ ).

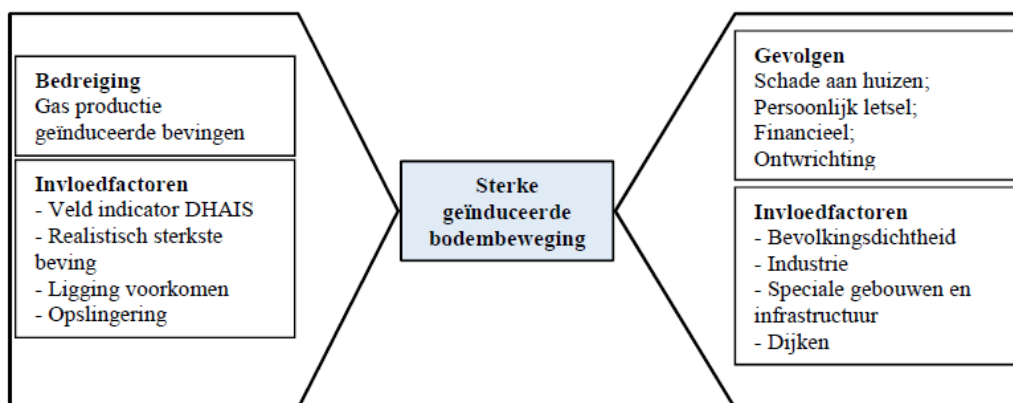
Voorvormens die niet aan deze criteria voldoen schuiven door naar stap 2.

#### Stap 2:

In deze stap worden alle producerende voorkomens bekeken die

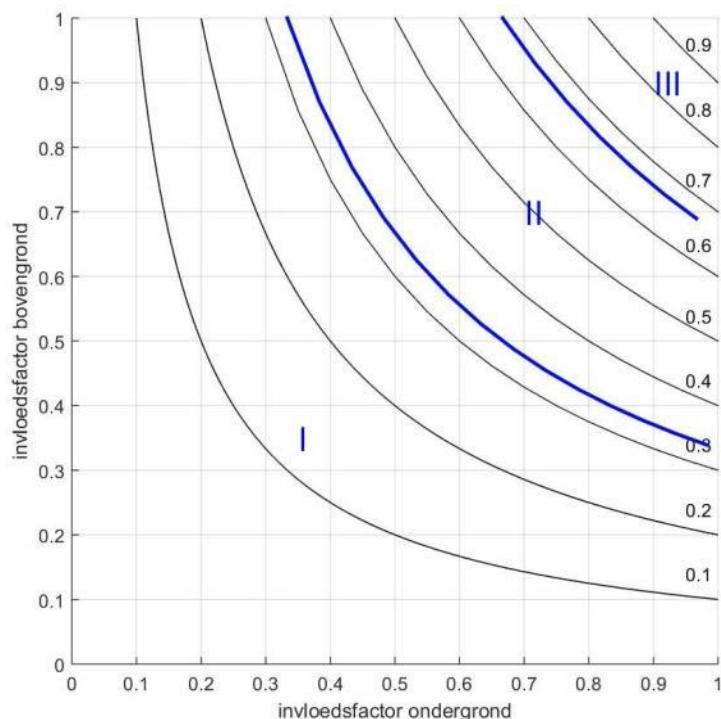
- seismisch actief zijn geweest
- óf een niet verwaarloosbare kans op seismiciteit hebben en waarvoor de waarde voor  $M_{max}$  hoger uitvalt dan 2,5.

In stap 2 wordt op basis van een risicomatrix het risico van geïnduceerde aardbevingen verder gekwalificeerd. Figuur 8-2 geeft een schematische weergave van de verschillende factoren die bepalen of een geïnduceerde beving kan resulteren in een sterke grondbeweging (de “invloedfactoren ondergrond”) en de verschillende factoren die invloed hebben op de grootte van de mogelijke gevolgen (de “invloedfactoren bovengrond”).



Figuur 8-2: Schematische weergave van de bedreigingen en gevolgen van geïnduceerde bevingen en de verschillende invloedfactoren die daarbij een rol spelen (SodM, 2016).

In de risicomatrix-analyse worden de verschillende factoren zoveel mogelijk kwantitatief geanalyseerd en op basis van de uitkomst wordt per factor een score bepaald. De scores van de individuele factoren worden vervolgens opgeteld, zodat een totaalscore voor zowel de invloedfactoren ondergrond als de invloedfactoren bovengrond wordt verkregen. Deze scores worden genormaliseerd met het maximaal te behalen aantal punten voor ondergrond c.q. bovengrond en in de risicomatrix tegen elkaar uitgezet waarmee kwalitatief een risicocategorie wordt bepaald (Figuur 8-3)



Figuur 8-3: De risicomatrix. De zwarte lijnen zijn lijnen van gelijk genormaliseerd risico. De verdeling in categorieën is gedaan op basis van  $1/3$  en  $2/3$  van het genormaliseerde risico. (SodM, 2016).

De volgende invloedfactoren voor de ondergrond staan beschreven in de leidraad van SodM:

- Veld indicator DHAIS. Deze methode beschrijft hoe de kans op het mogelijk optreden van een beving in een voorkomen kan worden berekend aan de hand van ondergrondse kenmerken. Deze kans moet gezien worden als een indicatie van de kans op een beving<sup>10</sup> gedurende de gehele productietijd van het veld die bepaald is op basis van alle observaties van bevingen boven alle gasvelden in Nederland.
- Realistisch sterkste beving (Mmax). Voor een theoretische inschatting van de sterkste beving zijn twee verschillende benaderingen genomen:
  1. een bepaling van de compactie-energie die beschikbaar is in een producerend gasveld en kan leiden tot een beving
  2. een maat voor de mogelijke bevingsmagnitude als de langste breuk in het producerende veld in zijn geheel in één keer in beweging zou komen.

Methode [1] resulteert doorgaans in lagere waarden voor Mmax dan methode [2]. Dit kan erop wijzen dat de totale hoeveelheid beschikbare energie die tot een beving kan leiden waarschijnlijk niet voldoende is om de grootste breuken in een veld in één keer in beweging te brengen.

- Ligging van het voorkomen. In de SRA-methodiek (SodM, 2016) wordt er een onderscheid gemaakt tussen velden ten noorden van de lijn Amsterdam-Arnhem en velden ten zuiden van deze lijn. Dit onderscheid is gemaakt op basis van observaties. Er is nog nooit een aardbeving door gaswinning waargenomen ten zuiden van de lijn Amsterdam-Arnhem.
- Opslingering; de ondiepe ondergrond kan een opslingering veroorzaken van de seismische golven en wordt daarom boven het veld gekarakteriseerd. Voor relatief slappe ondergrond (veen, klei) is dit effect groter dan voor relatief stevige ondergrond (zand).

<sup>10</sup> De magnitude van een mogelijke beving ligt tussen de 1,5 en de magnitude voor de realistische sterkste beving, waarbij de kans logaritmisches afneemt met de magnitude.

Het mogelijke gevolg van een beving volgt uit een analyse en score van de invloedfactoren bovengrond: bevolkingsdichtheid, industrie, speciale gebouwen, vitale infrastructuur en de aanwezigheid van dijken.

- Voor de bepaling van de bevolkingsdichtheid wordt de CBS Statline data gebruikt; hierbij krijgt de categorie flats/appartementencomplexen extra aandacht in de uiteindelijke score.
- Industriële inrichtingen, speciale gebouwen en vitale infrastructuur en dijken worden in kaart gebracht m.b.v. de risicokaart. (<http://www.risicokaart.nl>)

De laatstgenoemde drie factoren (speciale gebouwen, vitale infrastructuur en de aanwezigheid van dijken) zijn van invloed op een mogelijk gevolgrisico voor schade en veiligheid. Het is echter zeer onwaarschijnlijk dat de geïnduceerde bevingen kunnen leiden tot een dergelijk gevolgrisico omdat de bevingen te zwak zullen zijn om een bedreiging te vormen voor deze objecten. Deze gevolgen zijn tot nu toe dan ook nooit waargenomen.

Indien uit het voorgaande blijkt dat voorkomen(s) binnen een Winningsplan in risico categorie III vallen gaan deze door naar Stap 3

Stap 3:

In deze stap worden alleen de voorkomens die in Categorie III vallen verder bestudeerd. Voor deze voorkomens dient een Kwantitatieve Risico Analyse uitgevoerd te worden. Van alle bekende voorkomens in Nederland valt alleen het Groningen gasveld in deze categorie.

#### **8.4 Seismische Risico Analyse voor het Ternaard voorkomen**

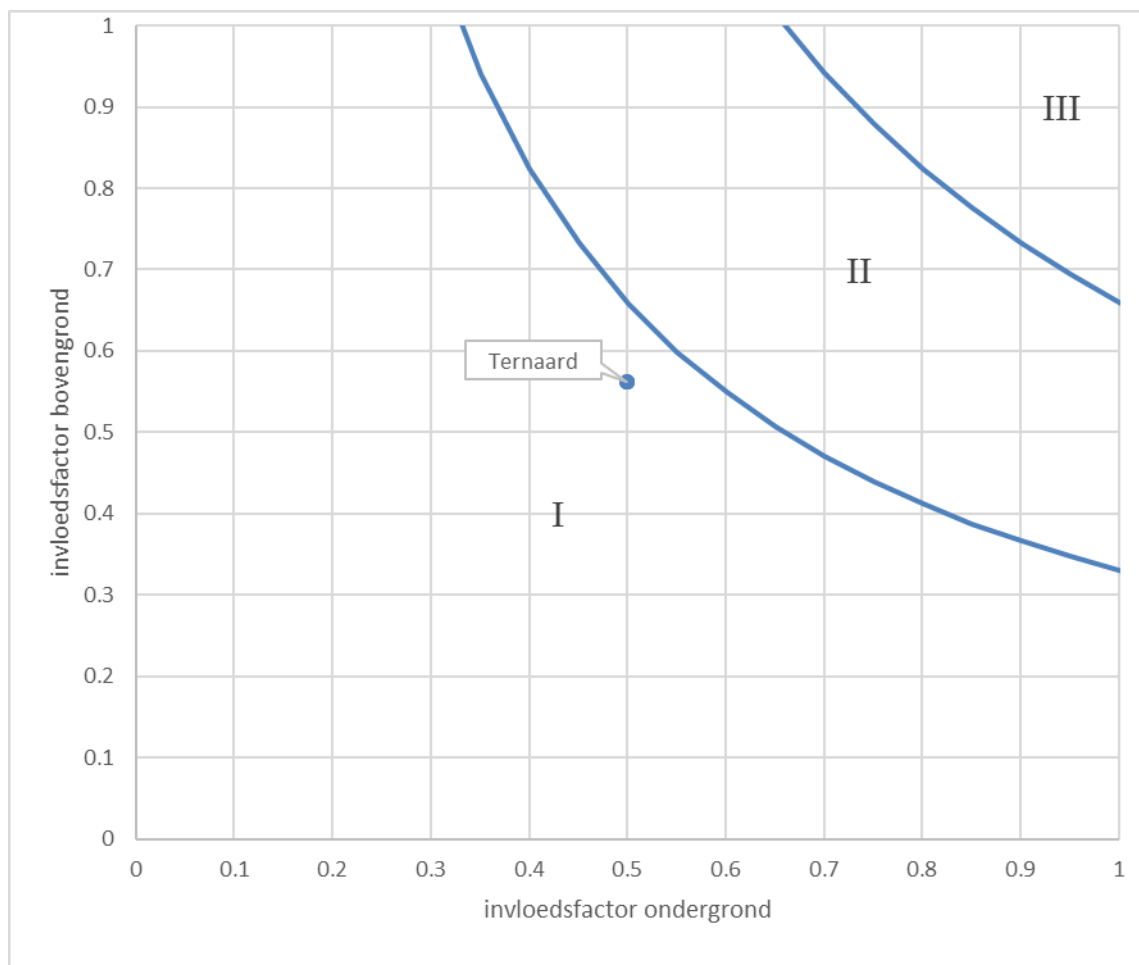
In Tabel 8-1 staan de resultaten van de berekening voor de kans op enige beving in de voorkomens. Details van de berekening staan in bijlage B.

*Tabel 8-1: Scores voor veldindicator DHAIS kans op een beving*

Voorkomen	DHAIS kans
Ternaard	19%

Voor Ternaard wordt berekend dat het voorkomen theoretisch een niet verwaarloosbare kans heeft om te beven.

In Figuur 8-4 staan de resultaten van de berekening voor “Stap 2”, de risicomatrix. Details van de berekening staan in bijlage B. Het voorkomen Ternaard valt in risicocategorie I.



Figuur 8-4: Seismisch risico gepresenteerd in de seismische risicomatrix.

### 8.5 Mogelijke gevolgen van bevingen ten gevolge van gaswinning uit het Ternaard veld

De praktijkervaring met gasproductie in Nederland over de afgelopen jaren leert dat lichte aardbevingen ten gevolge van gasproductie in de meeste gevallen niet leiden tot schade. Toch kan de kans op schade aan bebouwing in de nabije omgeving van het epicentrum van een geïnduceerde aardbeving niet worden uitgesloten. Hierbij speelt zowel kwetsbaarheid van de bebouwing als de intensiteit van de beving een belangrijke rol.

Al in 1998 heeft KNMI beschreven wat de te verwachten intensiteit is bij het optreden van een geïnduceerde aardbeving volgens de Europese Macroseismische Schaal. Deze analyse toonde (kwalitatief) aan dat in het ernstigste geval in de nabijheid van het voorkomen lichte, niet constructieve schade kan optreden aan meerdere gebouwen en matige schade (bedoeld wordt scheuren in muren tot constructieve schade in het uiterste geval) aan enkele gebouwen. Dit laatste wordt bevestigd door de resultaten van de seismische hazard studie van TNO-NITG<sup>11</sup>. De omvang van het gebied waar mogelijk schade kan optreden wordt bepaald door de magnitude, de diepte en de duur van de beving en de lokale grondsamenstelling en aard en conditie van de bebouwing. Bij een beving die krachtig genoeg is om schade te veroorzaken is het aantal potentiële schadegevallen

<sup>11</sup> Wassing en Dost, 2012, TNO 2012 R11139

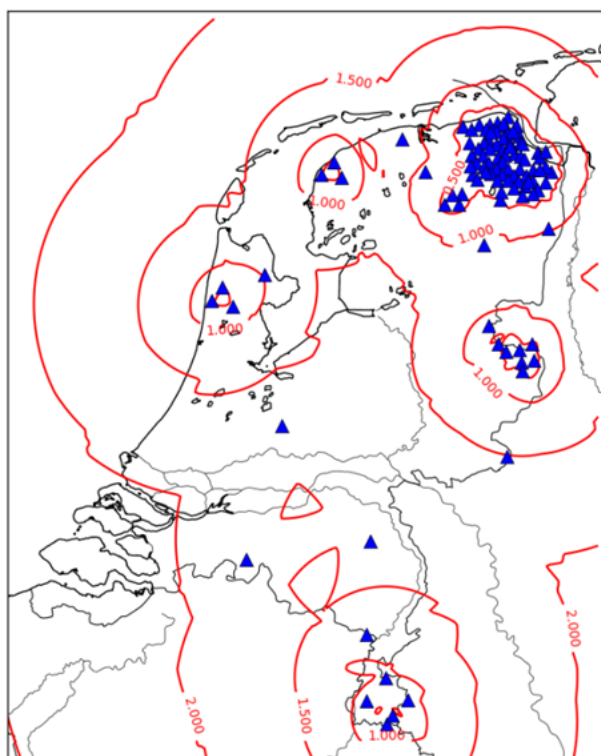


binnen dit gebied sterk afhankelijk van de dichtheid van bebouwing, terwijl de mate van schade (geen, lichte, matige) op een bepaalde afstand van het epicentrum in grote mate wordt bepaald door het type bebouwing, de staat van onderhoud en de lokale bodemgesteldheid. Deze afhankelijkheid wordt verder beschreven in een rapport van TNO<sup>12</sup>. Onderzoek uitgevoerd naar de mogelijke schade aan buisleidingen door potentiële aardbevingen (Deltares 2010, Schade aan buisleiding door aardbeving) toont aan dat mogelijke schade door geïnduceerde aardbevingen klein zal zijn (zowel in mogelijk aantal als ernst).

Hoofdstuk 9 behandelt het mogelijk effect van bevingen op de natuur of het milieu. In hoofdstuk 9 wordt naar de MER verwezen, die aantoont dat bodemtrillingen geen effect hebben op de natuur of het milieu.

### 8.6 Monitoring van bodemtrillingen

Het KNMI kan met behulp van het huidige monitoringsnetwerk voor dit gebied aardbevingen met een magnitude van 1,5 of hoger goed lokaliseren (zie Figuur 8-5). Tevens zal NAM, na instemming van het winningsplan, een plan van aanpak maken voor het installeren van een aantal versnellingsmeters om het effect van een mogelijke beving aan het maaiveld in kaart te brengen. De geïnstalleerde versnellingsmeters zullen dan deel uitmaken van het meetplan wat jaarlijks wordt vernieuwd onder toezicht van SodM.



Figuur 8-5: Overzicht van de locatiedrempel voor aardbevingen in Nederland (KNMI 2017, Voorstel seismische monitoring Zuid-Holland).

<sup>12</sup> Kalibratiestudie schade door aardbevingen (TNO-rapport, TNO-034-DTM-2009-04435, 11 november 2009).

### **8.7 Maatregelen om bodemtrillingen te voorkomen of te beperken**

De leidraad (SodM, 2016), geeft aan dat voor de voorkomens in risicoklasse I geen additionele monitoringmaatregelen hoeven te worden getroffen. Monitoring met het huidige gefoon- en accelerometernetwerk van het KNMI is voldoende volgens de leidraad.

### **8.8 Maatregelen die gevolgen van bodemtrillingen beperken of voorkomen**

Voor mogelijke schade veroorzaakt door aardbevingen die worden veroorzaakt door gaswinning rust op de NAM de verplichting deze te vergoeden in overeenstemming met de regels van het burgerlijk recht. Er is een schaderegeling opgesteld voor schade veroorzaakt door aardbevingen als gevolg van gaswinning en/of opslag. Deze regeling is beschreven op de website [www.nam.nl](http://www.nam.nl). Tevens is de Minister van EZK voornemens een onafhankelijke en deskundige commissie in het leven te roepen (landelijke Commissie Mijnbouwschade), om te zorgen voor een onafhankelijke beoordeling van meldingen van mijnbouwschades in Nederland.

## 9 Overige omgevingsaspecten

### 9.1 Algemeen

De opsporing, winning en opslag van aardgas kan mogelijke gevolgen, anders dan bodemdaling en trillingen, met zich meebrengen voor de omgeving. Deze mogelijke gevolgen worden beoordeeld door het bevoegd gezag in andere vergunningen dan het winningsplan.

Een overzicht van de mogelijke gevolgen en in welke vergunningprocedure(s) deze worden behandeld, staat in de volgende tabel.

Gevolgen m.b.t.	Besluit
Bodem/grondwaterverontreiniging	Omgevingsvergunning milieu
Luchtverontreiniging (emissies)	Omgevingsvergunning milieu
Oppervlaktewaterverontreiniging	Omgevingsvergunning milieu evt. Watervergunning
Externe veiligheid	Omgevingsvergunning milieu
Natuur	Wet natuurbescherming

De Minister van Economische Zaken bevordert op grond van artikel 34 lid 7 Mijnbouwwet een doelmatige en samenhangende besluitvorming ten aanzien van instemming met het winningsplan en een aantal overige besluiten, waaronder de besluiten zoals genoemd in bovenstaande tabel. Daar Ternaard een nieuwe winning onder een Natura 2000 gebied betreft wordt een zogenaamde RijksCoördinatieRegeling (RCR) toegepast. Als onderdeel van deze RCR is een uitgebreide Milieu Effect Rapportage uitgevoerd. Het MER-rapport<sup>13</sup> geeft details betreffende omgevingsaspecten voor gaswinning uit het Ternaard veld.

---

<sup>13</sup> MER Gaswinning Ternaard (Nederlandse Aardolie Maatschappij/Arcadis, juni 2018)

## 10 Verklarende woordenlijst

Aquifer	Ondergronds, watervoerend deel van het reservoir. Dat kan naast en/of onder het gasvoerende deel gelegen zijn.
Cm	Uniaxiale compactie-coëfficiënt; mate van samendrukbaarheid van het gesteente
Compactie	Het samendrukken van het reservoirgesteente als door productie de druk van de vloeistof in de poriën daalt, en onvoldoende tegenwicht geeft aan het gewicht van bovenliggende gesteenten.
Compressibiliteit	Samendrukbaarheid
Depletie	Drukdaling door het onttrekken van gas (of olie of water) uit reservoirgesteente
EZK	Ministerie van Economische Zaken en Klimaat
GIIP	Volume gas initieel aanwezig in het voorkomen (in Nm <sup>3</sup> )
GPS	Global Positioning System: systeem voor plaats- en hoogtebepaling met behulp van satellieten
GWC	Gas-water contact diepte (in meter onder NAP)
Kern	Gesteentemonster uit de ondergrond verkregen bij het boren van een put
KNMI	Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut
m RT	Diepte gemeten in m langs het boortraject, vanaf de boortafel (RT)
Mb	Mijnbouwbesluit
MER	Milieu-Effect-Rapportage
Mw	Mijnbouwwet
NAM	Nederlandse Aardolie Maatschappij
Nm <sup>3</sup>	Gasvolume in kubieke meter bij 0 °C en 1.01325 bara
Permeabiliteit	De mate waarin een (poreuze) vaste stof een andere stof (gas of vloeistof) doorlaat. Indien een materiaal een andere stof niet doorlaat heet het materiaal voor die stof impermeabel.
Porositeit	Verhouding tussen het poriënvolume en het totale volume van het gesteente.
RD coördinaat	Coördinaten in het topografische kaartmateriaal zijn vermeld in het stelsel van de Rijksdriehoeksmeting (RD). De auteursrechten en databankrechten zijn voorbehouden aan de Topografische Dienst Kadaster, Emmen, 2006
SodM	Staatstoezicht op de Mijnen
SRA	Seismische Risico Analyse
Tcbb	Technische Commissie Bodembeweging
TNO	Nederlandse Organisatie voor Toegepast-Natuurwetenschappelijk Onderzoek
Natura 2000	Natura 2000 is een Europees netwerk van beschermde natuurgebieden.
Accelerometer	Een meetapparaat dat de versnelling, in dit geval van de grond, kan meten.
Gefoon	Een soort microfoon om trillingen van de aarde te registreren.
HAK	Hand-aan-de-Kraan is een jaarlijkse toetsing op effecten op de natuur.

## 11 Bijlage A: Bodemdaling: details en achtergronden

### 11.1 Introductie

Net als voor andere velden onder de Waddenzee zal ook voor Ternaard het hand-aan-de-kraan principe gelden. Hierbij wordt gekeken naar de toekomstige belasting (het zesjaarlijks voortschrijdend gemiddelde van de bodemdalingssnelheid) veroorzaakt door alle velden met bodemdaling in de kombergingsgebieden Pinkegat en Zoutkamperlaag. Het hand-aan-de-kraan principe stelt dat de verwachtingswaarde van deze belasting binnen de gebruiksruimte moet liggen. De gebruiksruimte wordt gedefinieerd door het meegroeivermogen<sup>14</sup> van het kombergingsgebied minus de zeespiegelstijging. Het Ternaard veld ligt onder het kombergingsgebied Pinkegat. In de M&R-procedure is het meegroeivermogen voor Pinkegat conservatief vastgesteld op 6 mm/jaar. In de meest recente M&R-rapportage over het jaar 2018, wordt gebruik gemaakt van de kennis en modellen die uit het “*Long Term Subsidence*” (LTS-II) project<sup>15</sup> beschikbaar zijn gekomen en deze kennis zal ook worden toegepast op de bodemdalingsvoorspellingen voor Ternaard.

### 11.2 RTCiM model, factoren van invloed en gebruikte productiescenario's

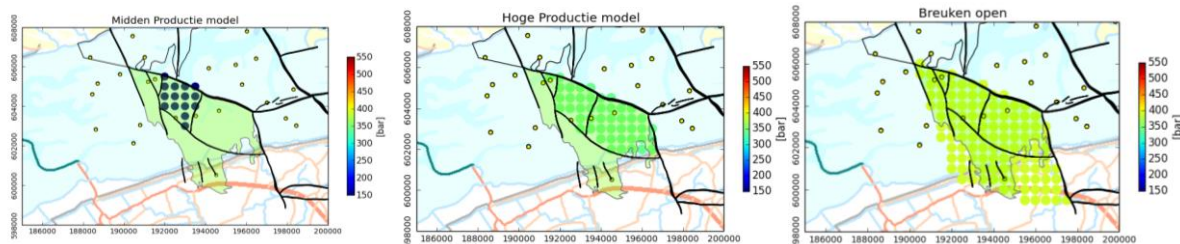
Een belangrijke conclusie van het LTS-II project is dat het *Rate Type Compaction Model* (RTCM) het best passende model is bij de geodetische metingen en de metingen die zijn uitgevoerd op gesteentekernen die afkomstig zijn van de boring van de Moddergat-3 put in het Nes veld. Het model dat door de NAM geïmplementeerd is in het bodemdalingsmodel, volgt het RTCiM (waarbij de *i* staat voor isotachen) van TNO<sup>16</sup>. Het LTS-II project modelleerde de bodemdaling door productie uit het Ameland veld. Geconcludeerd werd dat zowel de compactie van het reservoir zelf als de zoutlaag boven het Ameland reservoir bepalende factoren zijn voor de vorm van de bodemdalingskom in tijd. Een derde bepalende factor op de vorm van de bodemdalingskom wordt gevormd door mogelijke drukdaling in de aangrenzende watervoerende pakketten (aquifers) van het Ameland veld. Deze aquifer-onzekerheid is voor Ternaard onderzocht in het “breuken open” scenario. Hierin wordt voor het hoge productiescenario aangenomen dat er drukdaling plaatsvindt in alle breukblokken van het veld inclusief mogelijke aquifers ten westen en oosten van het zuidelijke breukblok waarin TRN-1 zich bevindt. De waarschijnlijkheid van deze scenario's is op voorhand moeilijk vast te stellen. In Figuur 11-1 is de maximale drukdaling voor deze scenario's weergegeven.

---

<sup>14</sup> Het meegroeivermogen van een getijdenbekken of kombergingsgebied is het natuurlijke vermogen van dat gebied, uitgedrukt in mm/jaar over het hele gebied, om de relatieve zeespiegelstijging op lange termijn bij te houden terwijl het geomorfologisch evenwicht en de sedimentbalans in stand blijven (Gaswinning binnen randvoorwaarden, Ministerie van Economische Zaken 2006, p.62).

<sup>15</sup> <https://nam-onderzoeksrapporten.data-app.nl/reports/download/wadden/en/b2bb2626-2cf8-4d7f-994d-04a9995e9e9d>

<sup>16</sup> 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.



Figuur 11-1; Einddrukken van het midden, hoge en “breuken open” productiescenario. De gele punten geven de GPS meetlocaties weer.

### 11.3 Parameterwaarden in het bodemdalingsmodel

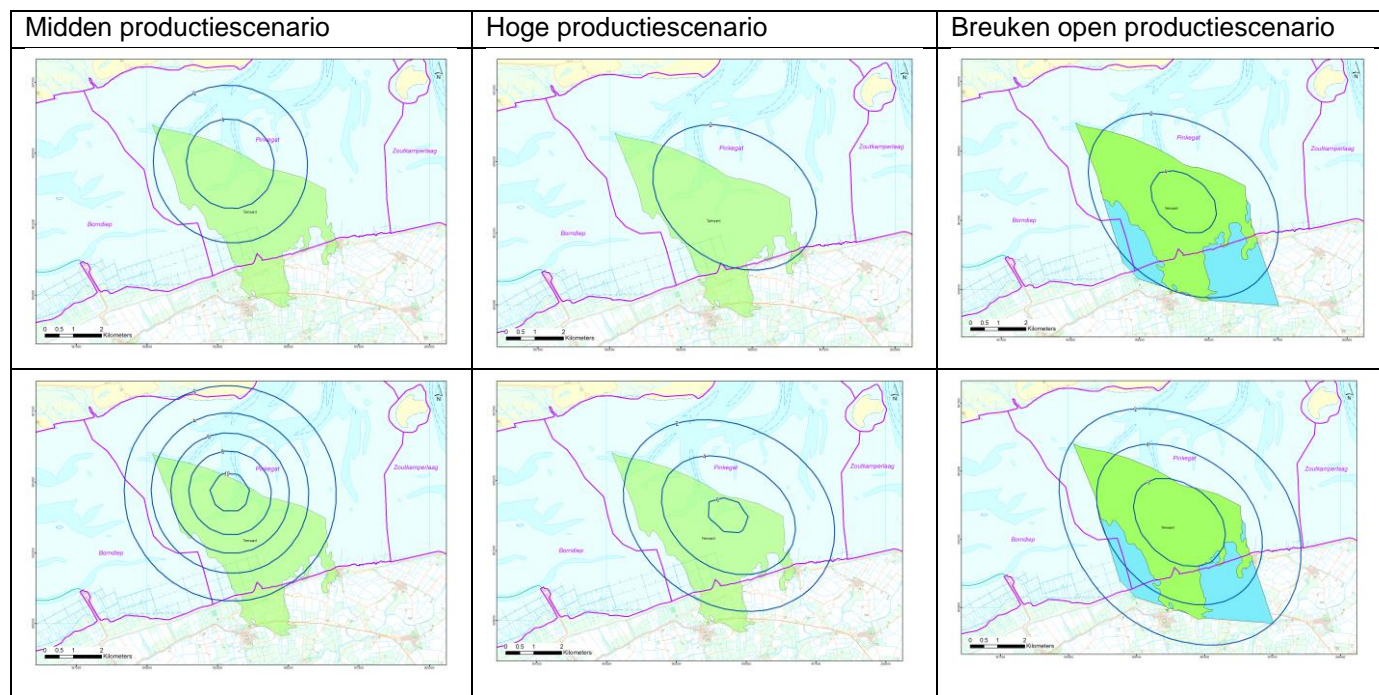
In de Waddenzee meet- en regelrapportage over 2018<sup>17</sup>, waarin de LTS-II kennis ook is toegepast op de Waddenvelden, zijn negen sets van parameterwaarden gevonden volgens de LTS-II methode (zie Tabel 11-1). Deze sets vormen de bodemdalingsscenario's in de M&R-rapportage en geven een spreiding in de voorspelde bodemdaling. In deze bijlage zijn de verschillende sets overgenomen van de M&R-rapportage over 2018 en toegepast op de drie productiescenario's voor Ternaard die relevant zijn voor de bodemdaling (midden, hoog en “breuken open”). De mogelijke spreiding in de toekomstige bodemdaling boven Ternaard zal in de toekomst nauwkeurig worden gemonitord binnen het Waddenzee meet- en regelprotocol.

Tabel 11-1; Negen sets van parameterwaarden voor het RTCiM model en het zoutmodel.

RTCiM	Ameland			Anjum			Waddenzee		
	Am1	Am2	Am3	Anj1	Anj2	Anj3	Wad1	Wad2	Wad3
Naam set									
$C_{mref}$ (factor) [-]	2,2	2,82	3,3	0,84	1,01	1,45	1,17	1,17	1,62
$C_{md}$ (factor) [-]	0,50	0,62	0,71	0,38	0,44	0,51	0,26	0,41	0,34
$b$ [-]	0,018	0,026	0,026	0,015	0,022	0,029	0,014	0,013	0,015
<b>Zoutgedrag</b>									
$C/k(0)$ [-]	0,83	0,83	0,77	0,79	0,84	0,83	0,75	0,80	0,77
$d(c/k)$ [-]	0,22	0,20	0,24	0,19	0,30	0,28	0,19	0,25	0,21
$\tau_{salt}$ [jaar]	19	21	27,2	6,3	21	25,2	13,1	25	30

In de LTS-II methodiek wordt in alle berekeningen aangenomen dat de compactie lineair verloopt op het moment dat de gasdruk hoger is (overdruk) dan de hydrostatische druk in het reservoir. Deze hydrostatische druk ligt ongeveer op 380 bar en dat wil zeggen dat de  $C_{md}$  waarde geldt voor de berekening van de compactie wanneer de druk zich bevindt tussen de 557 en 380 bar en waarbij de compactie lineair verloopt met de drukdaling. Wanneer de druk onder de hydrostatische druk komt, verloopt de compactie volgens het RTCiM compactiemodel en zal de  $C_{md}$  langzaam overgaan naar de  $C_{mref}$ . De waarde van de  $C_{mref}$  is hoger dan die van de  $C_{md}$  waardoor de compactie zal versnellen. Dit gegeven is belangrijk om de resultaten zoals gepresenteerd in de volgende paragraaf begrijpelijk te maken.

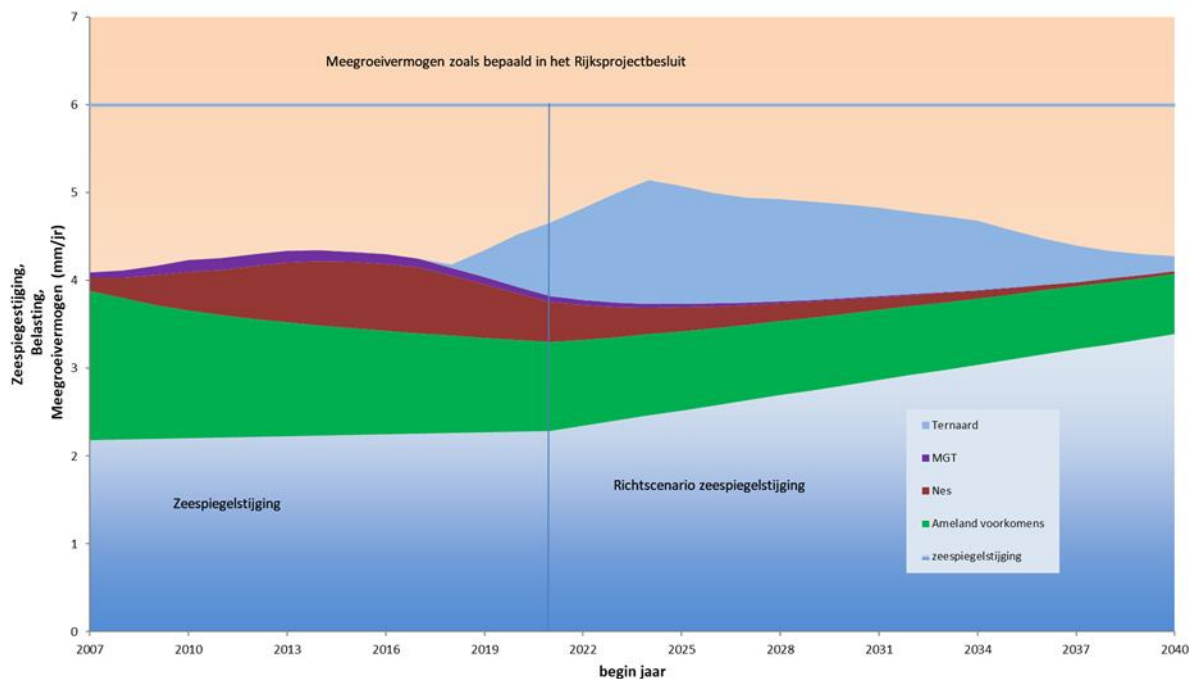
<sup>17</sup> NAM (2019) Gaswinning vanaf de locaties Moddergat, Lauwersoog en Vierhuizen; Resultaten uitvoering Meet- en regelcyclus 2018. EP201905200582



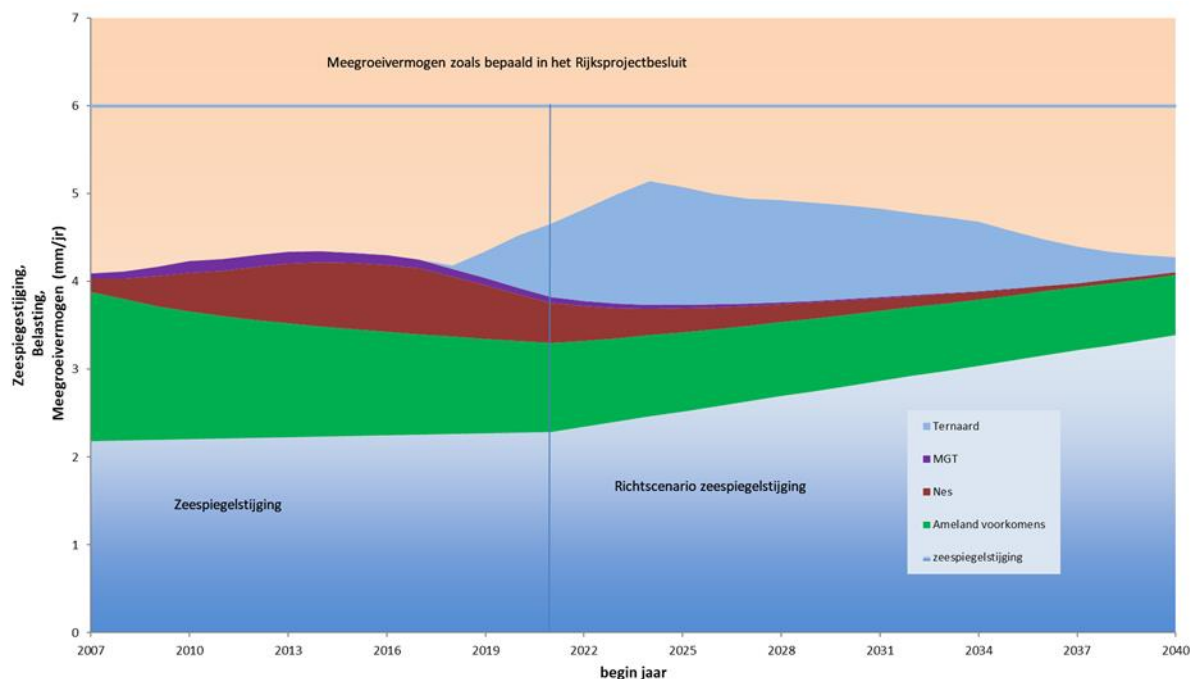
Figuur 11-2; Bodemdaling volgens de drie verschillende productiescenario's (kolommen) en met de midden "Wad2" geomechanische parameters (bovenste rij) en de hoge Ameland geomechanische parameters (Ame3, onderste rij). Voor de waarden van de "Wad2" en "Ame3" parametersets wordt verwezen naar Tabel 11-1.

### 11.4 Resultaten voor de bodemdalingssnelheid en belasting

Voor de negen sets van parameterwaarden genoemd in Tabel 11-1 zijn de bodemdaling, de bodemdalingssnelheden en belasting doorgerekend voor alle productiescenario's. De resultaten zijn weergegeven in Figuur 11-2,

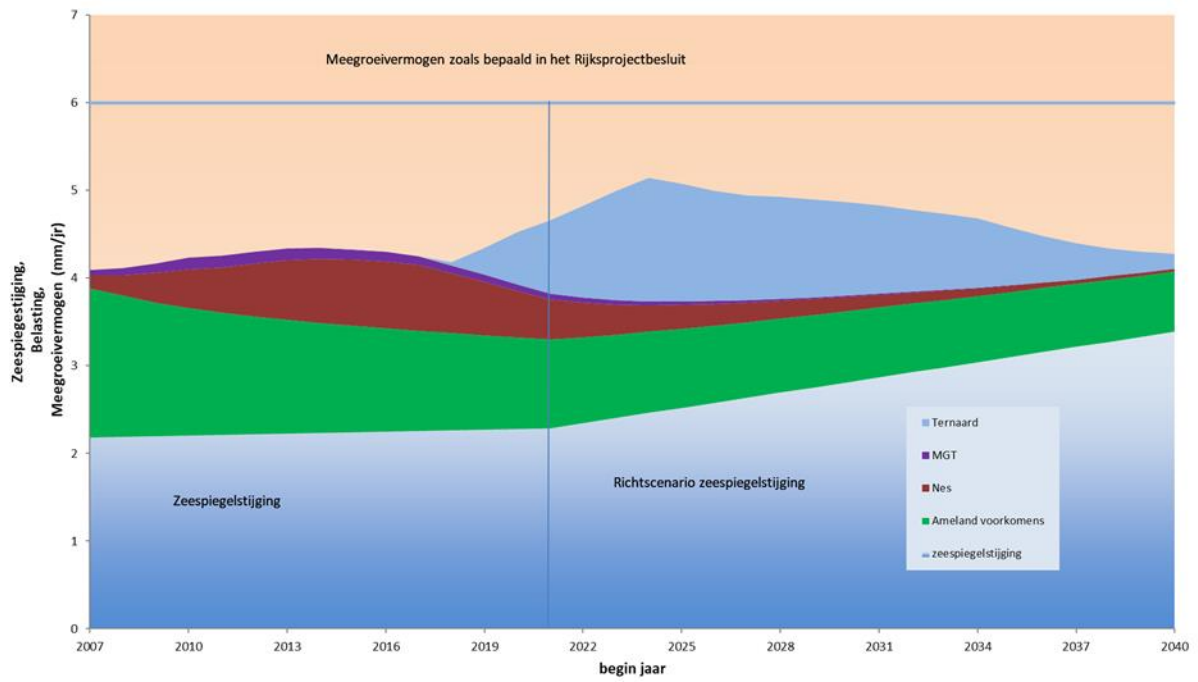


Figuur 11-3 en Figuur 11-4.

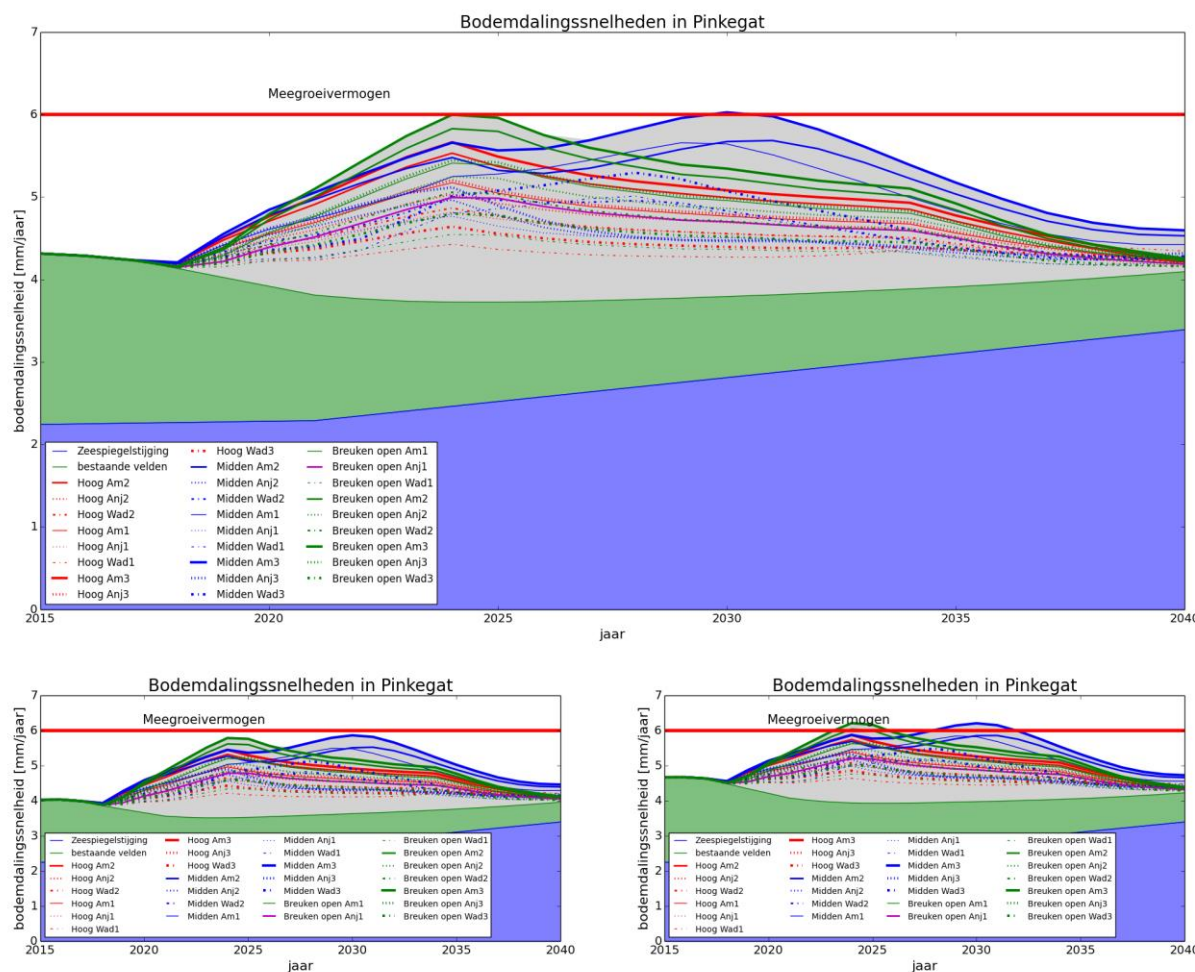


Figuur 11-3 toont het gewogen gemiddelde voor de belasting door Ternaard, gecombineerd met de resultaten voor de belasting voor de overige Waddenvelden volgens de Meet en Regelcyclus 2018. Figuur 11-4 toont de belasting voor alle scenario's. Het meest opvallende aan dit figuur is dat het hoge productiescenario en "breuken open" scenario, gemiddeld een lagere belasting oplevert dan het midden productiescenario. Dit lijkt tegenstrijdig, maar valt te verklaren doordat zowel in het hoge als in het "breuken open" scenario de productie wordt verdeeld over een groter gebied, met een lagere drukkaling tot gevolg. In deze scenario's blijft de druk boven de 380 bar, wat resulteert in een beperkte compactie en bodemdaling. In het midden productiescenario daalt de druk onder de hydrostatische druk, waarbij de  $C_{md}$  overgaat in de  $C_{mref}$ . In de Hand-aan-de-Kraan procedure is uiteindelijk de verwachte bodemdaling bepalend voor de inschatting van de belasting en deze wordt bepaald door het gewogen gemiddelde van alle bodemdalingsscenario's te berekenen. In LTS-II wordt dit gewogen gemiddelde bepaald op basis van de kans per scenario die is berekend als functie van de passing met de gemeten bodemdaling. In het geval van Ternaard is dit (nog) niet mogelijk. In Figuur 11-4 is daarom aangenomen dat alle 27 scenario's een gelijke waarschijnlijkheid hebben.





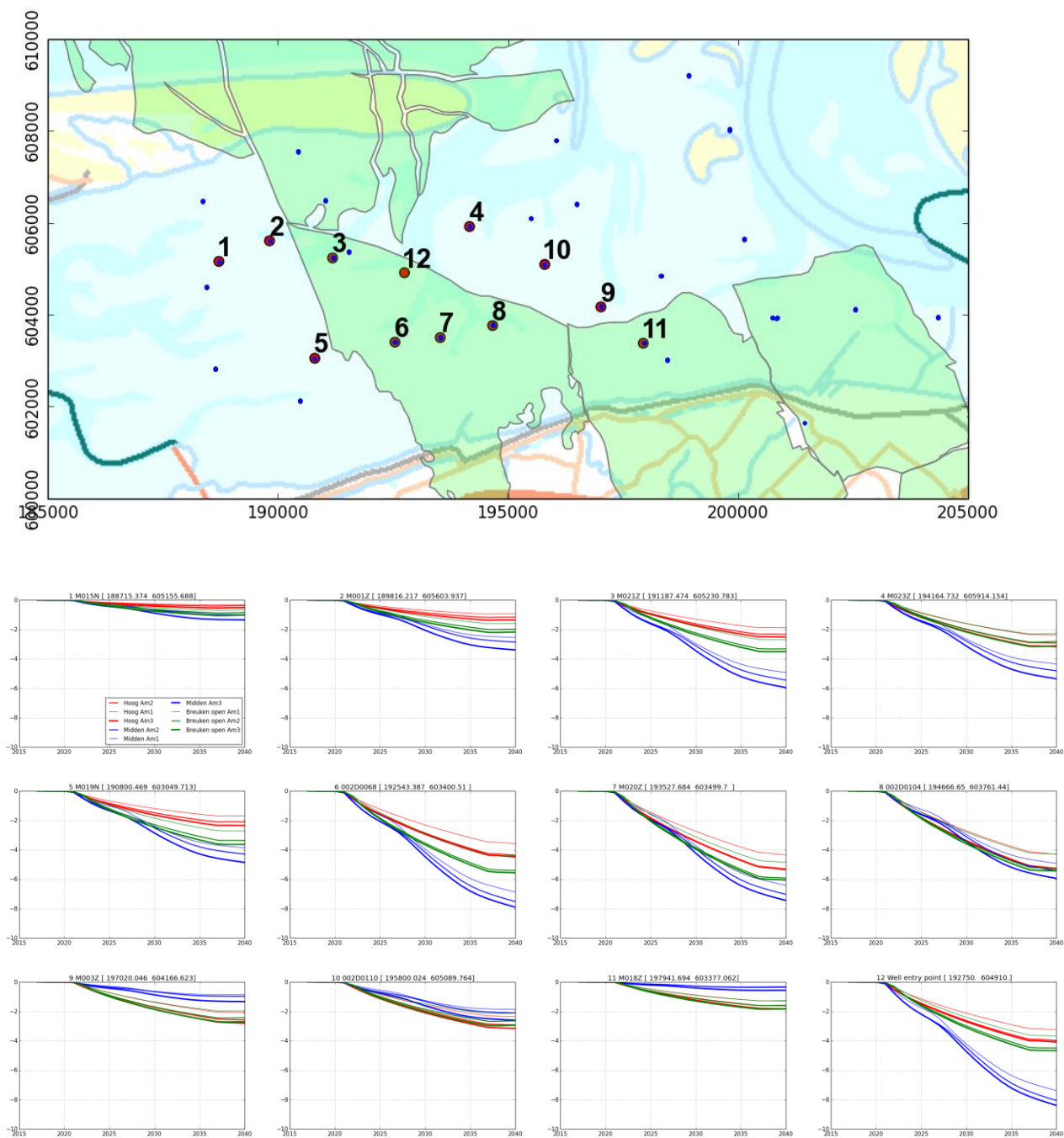
Figuur 11-3; Belasting (6-jaarlijks gemiddelde van de bodemdalingssnelheid) versus tijd volgens het gewogen gemiddelde van de 27 verschillende Ternaard bodemdalingsscenario's gecombineerd met het midden productiescenario uit de M&R 2018 rapportage.



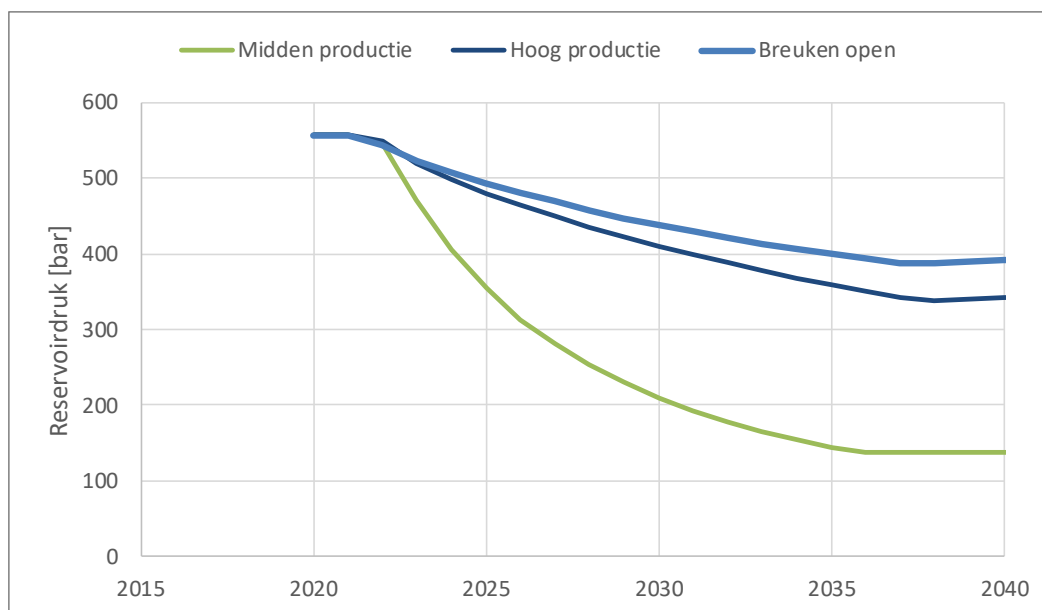
Figuur 11-4; Belasting (6-jaarlijks gemiddelde van de bodemdalingssnelheid) versus tijd voor de 27 verschillende Ternaard bodemdalingsscenario's gecombineerd met de midden (bovenste figuur), lage (linksonder) en hoge (rechtsonder) productiescenario's uit de M&R 2018 rapportage. De blauwe lijnen gelden voor het midden productiescenario, de rode lijnen voor het hoge productiescenario en de groene lijnen voor het "breuken open" scenario. De doorgetrokken lijnen representeren de geomechanische parameterwaarden passend bij Ameland, de stippellijnen Anjum en de gestreepte lijnen Waddenzee.

### 11.5 Resultaat voor de bodemdaling op bestaande meetpunten in het Pinkegat kombergingsgebied

De gemodelleerde bodemdaling is op een aantal meetpunten in de Waddenzee en op de positie waar de boring de top van het reservoir in de ondergrond bereikt, getoond in Figuur 11-5. In dit figuur is te zien dat de scenario's die gebaseerd zijn op het midden productiescenario (dikgedrukte lijnen) de hoogste bodemdaling geven binnen de bepaalde aannames voor de geomechanische parameterwaarden. Volgens dit productiescenario wordt een versnelling van de bodemdaling verwacht na het jaar 2026. Deze versnelling kan verklaard worden doordat de druk na 3 jaar productie lager wordt dan de hydrostatische druk (Figuur 11-6), waarna de compactie langzaam zal gaan toenemen. Deze versnelling wordt niet verwacht in de overige productiescenario's en daarom is het belangrijk om met monitoring in een vroeg stadium onderscheid te kunnen maken tussen de verschillende scenario's. Deze monitoring zal bestaan uit periodieke drukmetingen (sectie 11.6) en geodetische metingen (sectie 11.7).



Figuur 11-5: Voorspelde bodemdaling door productie uit Ternaard in cm op diverse meetlocaties (zie kaart).



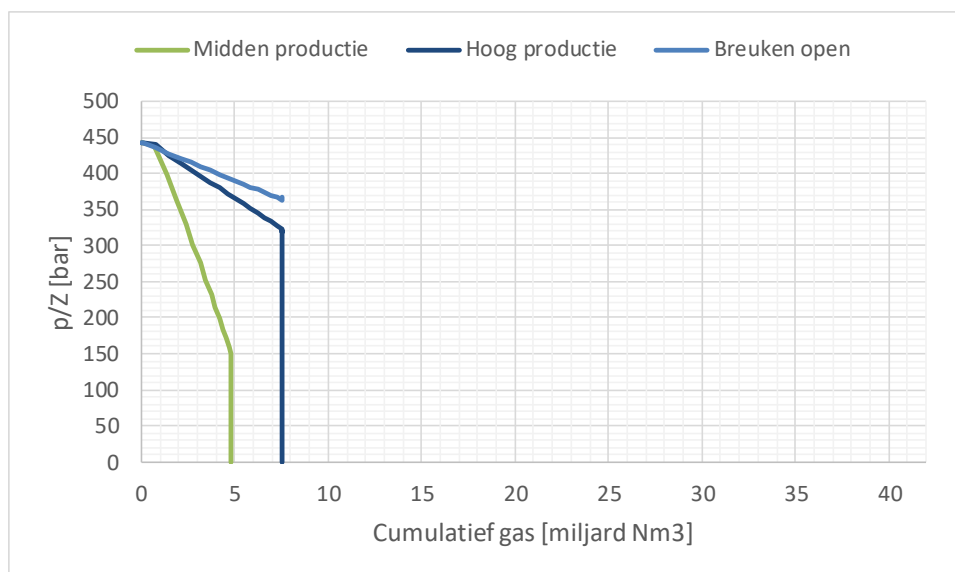
Figuur 11-6: Reservoirdruk vs. tijd voor het midden (basis) reservoirscenario (groen), hoge reservoirscenario (donkerblauw) en “breuken open” scenario.

### 11.6 Detectie van reservoirscenario's door middel van drukmetingen

Met behulp van periodieke drukmetingen in de put kan worden bepaald hoe groot het gasvolume is, dat is verbonden met de put. Dit gebeurt aan de hand van p/Z plots, waarbij de druk (p) wordt gecorrigeerd met een factor Z. Deze factor corrigeert voor de afwijking van de ideale gaswet en hangt af van de samenstelling van het gas. De p/Z-plots behorende bij de scenario's zijn te vinden in Figuur 11-7, waarbij de drukken zelf staan in Sectie 11.9. Als de lijnen geëxtrapoleerd worden naar de horizontale as kan het gasvolume afgelezen worden dat is verbonden met de put. Hieruit blijkt dat na 1 à 2 miljard Nm<sup>3</sup> productie (ongeveer na 2 jaar in het midden scenario) de twee lijnen uit elkaar beginnen te lopen, en op dat moment dus bepaald kan worden welke realisatie actueel is. Dit geeft voldoende tijd om met het Hand-aan-de-Kraan principe overschrijding van gebruiksruimte te voorkomen.

De drukgegevens zijn minder bruikbaar om onderscheid te maken tussen het hoge en de “breuken open” scenario, waarbij in het laatstgenoemde scenario is aangenomen dat alle breukblokken dalen in druk. Om onderscheid tussen deze twee scenario's mogelijk te maken kan de TRN-1 put in het zuidelijke breukblok gebruikt worden als observatieput om de reservoirdruk in dat blok te meten. Dit zou nuttig kunnen zijn als na 1 à 2 miljard Nm<sup>3</sup> productie blijkt dat de p/Z-plot op basis van de reservoirdrukken in TRN-201 aangeven dat het verbonden gasvolume in lijn is met de hoge en de “breuken open” scenario's.

Het drukverloop, in combinatie met metingen rond bodemdaling, zal jaarlijks met de Meet- en Regelcyclus geëvalueerd worden. Indien nodig worden er productiemaatregelen voorgesteld om binnen het meegroeivermogen te blijven. In de volgende paragraaf zal worden uitgelegd hoe geodetische metingen kunnen worden gebruikt om mogelijk verder onderscheid te kunnen maken tussen de productiescenario's.



Figuur 11-7; Druk vs. volume grafieken (i.e. p/Z plots) behorend bij het midden productiescenario (groen) en hoge productiescenario (blauw). Na productie van 1 tot 2 miljard Nm<sup>3</sup> lopen de twee lijnen significant uit elkaar en kan op basis van productie en gemeten druk onderscheid worden gemaakt tussen de verschillende scenario's.

### 11.7 Detectie van bodemdalingsscenario's door middel van geodetische metingen

Deze paragraaf beschrijft de rol van de geodetische metingen, zoals die worden uitgevoerd in het kader van de Meet- en regelcyclus, op de onderscheidbaarheid van de bodemdalingsscenario's op basis van de drie productiescenario's.

Figuur 11-5 toont de spreiding van voorspelde bodemdaling ('oplossingsruimte') vóór aanvang van de winning uit het Ternaard voorkomen. De geodetische metingen tijdens de winning zullen uitwijzen welke bodemdalingsscenario's het meest waarschijnlijk zijn.

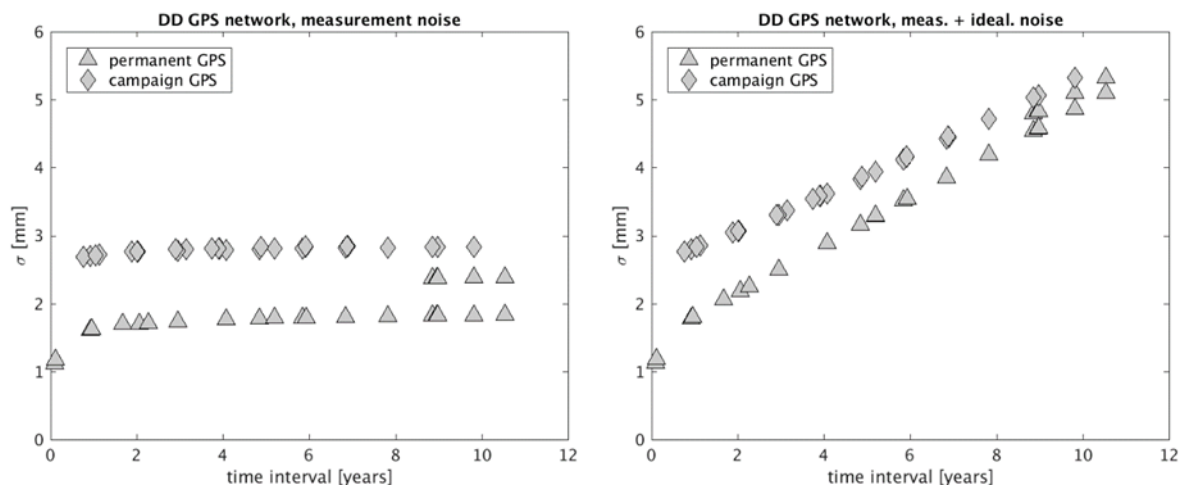
In de LTS-II studie is uitvoerig aandacht besteed aan de nauwkeurigheid van geodetische metingen. Deze nauwkeurigheid is bepalend voor het vroegtijdig onderscheid maken tussen de verschillende bodemdalingsscenario's en dus ook voor het vroegtijdig onderscheiden van het scenario dat leidt tot een hogere belasting.

#### 11.7.1 Nauwkeurigheid GPS-metingen

Onderdeel van de LTS-II studie is de nauwkeurighedsbeschrijving van geodetische metingen. De focus in dit document ligt op GPS-metingen die voor het kombergingsgebied Pinkegat worden uitgevoerd.

Figuur 11-8 geeft inzicht in de GPS-precisie voor permanente en campagne metingen, voor enkel de meetprecisie (Figuur 11-8 links) en inclusief de idealisatieprecisie (Figuur 11-8, rechts). De idealisatieprecisie is de mate waarin de beweging van de peilmerken representatief is voor de diepe bodemdaling. Verschilmetingen tussen twee tijdstippen op een meetpunt ten opzichte van het GPS-referentie netwerk hebben de volgende precisie:

- Na ca. 2 jaar is de 1-sigma meetprecisie van permanente en campagne metingen respectievelijk ca. 2 en 3 mm (2-sigma: 4 en 6 mm).
- Na ca. 5 jaar is de 1-sigma totale precisie van permanente en campagne metingen respectievelijk ca. 3 en 4 mm (2-sigma: 6 en 8 mm).
- Na ca. 7 jaar is de 1-sigma totale precisie van permanente en campagne metingen respectievelijk ca. 4 en 4,5 mm (2-sigma: 8 en 9 mm).



Figuur 11-8; Uit Figuur 37 van de LTS-II vervolgstudie: meetprecisie van GPS-verschilmetingen (permanent en campagne) zonder (links) en met idealisatieprecisie (rechts).

### 11.7.2 Onderscheidbaarheid van bodemdalingsscenario's op basis van geodetische metingen

Voor de detecteerbaarheid van de verschillende bodemdalingsscenario's geeft het verloop van de bodemdaling op de meetpuntlocaties inzicht. Figuur 11-5 toont het verschil tussen het midden en hoge productiescenario voor de parametersets Am1/2/3, die de meeste bodemdaling veroorzaken. De hoge bodemdalingsscenario's (basis Am1/2/3) zijn onderling niet onderscheidbaar gezien de nauwkeurigheid van GPS-metingen. De onderscheidbaarheid met de overige scenario's vindt plaats na 2027, met name op de peilmerkclusters M021 en 002D0066/67/68 en de toekomstige locatie boven waar de put het reservoir binnegaat. Op basis van de periodieke drukmetingen (P/z plots, Figuur 11-7) kan echter al na 2 jaar productie bepaald worden of het midden of hoge productiescenario's geldig zijn. Ter ondersteuning van het vaststellen van de waarschijnlijkheid van de bodemdalingsscenario's zullen in de beginperiode jaarlijks GPS-campagnemetingen worden uitgevoerd.

De NAM verwacht dat de onderscheidbaarheid tussen de bodemdalingsrealisaties kan worden verhoogd door een extra GPS-cluster te plaatsen in de nabijheid van de locatie boven het punt waar de boring door het reservoir gaat (punt 12 in Figuur 11-5). De NAM zal dit doen in de eerstvolgende Waddenzee GPS-campagne en indien de fysieke omstandigheden op het Wad dit toelaten (droogvallende wadplaat).

### 11.8 Conclusies

Bovenstaande analyse laat zien dat de gemiddelde voorspelling van de bodemdalingssnelheid in het Pinkegat kombergingsgebied, volgens het RTCiM model, binnen de gebruiksruimte ligt. Hiervoor zijn 27 bodemdalingsscenario's gemaakt die gebaseerd zijn op 9 geomechanische parametersets en 3 productiescenario's. De spreiding van de mogelijke belasting ligt niet in alle scenario's binnen de gebruiksruimte. Met behulp van monitoring kan, volgens de verwachting, na twee jaar worden bepaald welk reservoirscenario geldig is. Aanvullend zal de geodetische monitoring, ongeveer 5 jaar na start van de productie, verder kunnen uitwijzen welke waarden voor de geomechanische parameters een hogere waarschijnlijkheid krijgen.

Ternaard zal gaan vallen onder het Waddenzee meet- en regelprotocol, waarmee jaarlijks een rapportage van de metingen en modelpassingen zal worden verzorgd. Na drie jaar wordt er met de tot dan toe gedane metingen op een geïntegreerde wijze voor de waddenwinningen, indien nodig, maatregelen voorgesteld om de productie te beperken.

### 11.9 Reservoirdrukken per blok en per jaar

Reservoirdrukken (in bar) worden in de tabellen hieronder gepresenteerd per blok (zie Figuur 6-1) voor de midden, hoog en “breuken open” scenario’s.

#### Midden scenario

Blok nummer	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
<b>b1</b>	557	557	557	557	557	557	557	557	557	557	557	557	557	557	557	557	557	557
<b>b2</b>	557	557	557	557	557	557	557	557	557	557	557	557	557	557	557	557	557	557
<b>b3</b>	557	557	557	545	470	405	354	314	280	253	230	210	193	178	165	154	143	139
<b>b4</b>	557	557	557	557	557	557	557	557	557	557	557	557	557	557	557	557	557	557
<b>b5</b>	557	557	557	557	557	557	557	557	557	557	557	557	557	557	557	557	557	557

2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044	2045	2046	2047	2048	2049	2050	2051	2052
557	557	557	557	557	557	557	557	557	557	557	557	557	557	557	557	557
557	557	557	557	557	557	557	557	557	557	557	557	557	557	557	557	557
139	139	139	139	139	139	139	139	139	139	139	139	139	139	139	139	139
557	557	557	557	557	557	557	557	557	557	557	557	557	557	557	557	557
557	557	557	557	557	557	557	557	557	557	557	557	557	557	557	557	557

#### Hoog scenario

Blok nummer	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
<b>b1</b>	557	557	557	557	557	557	557	557	557	557	557	557	557	557	557	557	557	557
<b>b2</b>	557	557	557	543	508	488	470	455	441	427	415	403	392	381	371	362	353	345
<b>b3</b>	557	557	557	549	519	498	480	464	450	435	422	410	398	388	378	368	359	351
<b>b4</b>	557	557	557	556	535	513	494	477	461	447	433	420	408	397	387	376	368	359
<b>b5</b>	557	557	557	557	557	557	557	557	557	557	557	557	557	557	557	557	557	557

2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044	2045	2046	2047	2048	2049	2050	2051	2052
557	557	557	557	557	557	557	557	557	557	557	557	557	557	557	557	557
337	332	340	341	341	341	341	341	341	341	341	341	341	341	341	341	341
343	337	341	341	341	341	341	341	341	341	341	341	341	341	341	341	341
351	343	342	342	341	341	341	341	341	341	341	341	341	341	341	341	341
557	557	557	557	557	557	557	557	557	557	557	557	557	557	557	557	557

## Breuken Open scenario

Blok nummer	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
<b>b1</b>	557	557	557	556	543	523	507	493	480	469	458	447	438	429	421	413	406	399
<b>b2</b>	557	557	557	556	543	523	507	493	480	469	458	447	438	429	421	413	406	399
<b>b3</b>	557	557	557	556	543	523	507	493	480	469	458	447	438	429	421	413	406	399
<b>b4</b>	557	557	557	556	543	523	507	493	480	469	458	447	438	429	421	413	406	399
<b>b5</b>	557	557	557	556	543	523	507	493	480	469	458	447	438	429	421	413	406	399

2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044	2045	2046	2047	2048	2049	2050	2051	2052
393	387	388	390	392	392	392	392	392	392	392	392	392	392	392	392	392
393	387	388	390	392	392	392	392	392	392	392	392	392	392	392	392	392
393	387	388	390	392	392	392	392	392	392	392	392	392	392	392	392	392
393	387	388	390	39	392	392	392	392	392	392	392	392	392	392	392	392



## 12 Bijlage B: Seismische Risico Analyse

De winning van aardgas gaat gepaard met een daling van de druk in de ondergrond met als gevolg een verandering van de gesteentespanningen. Deze verandering van spanning kan leiden tot plotselinge bewegingen langs bestaande breuken, waardoor mogelijk een lichte aardbeving kan plaatsvinden. In Nederland is/wordt uit ongeveer 140 olie- en gasvelden op het vasteland geproduceerd. Boven ongeveer 20% van de velden zijn bevingen geregistreerd. Boven 11 velden zijn bevingen geregistreerd die ook duidelijk aan het oppervlak voelbaar waren (Magnitude meer dan 2,0 op de schaal van Richter).

Stap 1: Inschatten risicopotentieel voor de verschillende voorkomens. Voor het inschatten van het risicopotentieel is uitgegaan van de maximale drukdaling volgens het "high case" productieprofiel<sup>18</sup>.

De kans op beven van een olie- of gasvoorkomen

In de studie 'Deterministische Hazard Analyse voor Geïnduceerde Seismiciteit (DHAI)<sup>19</sup> is onderzocht welke eigenschappen (geologische, productietechnische en geomechanische eigenschappen) van olie- en gasvoorkomens invloed hebben op het wel of niet optreden van aardbevingen. In 2012 is een update van deze studie uitgevoerd, waarin alle nieuwe data zijn meegenomen tot mei 2010<sup>20</sup>. Aan de hand van de volgende parameters van een olie- of gasvoorkomen wordt de kans op beven van dat voorkomen bepaald:

- DP/Pini: De ratio van drukval (DP) en initiële druk (Pini) in het reservoir;
- $E$ : de verhouding tussen de Young's moduli (stijfheidsmoduli) van de 'overburden' en het reservoirgesteente;

$$E = \frac{E_{burden}}{E_{reservoir}}$$

- $B$ : een maat voor de breukdichtheid van het reservoir.

$$B = \frac{\text{breukoppervlakte}^{3/2}}{\text{brutogesteentevolume}} = \frac{l_b^{3/2} \cdot h^{3/2}}{A \cdot h} = \frac{l_b^{3/2} \cdot \sqrt{h}}{A}$$

Waarbij:

$l_b$  = De totale breuklengte van de intra reservoir breuken en de randbreuken van het voorkomen in meters;

$h$  = De maximale dikte van de gaskolom van het voorkomen in meters;

$A$  = De oppervlakte van het voorkomen gemeten binnen de gas-water-contact-dieptecontour (in vierkante meters);

---

<sup>18</sup> Het hoog scenario productieprofiel is gebruikt om de druk te bereken in het veld. Om een conservatieve schatting te geven van de mogelijke bovengrondse gevolgen is in dit geval gekozen om de druk te middelen voor het gehele veld.

<sup>19</sup> TNO-rapport NITG 04-171-C. Van Eijs, 2004. Deterministische hazard analyse voor geïnduceerde seismiciteit

<sup>20</sup> TNO-rapport 2012 R10198. Van Thienen, 2012. Deterministische hazard analyse voor geïnduceerde seismiciteit in Nederland.

De combinatie van de parameterwaarden geven een kans op beven voor een bepaald voorkomen gedurende de productietijd.

Reeds bevende voorkomens	
DP/P <sub>ini</sub> ≥ 28%	B > 0,86 en E ≥ 1,34: P <sub>h</sub> = 0.42 ± 0.08
	B > 0,86 en 1,01 ≤ E ≤ 1,33: P <sub>l</sub> = 0.19 ± 0.05
	B < 0,86 en/of E < 1,01: verwaarloosbare kans
DP/P <sub>ini</sub> < 28%	Verwaarloosbare kans

De waarden die zijn gebruikt in de bepaling van de DHAIS-kans zijn gegeven in Tabel 12-1.

Tabel 12-1: Invoergegevens voor de bepaling van de DHAIS en de DHAIS-kansen.

Reservoir dikte / gaskolom (m) <sup>21</sup>	Initiële druk (bar)	Totale drukkaling volgens hoog-scenario (bar)	Totale breuklengte (km)	Reservoir oppervlakte (km <sup>2</sup> )	Maximale waargenomen aardbeving	Aantal aardbevingen per jaar	DHAIS E <sup>22</sup>	DHAIS B	DHAIS kans
112 <sup>23</sup>	557	216	23,2	18,5	geen	geen	1,28	2,08	19%

#### Realistisch sterkste beving

Naast de kans op beven, wordt ook een theoretische waarde voor de “realistisch sterkste beving” (Mmax) bepaald. Er worden twee methoden gebruikt om de Mmax waarde te bepalen: op basis van breukgeometrie en op basis van energiebalans. In de Seismisch Risico Analyse leidraad worden beide methoden gebruikt. Voor de berekeningen van de Mmax is uitgegaan van de standaardwaarden voor de “stress drop” en “partitie coëfficiënt” die gegeven zijn in de leidraad (respectievelijk 5 MPa en 0,01). De veldspecifieke waarden die benodigd zijn voor de berekeningen en de uitkomsten voor de Mmax staan vermeld in Tabel 12-2.

Tabel 12-2: Invoergegevens voor de bepaling van de Mmax, en de Mmax waarden volgens de twee methoden.

Langste breuklengte (km) <sup>24</sup>	Poisson's ratio <sup>25</sup>	Breukhoogte (m)	Mmax energiebalans	Mmax breukslip
6,6	0,2	112	3,3	3,7

#### Stap 2: Risico matrix

Voor het voorkomen Ternaard is het nodig gebleken om de risicomatrix te gebruiken (“Stap 2” van de SRA). Voor elke factor die bepaald is voor de onder- en bovengrond wordt een score gegeven waarbij de som van de scores een positie geeft in de risico matrix.

<sup>21</sup> Voor de DHAIS berekening wordt zowel de hoogte van de gaskolom als de totale reservoir dikte beschouwd. Het minimum van deze twee wordt gekozen voor de berekening van de “B” waarde zoals voorgeschreven door de DHAIS methodiek

<sup>22</sup> Young's moduli ratio volgens TNO rapport: Deterministische hazard analyse voor geïnduceerde Seismiciteit, NITG 04-171-C. Voor nieuwe velden wordt de ratio van een analoog veld met dezelfde reservoir seal combinatie gebruikt

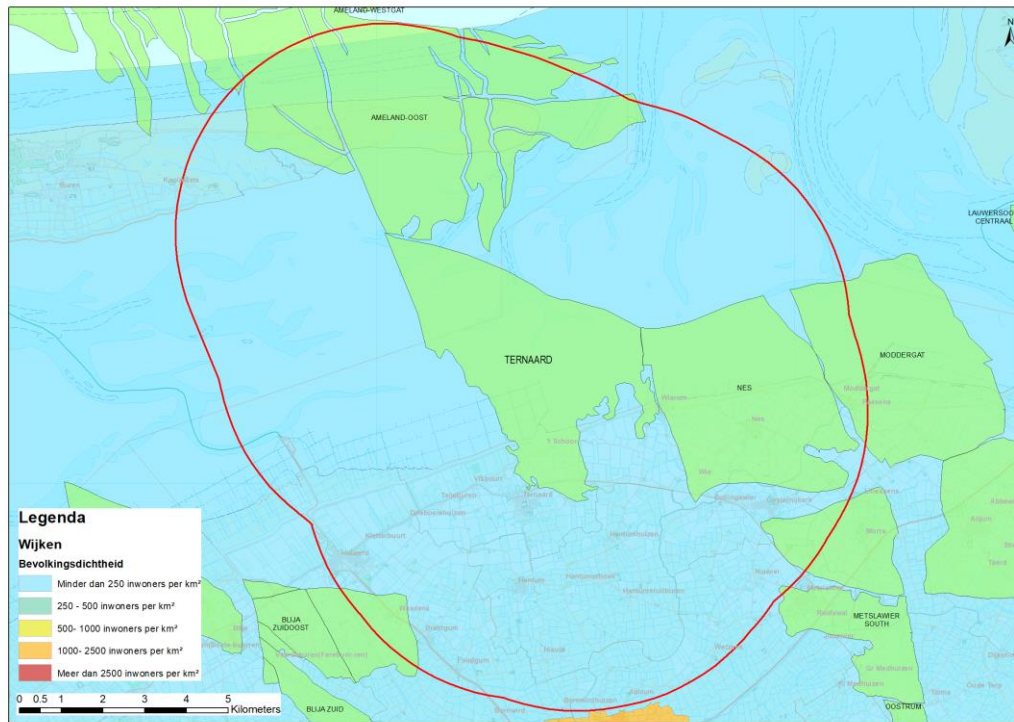
<sup>23</sup> Maximale depleterende dikte. De depleterende diktes voor de verschillende blokken zijn: b1: 104 m; b2, b3, b4: 112 m en voor b5: 73 m.

<sup>24</sup> Langste breuklengte is aangegeven op de kaart in bijlage C met blauwe pijl

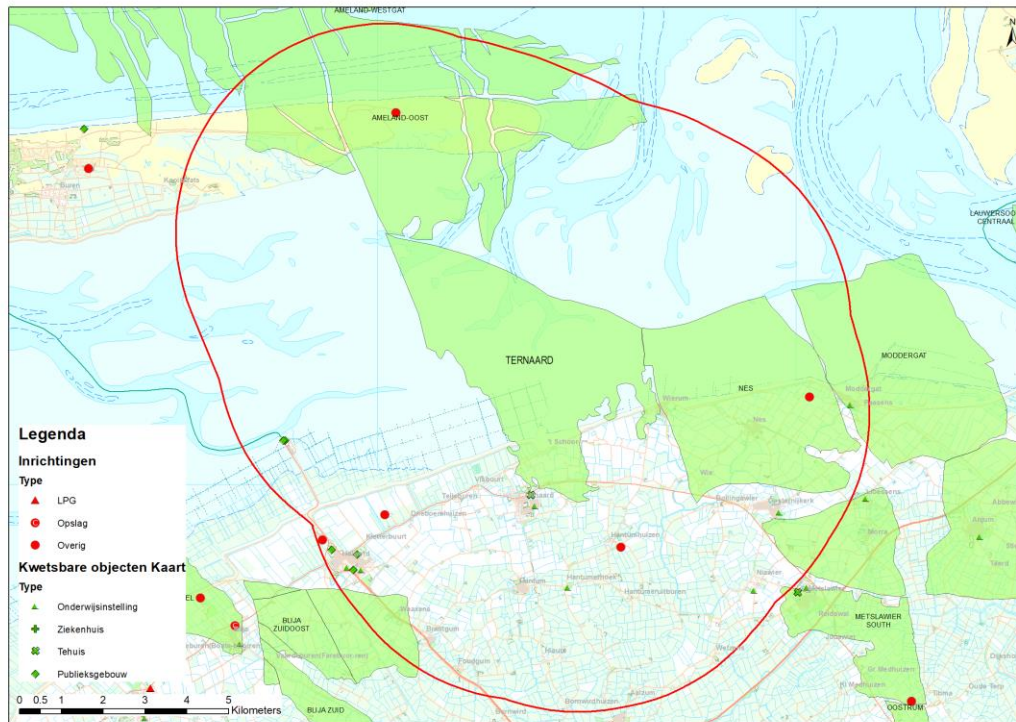
<sup>25</sup> Poisson's ratio gebaseerd op gemiddelde waarde voor gecementeerde zandsteen op basis van kernplugmetingen

In dit deel van de bijlage worden de figuren en tabellen getoond die gebruikt zijn om tot een risicobeoordeling te komen.

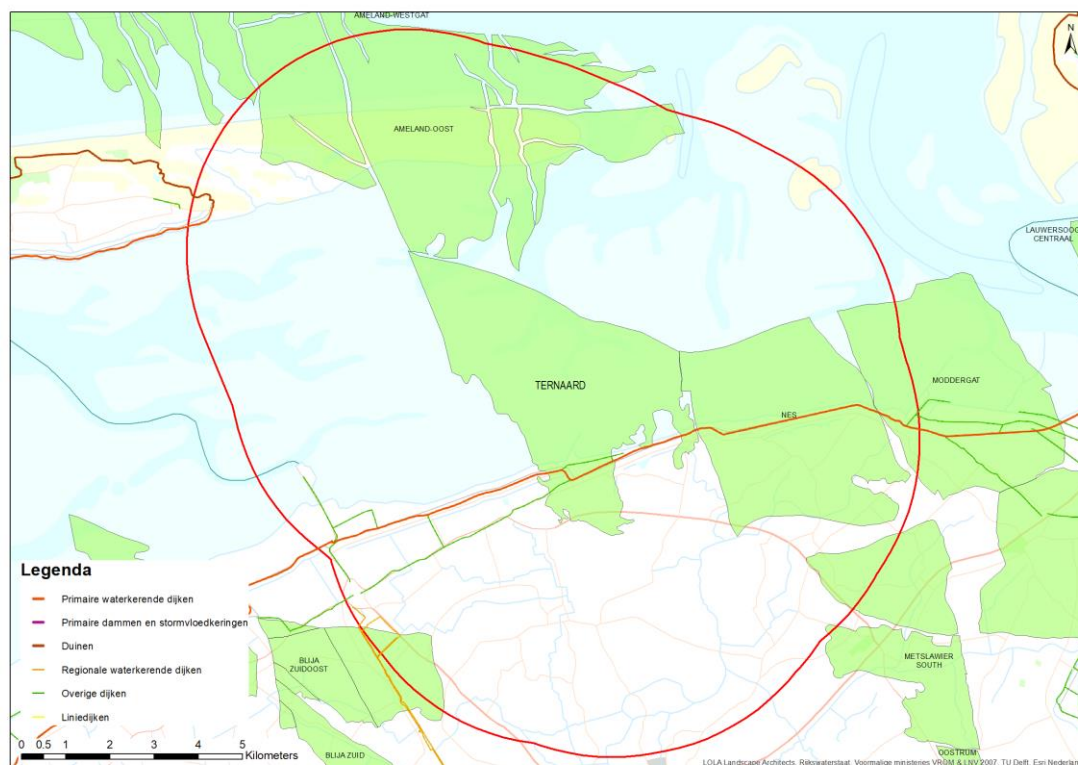
Figuur 12-1, Figuur 12-2, Figuur 12-3 tonen de situaties voor respectievelijk “Bevolkingsdichtheid”, “Industriële inrichtingen”, “Speciale gebouwen en vitale infrastructuur” en “Dijken”. Figuur 12-4 toont de kaart van de grondsoorten in de ondiepe ondergrond kaart om de mate van opslingering te bepalen. Tabel 12-3 A en B toont de evaluatie en scores voor de invloedfactoren. De risicomatrix is afgebeeld in Figuur 8-4.



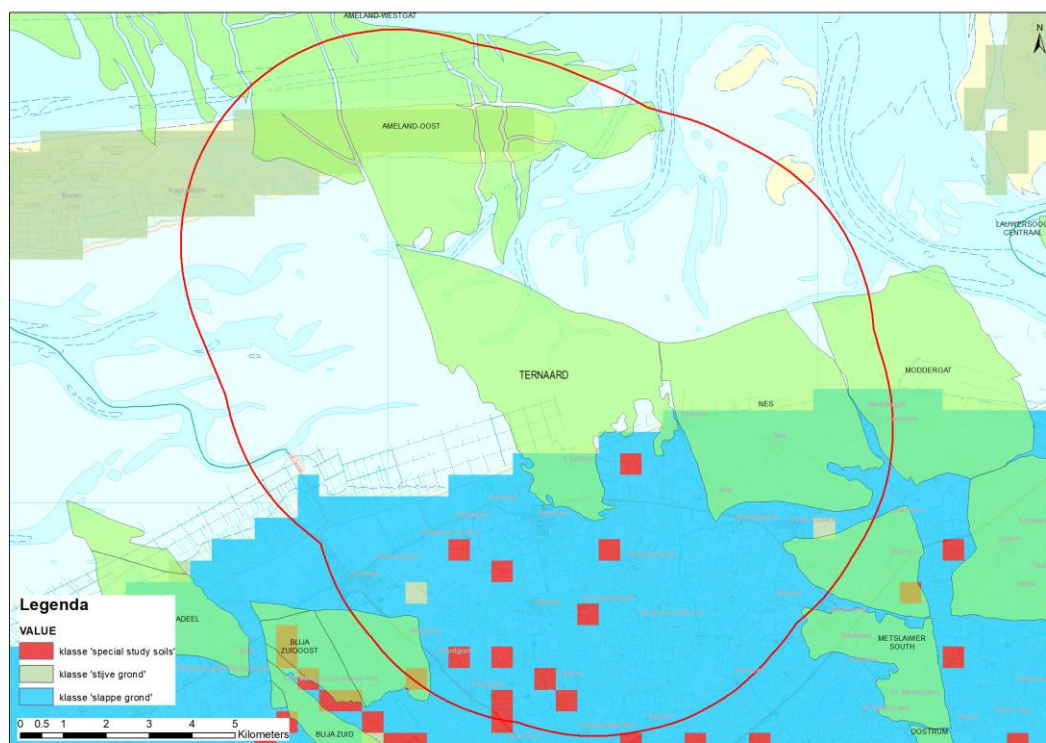
Figuur 12-1: Overzicht van de bevolkingsdichtheid boven het Ternaard veld.



Figuur 12-2: Overzicht van de industriële inrichtingen (rode punt), ziekenhuizen (groene plus) onderwijsinstellingen (groene driehoek), tehuizen (groene x) en publieksgebouwen (groene ruit) boven het Ternaard veld. De rode cirkel geeft de 5 km straal rond het Ternaard veld aan die relevant is voor de SRA.



Figuur 12-3: Overzicht van de dijken (bruin: primaire dijken, groen: secundaire dijken). De rode cirkel geeft de 5 km straal rond het Ternaard veld aan die relevant is voor de SRA.



Figuur 12-4: Overzicht van de grondsoorten in de ondiepe ondergrond om de mate van opslinging te bepalen

Uit de analyse op basis van bovenstaande figuren volgen de scores voor de verschillende factoren. Tabel 12-3 geeft de evaluatie en bijbehorende scores voor Ternaard.

Tabel 12-3: Kwantitatieve evaluaties (A) en daaruit voortkomende scores (B) voor de invloedfactoren onder- en bovengrond

**A**

Dhais	Mmax	Analoge velden	Opslingering <sup>26</sup>	Bevolkingsdichtheid (aantal inwoners per km <sup>2</sup> )	Industriële inrichting	Speciale gebouwen en vitale infrastructuur	Dijken
P=19%	1 methode 3,6 - 4,0	Boven de lijn Amsterdam - Arnhem	30 - 60% slappe grond	< 250	1 boven het veld en/of meerdere binnen 5 km rond het veld.	1 school, tehuis en/of publieksgebouw boven het veld of meerdere binnen 5 km rond het veld.	Primaire dijken boven het veld

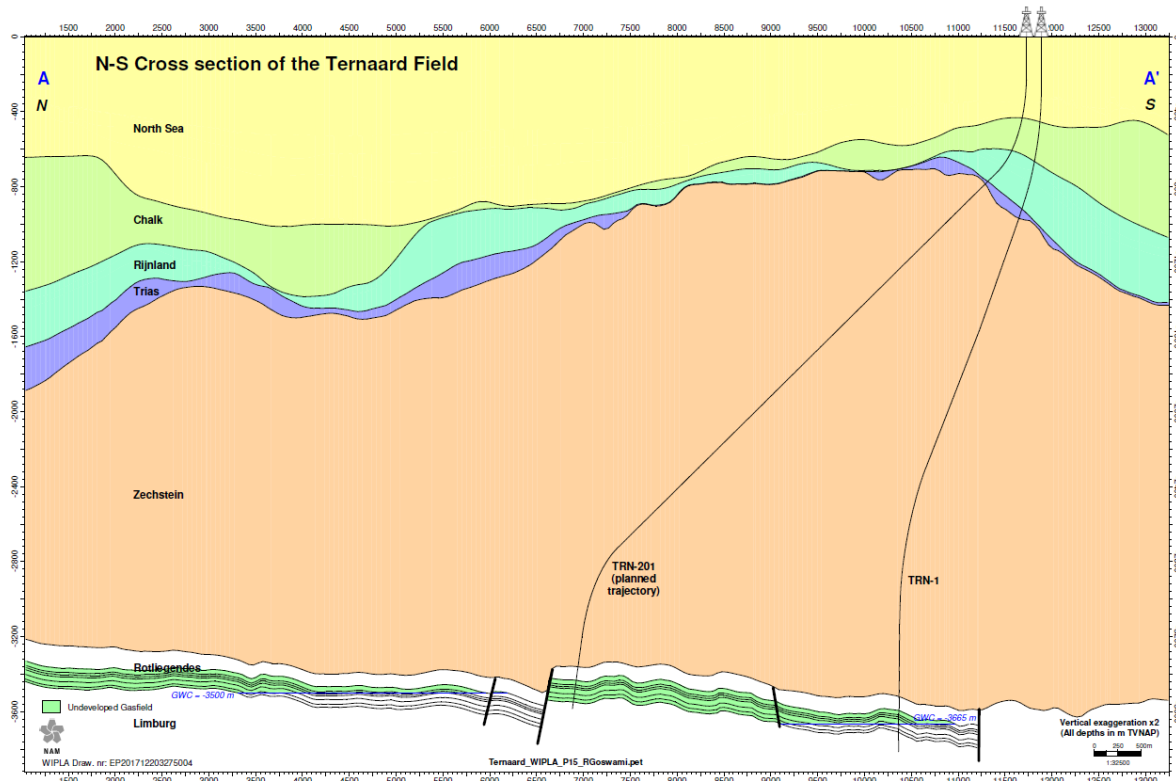
**B**

score invloedfactoren ondergrond					score invloedfactoren bovengrond					
Kans op beven of waargenomen bevingen	Magnitude	Ligging voorkomen	Opslingering	Genormaliseerde totaalscore ondergrond	Bevolkings dichtheid	Industriële inrichtingen	Speciale gebouwen en vitale infrastructuur	Dijken	Genormaliseerde totaalscore bovengrond	Categorie
1	2	2	2	0,5	0	3	2	4	0,56	I

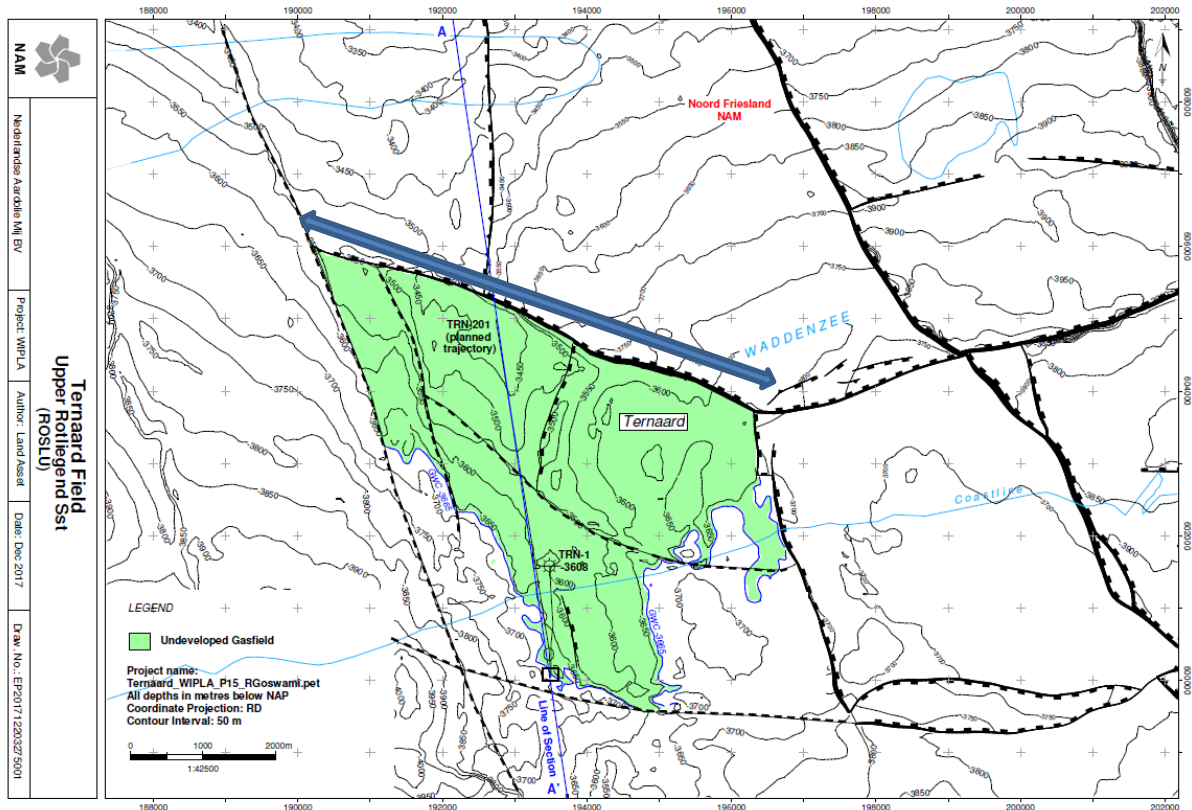
<sup>26</sup> Aangenomen is dat de bodem onder de Waddenzee vooral uit zand is opgebouwd, waarmee deze bodem onder de klasse "stijve grond" valt.

# 13 Bijlage C: Geologische kaarten voor het Ternaard veld

## Doorsnede



## Structuurkaart



**Beantwoording vragen ministerie van EZK juli 2021**



## Actualisatie en toelichting winningsplan Ternaard

Op 2 juli 2021 heeft het Ministerie van Economische Zaken en Klimaat gevraagd om een toelichting op en een actualisatie van het winningsplan Ternaard van 25 juni 2019. In dit document worden de vragen één voor één beantwoord. Achtereenvolgens worden de vragen en antwoorden gegeven voor de onderwerpen bodemdalingssnelheid, bodemdaling en bodemtrilling.

### **Bodemdalingssnelheid**

#### ***Vraag 1:***

Een herberekening van de belasting van het Pinkegat naar aanleiding van het advies van TNO van 18 december 2020 met betrekking tot:

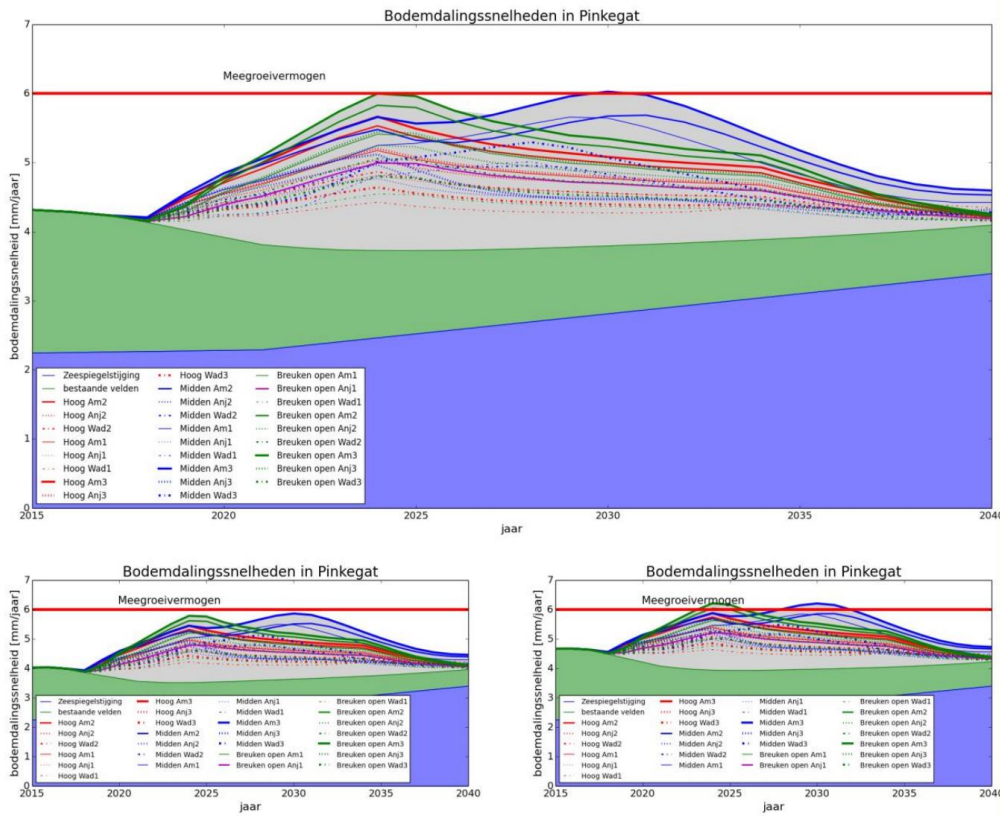
- het relatieve zeespiegelstijgingsscenario voor de Waddenzee voor de periode 2021-2026 (beleidsscenario) en
- een langetermijnsceario voor de Waddenzee voor de periode tot 2050 (richtscenario).

Dit betreft een actualisatie van fig. 11-4.

#### ***Antwoord:***

De figuur hieronder toont Figuur 11-4 zoals opgenomen in het winningsplan Ternaard. Ter verduidelijking:

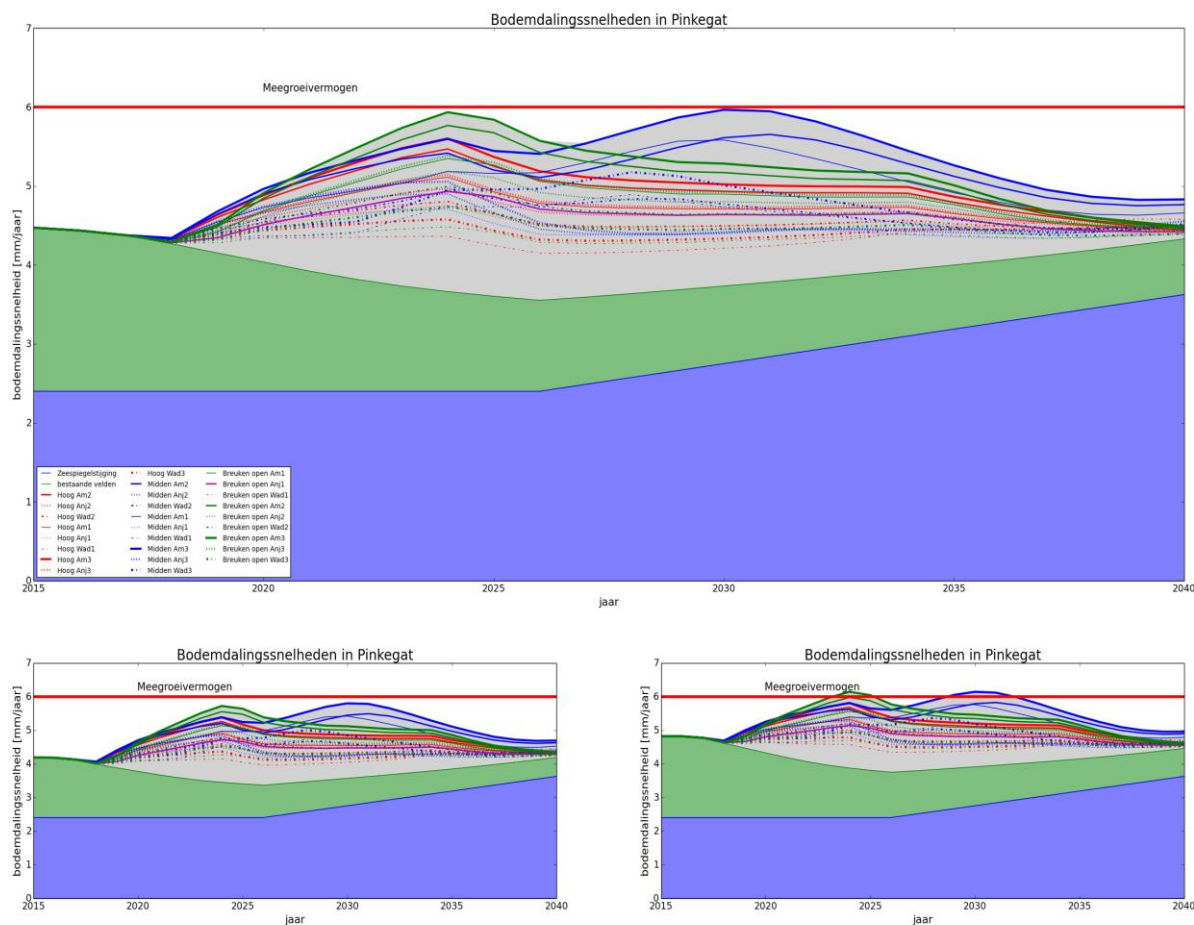
- De drie figuren behoren bij de drie belastingsscenario's uit de Meet- en Regelrapportage 2018 (M&R 2018). In deze scenario's wijzigt het groene oppervlak dat de belasting geeft van bestaande velden in Pinkegat.
- In elk van de drie figuren zijn belastingcurves toegevoegd voor de Ternaard scenario's. De Ternaard scenario's zijn beschreven als een combinatie van het gebruikte reservoir/productiemodel (Hoog, Midden en Breuken open) en compactiemodel ("geomechanische parameters").



*Figuur 11-4; Belasting (6-jaarlijks gemiddelde van de bodemdalingssnelheid) versus tijd voor de 27 verschillende Ternaard bodemdalingsscenario's gecombineerd met de midden (bovenste figuur), lage (linksonder) en hoge (rechtsonder) productiescenario's uit de M&R 2018 rapportage. De blauwe lijnen gelden voor het midden productiescenario, de rode lijnen voor het hoge productiescenario en de groene lijnen voor het "breuken open" scenario. De doorgetrokken lijnen representeren de geomechanische parameterwaarden passend bij Ameland, de stippellijnen Anjum en de gestreepte lijnen Waddenzee.*

**Origineel figuur 11-4**

Hieronder volgt het nieuwe figuur gebaseerd op het meest recente zeespiegelstijgingsscenario en richtscenario. Hierbij verandert alleen het blauwe oppervlak behorende bij de zeespiegelstijging. De figuur toont weinig verschil met Figuur 11-4 in het winningsplan, maar laat zien dat voor het verwachte M&R scenario nu alle lijnen onder het meegroeiervormogen liggen.



Geactualiseerd Figuur 11-4

**Vraag 2:**

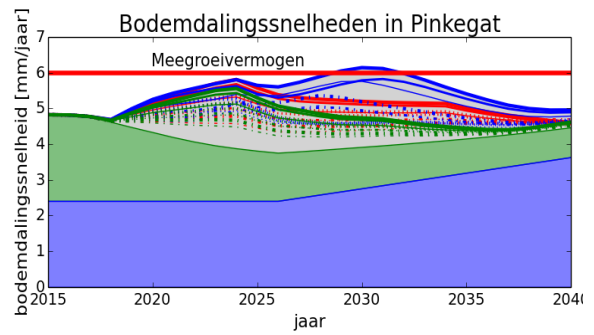
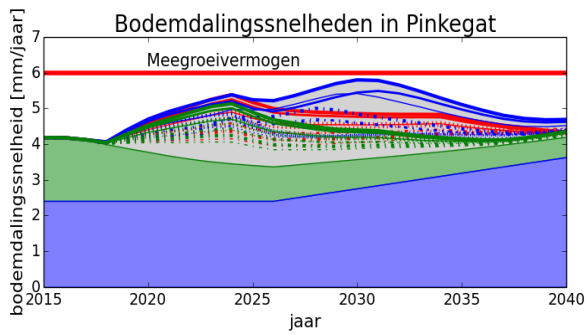
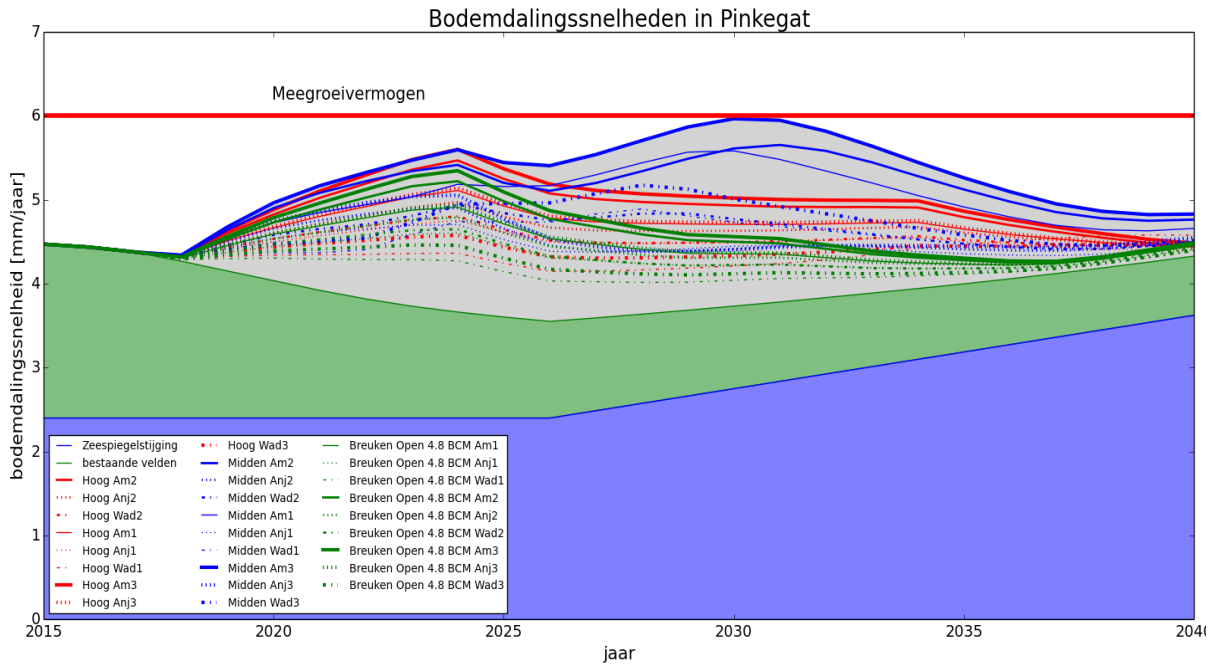
Een doorrekening van de belasting voor het breuken open scenario in geval wordt geproduceerd overeenkomstig het midden scenario. (Ook deze berekening dient uit te gaan van het TNO-advies als bedoeld onder 1.)

**Antwoord:**

In het "Breuken Open" scenario wordt 7,6 mld Nm<sup>3</sup> gas geproduceerd. In dit breuken open scenario zijn extreme combinaties met bodemdaling door andere velden en geomechanische eigenschappen mogelijk waarbij de belasting iets groter is dan het meegroeiervormogen. Door de productie (gedurende de eerste jaren) te beperken tot volumes van het midden scenario wordt de belasting verminderd.

In de onderstaande figuur het breuken open scenario aangepast met een productieprofiel dat hoort bij het midden scenario (4,8 mld Nm<sup>3</sup>). Voor dit scenario is met 9 verschillende geomechanische parameterwaarden sets de belasting berekend. Deze belastingen zijn met de groene lijnen weergegeven.

Alle groene lijnen liggen ruim onder het meegroeiervormogen. De figuur laat zien dat de bodemdalingsbelasting daarmee in geen enkel scenario boven het meegroeiervormogen uitkomt tijdens de eerste jaren van het "beleidsscenario" (2021-2026). Hierna zal er voldoende data uit Ternaard beschikbaar zijn om de belasting te controleren met behulp van het "Hand aan de Kraan" principe.



*Groene lijnen geven de belasting voor een breuken open scenario in combinatie met 4,8 mld Nm<sup>3</sup> productie.*

## Bodemdaling

### Vraag 1:

Verhouding tekst p. 31 WP enerzijds en fig. 11-2 (p. 45 WP) anderzijds.

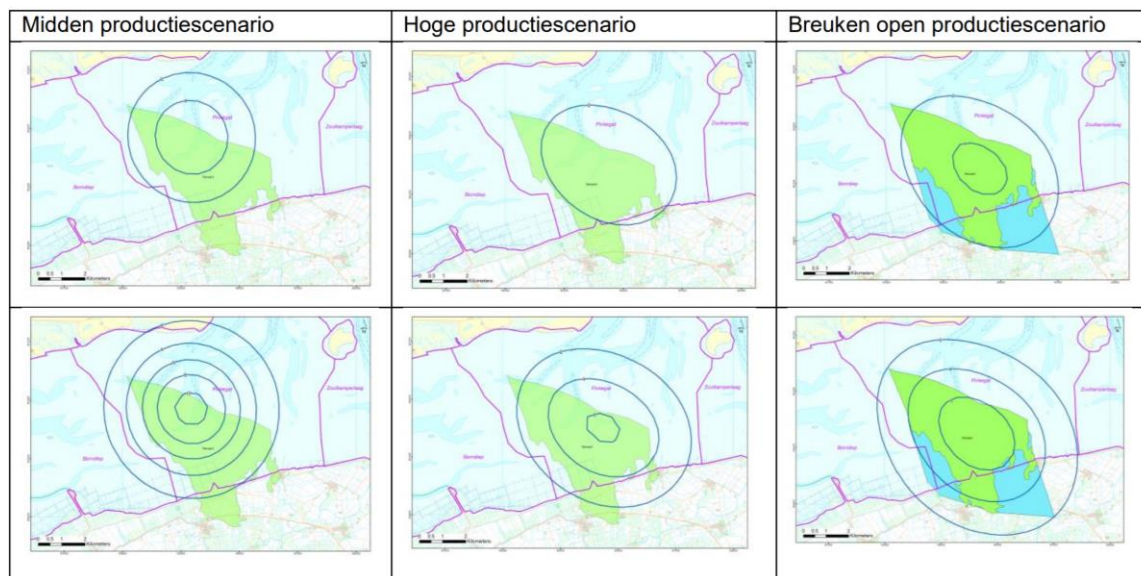
De NAM heeft mondeling aangegeven dat waar p. 31 WP spreekt van "4 – 12 cm" dit samenhangt met de afbeelding linksonder van fig. 11-2 (Ame3 – midden productiescenario). Van buiten naar binnen gaat die afbeelding uit van 2 tot en met 10 cm (middelste cirkel). Binnen die cirkel kan de bodemdaling groter zijn dan 10 cm, maar minder dan 12 cm. Op twee plekken in het WP is de maximale bodemdaling bij midden productie dus verschillend uitgedrukt. Omwille van de duidelijkheid graag een correctie of toelichting. Bovendien is het niet 4 – 12 cm, maar 2 – 12 cm.

### Antwoord:

Op pagina 31 van het winningsplan wordt gerefereerd naar het diepste punt van de bodemdalingssommen, welke met contouren zijn weergegeven in Figuur 11-2. Figuur 11-2 is hieronder overgenomen, waarbij ook een duidelijkere versie van de figuur is toegevoegd.

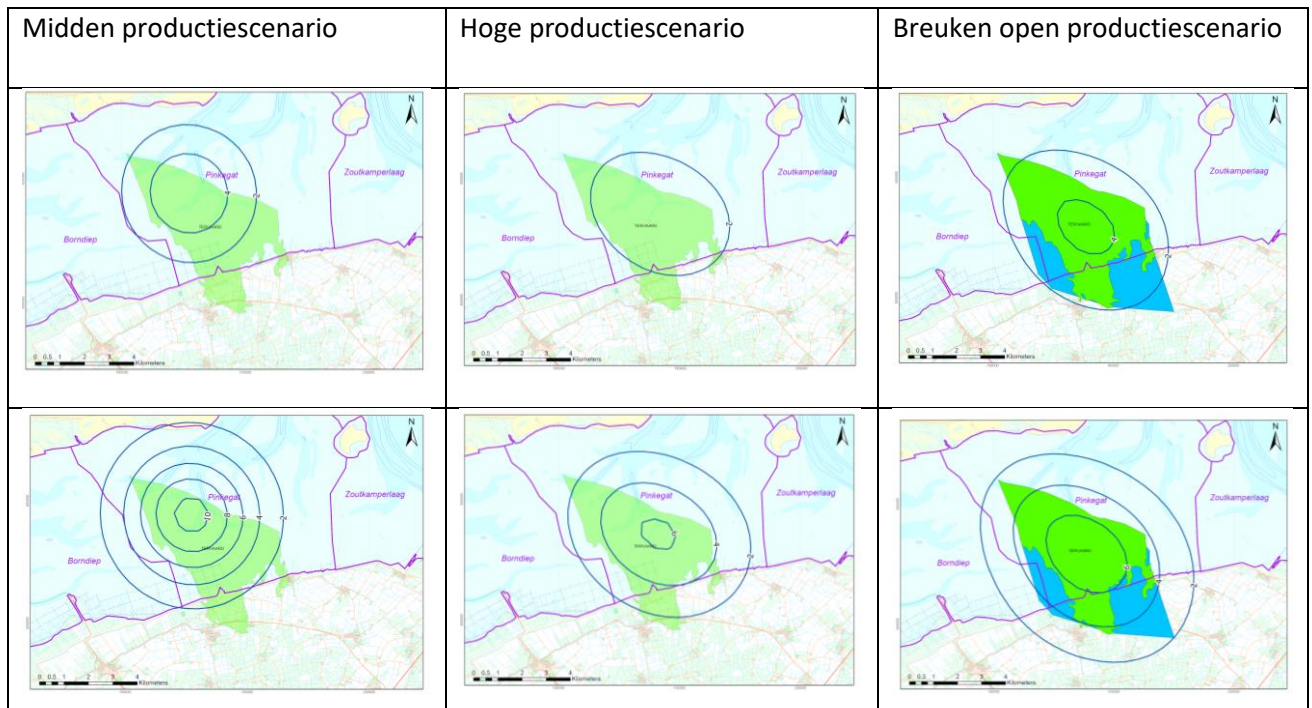
In het figuur midden boven is de contour met de maximale waarde 2 cm. Dit betekent dat de maximale bodemdaling volgens dit scenario kleiner dan 4 cm moet zijn (de 4 cm contour is immers niet zichtbaar). In het contourplaatje linksonder is de contour met de maximale waarde 10 cm. Hier geldt dus dat de maximale waarde voor de bodemdaling 12 cm is. De **maximale** bodemdaling heeft dus een bereik van 4-12 cm.

Per scenario ligt de bodemdaling tussen de 0 cm en de maximale waarde. Voor het plaatje linksonder geldt dat het bereik voor de bodemdaling ligt tussen de 0 en 12 cm.



Figuur 11-2: Bodemdaling volgens de drie verschillende productiescenario's (kolommen) en met de midden "Wad2" geomechanische parameters (bovenste rij) en de hoge Ameland geomechanische parameters (Ame3, onderste rij). Voor de waarden van de "Wad2" en "Ame3" parametersets wordt verwezen naar Tabel 11-1.

Hieronder is een duidelijkere versie van het plaatje in het winningsplan te vinden.



**Vraag 2:**

Volgens de berekening op basis van het midden productiescenario kan het diepste punt in de bodemdaling 6 cm zijn, terwijl de maximale bodemdaling (bijna) 12 cm kan zijn (tekst p. 31 WP). Hoe is dat verenigbaar?

**Antwoord:**

De onzekerheid in de bodemdaling is groot door de grote variatie in de waarden voor de geomechanische parameters. Voor het Ameland veld geldt dat de parameterwaarden hoger zijn dan voor de overige Waddenvelden. Dit verschil is ongeveer een factor 2. Figuur 7-4 in het winningsplan toont de verwachte bodemdaling volgens het midden productiescenario en de "Wad2" parameters. Gezien de geringere afstand van Ternaard tot de Nes en Moddergat velden is het de verwachting dat het geomechanisch gedrag van deze velden van toepassing is op het Ternaard gasveld. Daarom is dit scenario opgenomen in de tekst op pagina 31 van het winningsplan.

**Vraag 2 (eerste aandachtspunt):**

De NAM heeft mondeling aangegeven dat hier een verband is met de afbeelding linksboven van fig. 11-2 (Wad2 – midden productie). Binnen de 4 cm-cirkel kan de bodemdaling naar 6 cm gaan (maar nooit gelijk zijn aan).

**Antwoord:**

De afbeelding linksboven en afbeelding 7-4 komen inderdaad met elkaar overeen. Binnen de 4 cm contour ligt de bodemdaling inderdaad tussen de 4 en 6 cm.

**Vraag 2 (tweede aandachtspunt):**

De afbeelding linksonder van fig. 11-2 is in de tekst van p. 31 buiten beschouwing gebleven. Wordt daarvan uitgegaan dan kan het diepste punt van de kom bijna 12 cm zijn. (Zie punt 1.) Welke betekenis moet hieraan worden toegekend?

**Antwoord:**

Inderdaad ligt in dit scenario de maximale bodemdaling tussen de 10 en 12 cm. De grote variatie in de maximale voorspelde bodemdaling voor de verschillende scenario's geeft aan dat de onzekerheid groot is. Zoals ook hierboven aangegeven is de tekst van pagina 31 winningsplan gebaseerd op het scenario dat volgens NAM het meest waarschijnlijk is.

Overigens laten de nieuwe berekeningen onder het thema bodemdalingssnelheid zien dat alle scenario's in de eerste tien jaar van productie binnen het vastgestelde meegroeivermogen blijven, wanneer wordt uitgegaan van de verwachte bodemdaling volgens de M&R rapportage over 2018.

**Vraag 3:**

Het is wenselijk dat (in elk geval de cijfers van) de afbeeldingen van fig. 11-2 beter leesbaar zijn.

**Antwoord:**

Een duidelijkere versie van de figuur is op vorige pagina getoond.

**Vraag 4:**

Volgens het midden productiescenario is bodemdaling op land maximaal 2 cm. Volgens het breuken open scenario is dit maximaal 4 cm (fig. 11-2). In het WP is midden productiescenario leidend geweest; de 4 cm komt in de tekst niet terug. Dat is anders in de MER. Het zou goed zijn om WP en MER te stroomlijnen.

**Antwoord:**

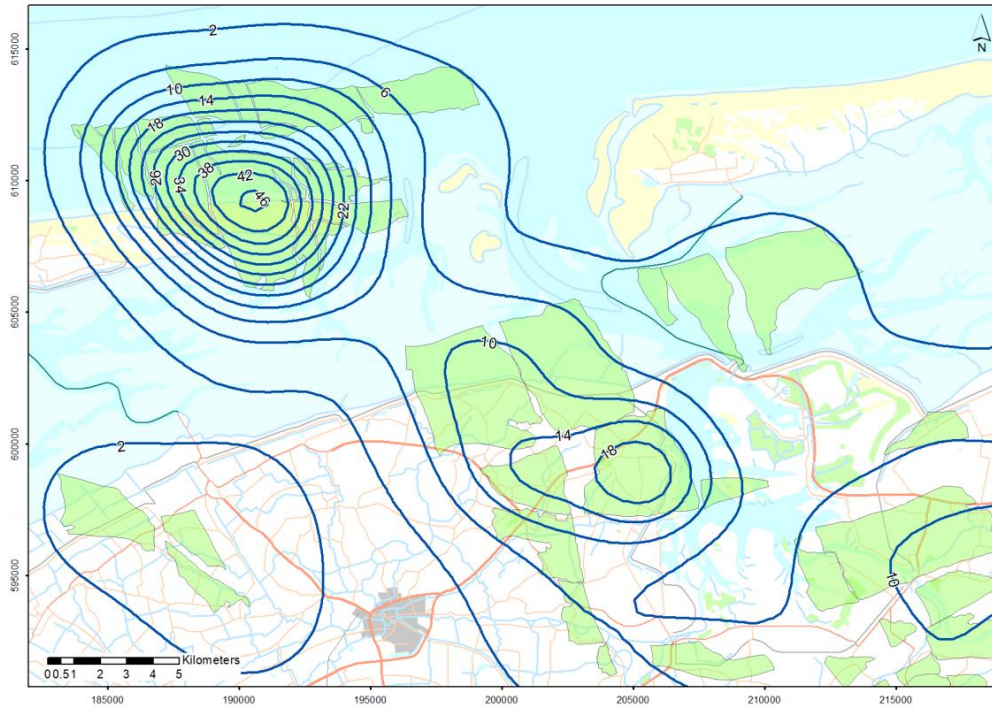
Zoals hierboven aangegeven gaat de tekst in het winningsplan uit van het midden productiescenario. In het MER is in paragraaf 3.3 aangegeven dat voor de effectbepaling van de voorgenomen activiteit wordt uitgegaan van het hoge productiescenario, wat maximaal 4 cm bodemdaling op land geeft. Aanvullend is hierop, mede op advies van de Commissie m.e.r. in paragraaf 7.5 nog een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd voor het geval de gebruiksruimte voor gaswinning zal toenemen. Daarvoor is een productiescenario gebruikt waarbij 10,7 mld Nm<sup>3</sup> wordt geproduceerd uit Ternaard. Dit hypothetisch scenario, want immers niet aangevraagd in het winningsplan, leidt tot een iets grotere bodemdaling met 6 cm nabij de zeedijk. Op deze wijze wordt in het MER rekening gehouden met een grotere (dan opgenomen in het winningsplan) bandbreedte van bodemdaling bij verschillende winningsscenario's, en worden de daarbij horende mogelijke effecten meegenomen in de milieueffectbeoordeling.

**Vraag 5:**

Voor de cumulatieve bodemdaling heeft de NAM fig. 7-5 WP opgenomen. Op verzoek van het waterschap heeft de NAM nadien nog een figuur opgesteld dat de cumulatieve bodemdaling laat zien exclusief de bodemdaling vanwege de productie uit Ternaard. Deze figuur zou ook als aanvulling op winningsplan moeten worden ingediend. Met daarbij een toelichting over hoe deze figuur zich verhoudt tot fig. 7.5 en welke betekenis hieraan moet worden toegekend.

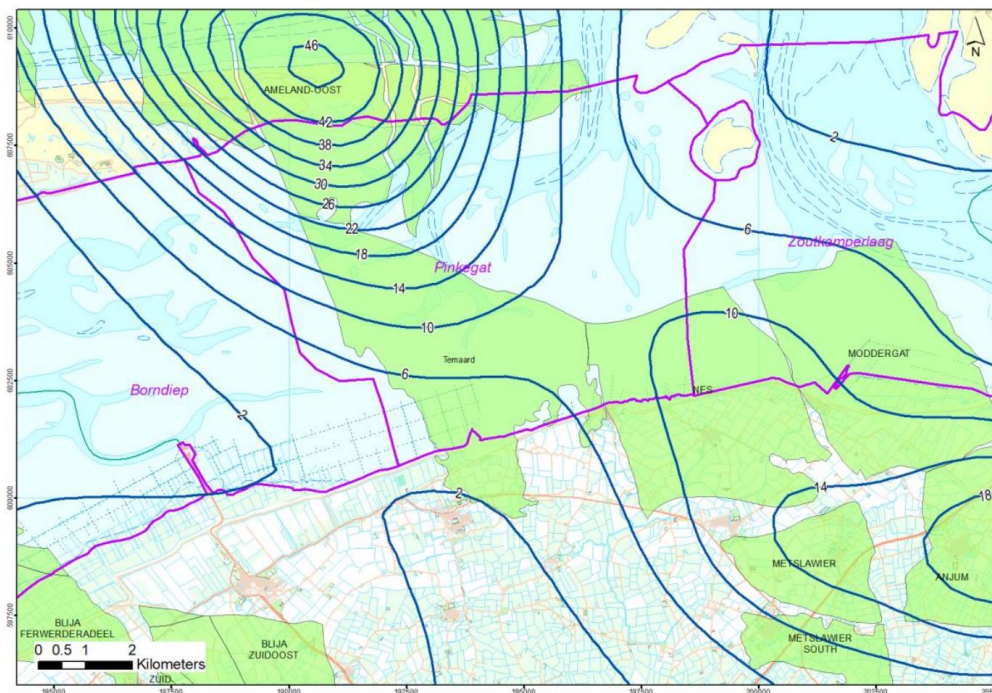
**Antwoord:**

De bodemdaling zonder de productie in Ternaard wordt ieder jaar berekend in de Meet- en Regelcyclus. Het winningsplan Ternaard is ingediend in 2019 en de kaarten in het winningsplan dienen daarom vergeleken te worden met de daling zoals gerapporteerd in 2019 (over het jaar 2018). Onderstaand figuur toont de bodemdaling in 2050 zonder productie uit Ternaard.



*Bodemdaling volgens de M&R rapportage over 2018 (zonder Ternaard)*

Het Ternaard winningsplan toont het volgende beeld:



*Bodemdaling boven Ternaard plus omliggende velden*

Het figuur uit het winningsplan laat zien dat de bodemdalingssom van Ternaard met name zal samensmelten met de bodemdalingssom van Ameland. De overige contouren veranderen nauwelijks. Let hierbij op dat de figuren zijn overgenomen uit verschillende documenten en een andere schaal gebruiken.



## Bodemtrilling

### Vraag 1:

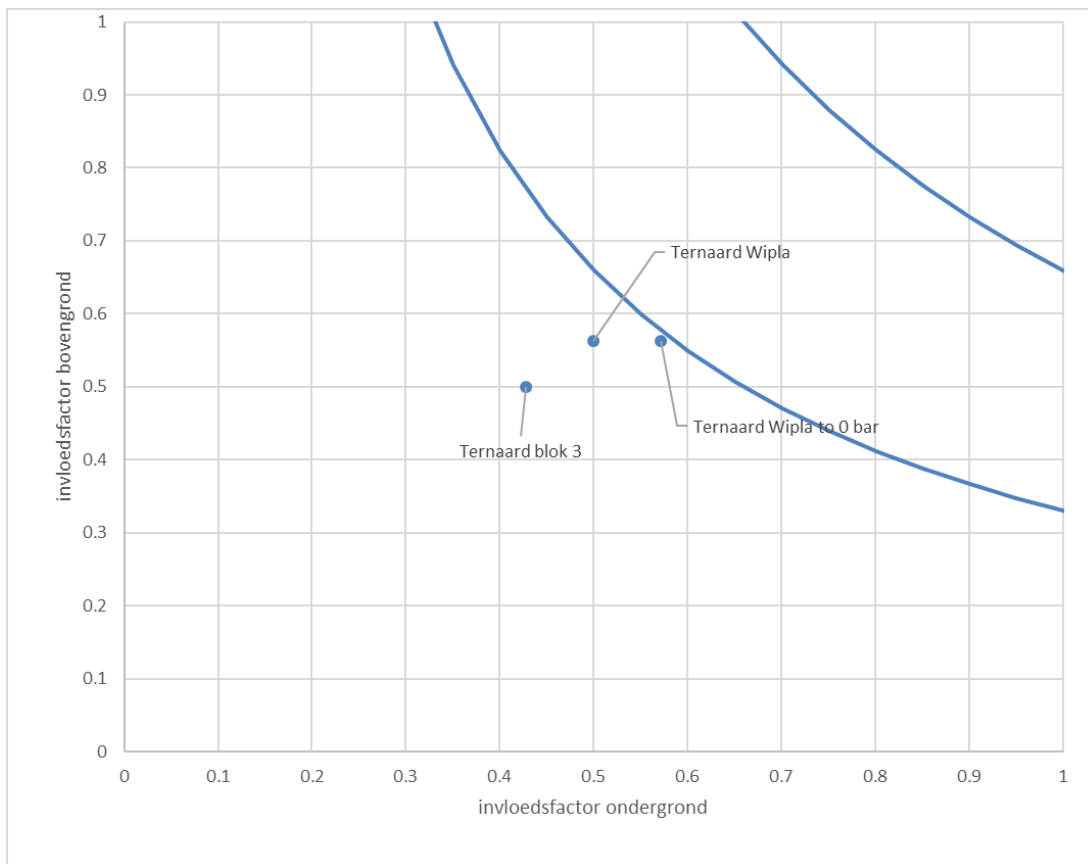
Het opstellen van een aanvullende SRA waarbij de volgende scenario's zijn doorgerekend:

1. Een scenario dat qua veldoppervlakte gelijk is aan het SRA-scenario van het winningsplan, maar met de fictieve einddruk van 0 bar.
2. Een SRA-scenario dat gebaseerd is op het midden productiescenario, waarbij het Ternaard veld de omvang heeft van alleen blok 3.

### Antwoord:

De Seismische Risico Analyse (SRA) in het Ternaard winningsplan is berekend voor een drukdaling volgens het hoge drukscenario (depletie 216 bar) en waarbij aangenomen is dat alle breuken open zijn. Deze SRA komt tot de conclusie dat het veld een in de laagste risicocategorie valt (Categorie I).

De SRA is opnieuw doorgerekend met de gevraagde scenario's. Ter vergelijking wordt ook het winningsplan SRA-scenario in dit document getoond. Ternaard blijft in categorie I in deze scenario's.



Het dient opgemerkt te worden dat het gevraagde scenario 1 (depletie tot 0 bar van het gehele veld) een theoretisch maximum scenario is. Aangezien de SRA voor dit extreme scenario een uitkomst in categorie I geeft, **zal Ternaard in alle mogelijke scenario's in seismische risicocategorie I vallen.** Dit is de laagste risicocategorie.

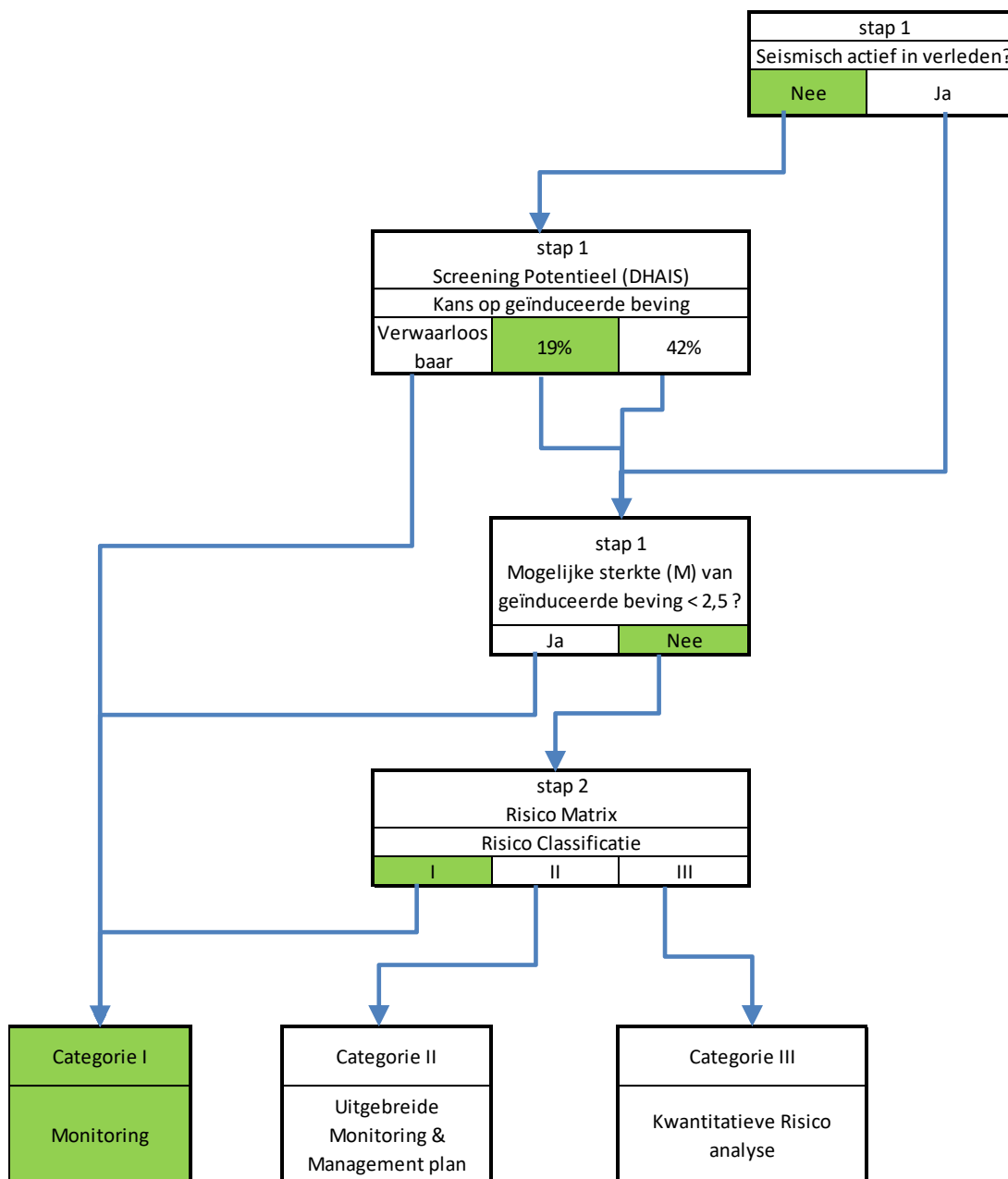
Het NAM "Seismisch Risicobeheersplan voor Kleine Velden" op [www.nam.nl](http://www.nam.nl) geeft de belangrijkste informatie rond geïnduceerde bevingen. Het geeft ook een overzicht van de maatregelen die NAM

heeft getroffen om oorzaken en gevolgen van deze risico's te beheersen. Hierbij wordt gebruik gemaakt van een "verkeerslichtsysteem". De meest concrete actie die genoemd wordt is dat een veld wordt ingesloten op het moment er een beving plaatsvindt met een magnitude die groter is dan  $M=3$ . Een duiding van het risico op schade en de bijbehorende afhandeling door de Commissie Mijnbouwschade staan ook beschreven.

## Bijlage 1. Seismische Risico Analyse: Details en Achtergronden

Deze bijlage geeft de details van de SRA-berekening volgens de "Leidraad SRA", zoals gepubliceerd door Staatstoezicht op de Mijnen op 1 februari 2016, voor alle scenario's (winningsplan plus additionele scenario's).

In stap 1 van de risicoanalyse wordt gekeken of het veld al gebeefd heeft of wat de kans op een mogelijke beving is gedurende de levensduur van het veld. Daarnaast wordt een inschatting gemaakt van de maximale magnitude. In Figuur 1 staan voor de voorkomens van dit winningsplan de uitkomsten in groen voor de verschillende stappen.



Figuur 1: De verschillende stappen die doorlopen zijn voor alle Ternaard scenario's om de risicocategorie te bepalen.

### **Stap 1: Inschatten risicopotentieel voor de verschillende voorkomens**

Voor het inschatten van het risicopotentieel is uitgegaan van de drukdaling die hoort bij de verwachte eindproductie in de verschillende productiescenario's.

#### **De kans op beven van een olie- of gasvoorkomen**

Aan de hand van de volgende drie parameters van een olie- of gasvoorkomen wordt de kans op beven van dat voorkomen bepaald:

1.  $DP/P_{ini}$ : De ratio van drukval (DP) en initiële druk ( $P_{ini}$ ) in het reservoir;
2.  $E$ : de verhouding tussen de Young's moduli (stijfheidsmoduli) van de 'overburden' en het reservoirgesteente;

$$E = \frac{E_{burden}}{E_{reservoir}}$$

3.  $B$ : een maat voor de breukdichtheid van het reservoir.

$$B = \frac{\text{breukoppervlakte}^{3/2}}{\text{brutogesteentevolume}} = \frac{l_b^{3/2} \cdot h^{3/2}}{A \cdot h} = \frac{l_b^{3/2} \cdot \sqrt{h}}{A}$$

Waarbij:

$l_b$  = De totale breuklengte van de intra reservoir breuken en de randbreuken van het voorkomen in meters;

$h$  = De maximale dikte van de gaskolom van het voorkomen in meters;

$A$  = De oppervlakte van het voorkomen gemeten binnen de GWC-dieptecontour (in vierkante meters);

De combinatie van de parameterwaarden geven de kans dat zich, op enig moment gedurende de productie van een voorkomen, een beving voordoet.

Reeds bevende voorkomens	
$DP/P_{ini} \geq 28\%$	$B > 0,86$ en $E \geq 1,34$ : $P_h = 0.42 \pm 0.08$
	$B > 0,86$ en $1,01 \leq E \leq 1,33$ : $P_l = 0.19 \pm 0.05$
	$B < 0,86$ en/of $E < 1,01$ : verwaarloosbare kans
$DP/P_{ini} < 28\%$	Verwaarloosbare kans

De waarden die zijn gebruikt in de bepaling van de DHAIS<sup>1</sup> kans zijn gegeven in Tabel 1.

<sup>1</sup> "Deterministische hazard analyse voor geïnduceerde seismiciteit"

Tabel 1: Invoergegevens voor de bepaling van de DHAIS en de DHAIS-kansen per scenario.

Voorkomen	Reservoir dikte/gaskolom (m) <sup>2</sup>	Initiële druk (bar)	Totale drukdaling volgens "high-case productie scenario" (bar)	Totale breuklengte (km)	Reservoir oppervlakte (km <sup>2</sup> )	Maximale waargenomen aardbeving	Aantal aardbevingen per jaar	DHAIS E <sup>3</sup>	DHAIS B	DHAIS kans
Ternaard winningsplan	112	557	216	23,2	18,5	geen	geen	1,28	2,02	19%
Ternaard tot 0 bar	112	557	557	23,2	18,5	geen	geen	1,28	2,02	19%
Ternaard blok 3	112	557	418	7,9	3,5	geen	geen	1,28	2,12	19%

NB: Deze analyse geeft alleen de kans op *enige* beving en geen informatie over de vraag hoe groot de frequentie en magnitude van eventuele bevingen zouden kunnen zijn.

### Realistisch sterkste beving

Naast de kans op beven, wordt ook een theoretische waarde voor de "realistisch sterkste beving" (Mmax) bepaald. Er worden twee methoden gebruikt om de Mmax waarde te bepalen: op basis van breukgeometrie en op basis van energiebalans. In de Seismisch Risico Analyse leidraad worden beide methoden gebruikt. Voor de berekeningen van de Mmax is uitgegaan van de standaardwaarden voor de "stress drop" en "partitie coëfficiënt" die gegeven zijn in de leidraad (respectievelijk 5 MPa en 0,01). De veld specifieke waarden die benodigd zijn voor de berekeningen en de uitkomsten voor de Mmax staan vermeld in Tabel 2. De hogere drukdaling in het scenario "Ternaard tot 0 bar" zorgt voor een hogere Mmax waarde volgens de energiebalans methode.

Tabel 2: Invoergegevens voor de bepaling van de Mmax, en de Mmax waarden volgens de twee methoden per scenario.

Scenario	Langste breuklengte (km) <sup>4</sup>	Poisson's ratio <sup>5</sup>	Breukhoogte (m)	Mmax energiebalans	Mmax breukslip
Ternaard winningsplan	6,6	0,2	112	3,3	3,7
Ternaard tot 0 bar	6,6	0,2	112	3,6	3,7
Ternaard blok 3	2,2	0,2	112	3,0	3,4

<sup>2</sup> Voor de DHAIS-berekening wordt zowel de hoogte van de gaskolom als de totale reservoirdikte beschouwd. Het minimum van deze twee wordt gekozen voor de berekening van de "B" waarde zoals voorgeschreven door de DHAIS methodiek. Dit verklaart waarom de waarden kleiner zijn dan de reservoirdikte zoals gerapporteerd in vigerend winningsplan.

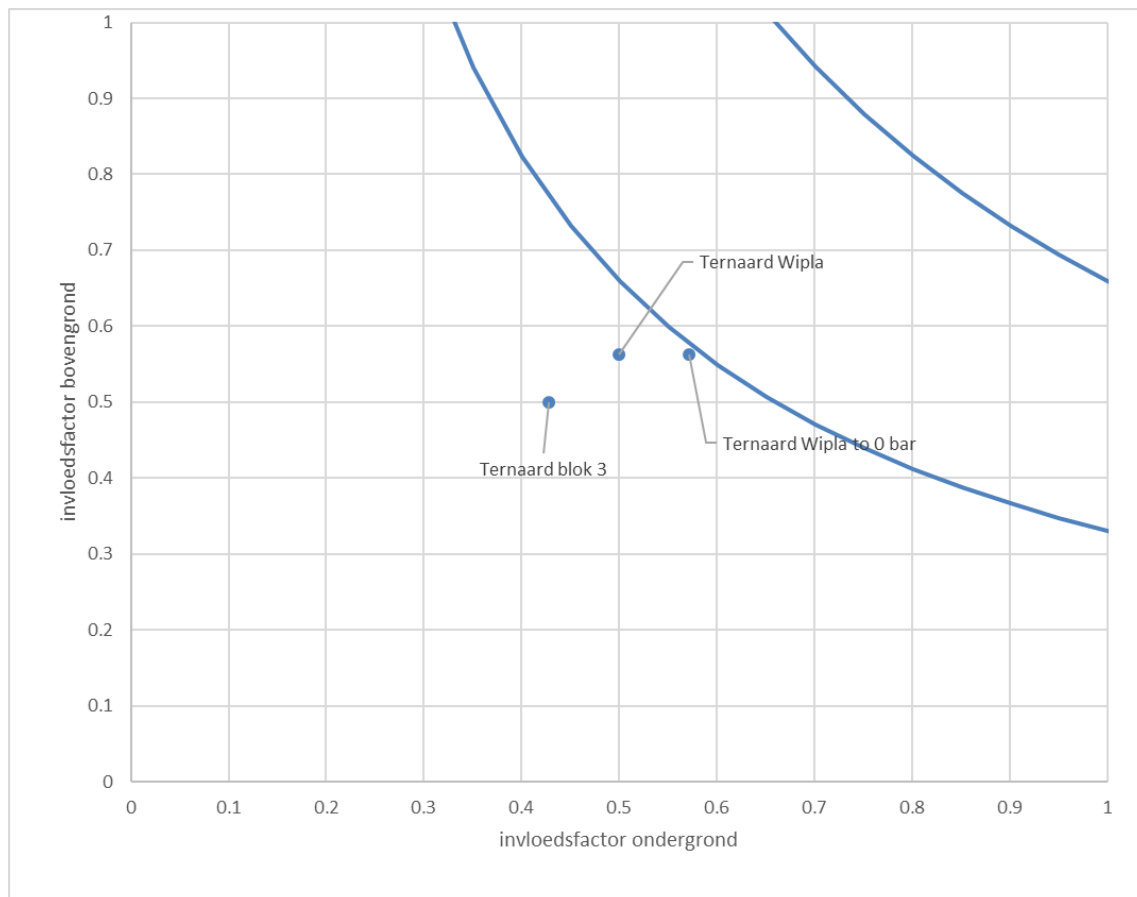
<sup>3</sup> Young's moduli ratio volgens TNO rapport: Deterministische hazard analyse voor geïnduceerde Seismiciteit, NITG 04-171-C. Voor nieuwe velden wordt de ratio van een analoog veld met dezelfde reservoir seal combinatie gebruikt

<sup>4</sup> De langste breuk is aangegeven op de kaart in bijlage 3 met een blauwe pijl

<sup>5</sup> Poisson's ratio is gebaseerd op de gemiddelde waarde voor gecementeerde zandsteen op basis van kernplug metingen

## Stap 2: Risicomatrix

Omdat de maximale theoretische beving voor de Ternaard scenario's gelijk of hoger zijn dan 2,5, wordt ook de risicomatrix gebruikt ("Stap 2" van de SRA). Het resultaat is gegeven in Figuur 2 en toont dat het alle scenario's voor het Ternaard voorkomen in de seismische risicocategorie 1 vallen. De invoergegevens die gebruikt zijn voor de risicomatrix staan beschreven in Bijlage 2.



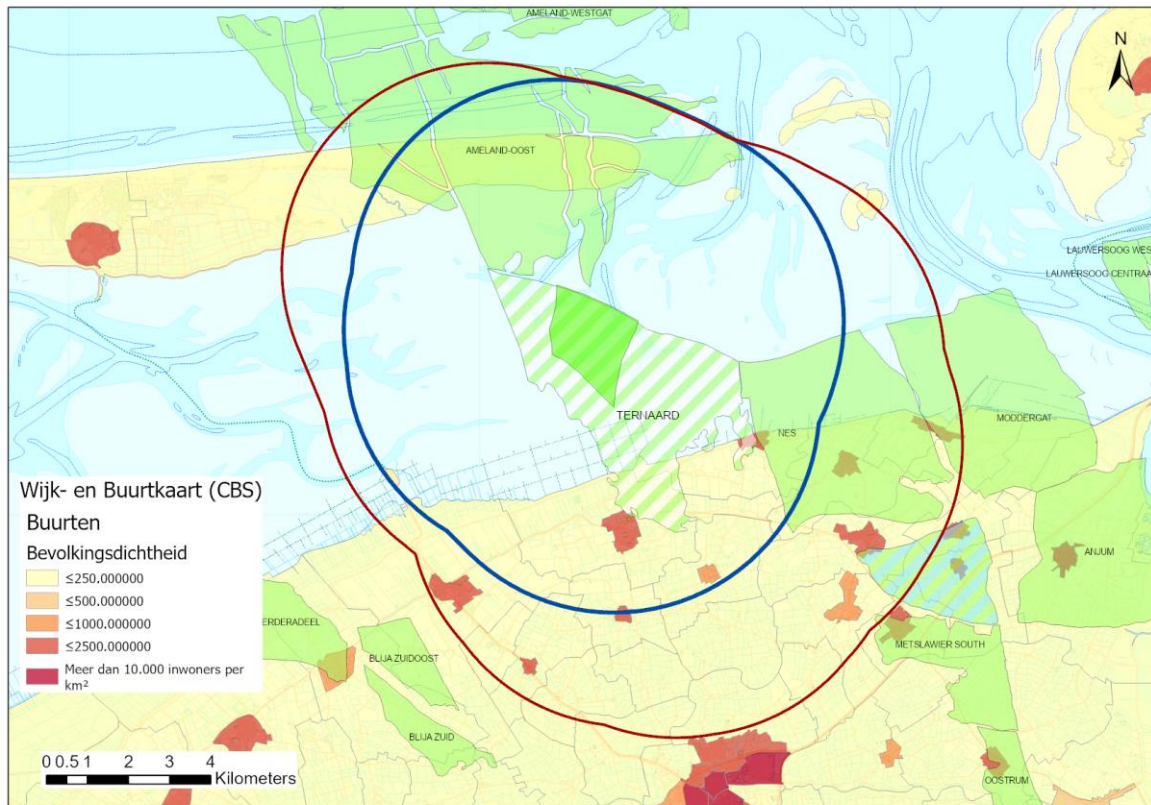
Figuur 2: SRA-ricomatrix voor de Ternaard scenario's

## Bijlage 2: Factoren gebruikt in de risicomatrix

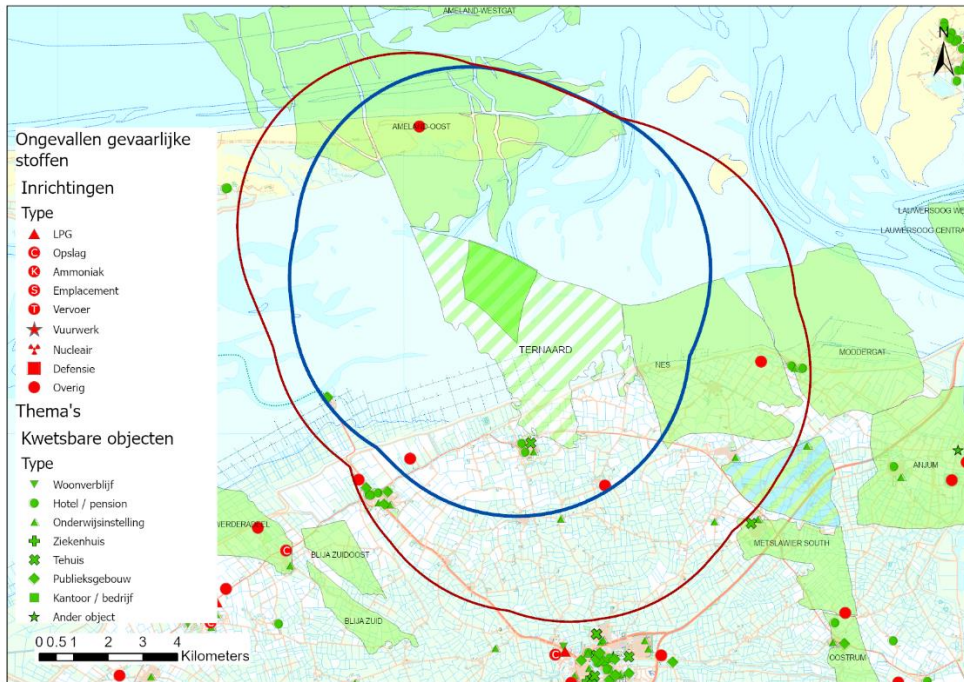
In deze bijlage worden de figuren en tabellen getoond die gebruikt zijn om tot een risicobeoordeling te komen met de risicomatrix voor de Ternaard scenario's. Voor factoren die bepaald zijn voor de onder- en bovengrond wordt een score gegeven. De som van de scores geeft de positie in de risicomatrix. Veel factoren zijn bepaald binnen een 5 km buffer rondom het veld. In de figuren toont het gestreepte Ternaard veld de omvang van het Ternaard winningsplan SRA-scenario. De bijbehorende buffer van dit scenario is de rode contour. Het groene blok binnen het Ternaard veld laat de omvang van Ternaard blok 3 zien. De hierbij behorende buffer is de blauwe contour. Voor Ternaard gas zijn de waarden voor de factoren bepaald op basis van de bronnen die in de leidraad genoemd worden. De bevolkingsdichtheid is zowel bepaald op basis van de buurtinformatie als de informatie van de dichtheid binnen de gemeentegrenzen. De maximale waarde die uit de twee analyses volgt is gebruikt in de SRA.

Figuur 3 toont de situatie voor “Bevolkingsdichtheid”. Voor de bepaling van de bevolkingsdichtheid is zowel de informatie over de dichtheid per gemeente als de dichtheid per buurt gebruikt. De hoogste waarde die volgt uit beide analyses is gebruikt bij de beoordeling. Figuur 4 toont “Industriële inrichtingen, speciale gebouwen en vitale infrastructuur”. Figuur 5 geeft het overzicht voor “Dijken”. Figuur 6 toont de kaart van de grondsoorten in de ondiepe ondergrond kaart om de mate van opslinging te bepalen.

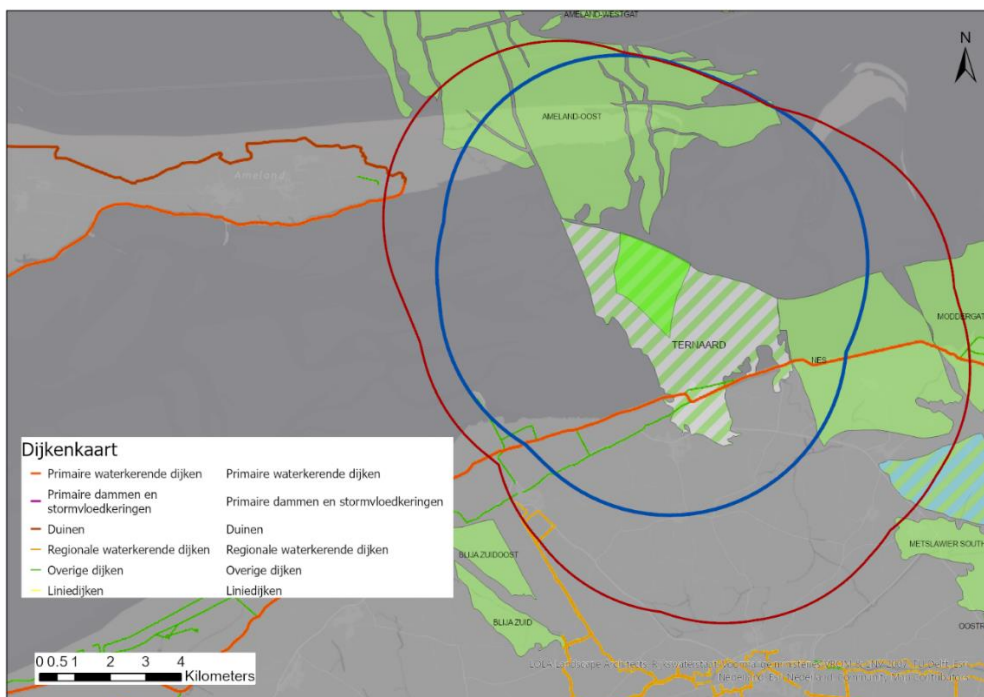
Tabel 3 toont uiteindelijk de evaluatie en scores voor de invloedfactoren voor de risicomatrix.



Figuur 3: Overzicht van de bevolkingsdichtheid boven het voorkomen Ternaard. De blauwe contour geeft de 5 km straal rond het voorkomen die relevant is voor het “blok 3” scenario. De rode contour is bepalend voor het winningsplan en “winningsplan tot 0 bar” SRA-scenario.

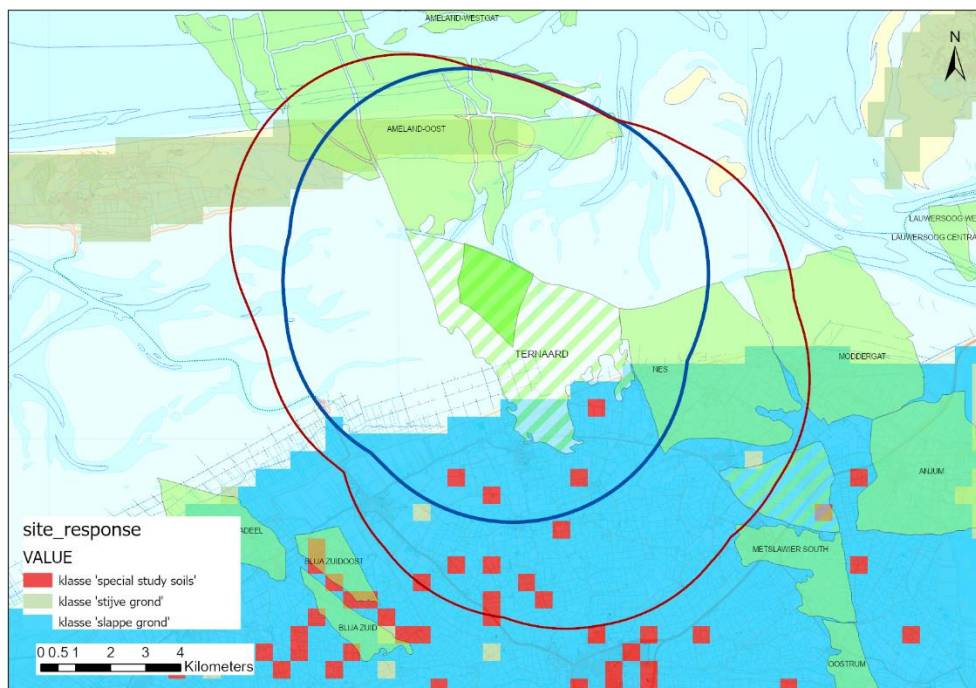


Figuur 4: Overzicht van de industriële inrichtingen (rode punt), ziekenhuizen (groene plus) onderwijsinstellingen (groene driehoek), tehuizen (groene x) en publieksgebouwen (groene ruit) boven het Terneuzen voorkomen. De blauwe contour geeft de 5 km straal rond het voorkomen die relevant is voor het "blok 3" scenario. De rode contour is bepalend voor het winningsplan en "winingsplan tot 0 bar" SRA-scenario.



Figuur 5: Overzicht van dijken, waarbij de oranje lijnen de primaire dijken aangeven en de groene lijnen en lichtoranje lijnen de secundaire dijken. De blauwe contour geeft de 5 km straal rond het voorkomen die relevant is voor het "blok 3" scenario. De rode contour is bepalend voor het winningsplan en "winingsplan tot 0 bar" SRA-scenario.





Figuur 6: Overzicht van de grondsoorten in de ondiepe ondergrond om de mate van opslingering te bepalen. De blauwe contour geeft de 5 km straal rond het voorkomen die relevant is voor het "blok 3" scenario. De rode contour is bepalend voor het winningsplan en "winningsplan tot 0 bar" SRA-scenario.

Tabel 3: Kwantitatieve evaluaties (A) en daaruit voortkomende scores (B) voor de invloedfactoren onder- en bovengrond.

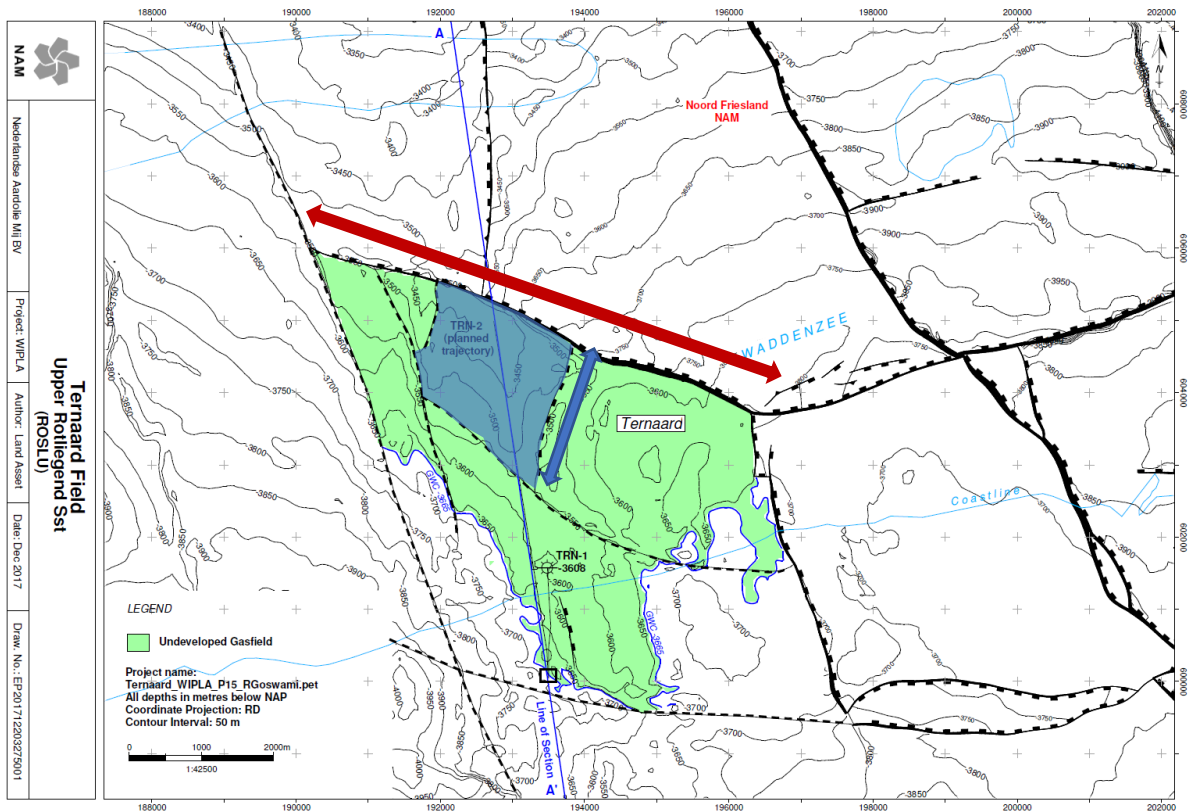
A

Scenario	Analoge velden				Bevolkingsdichtheid (aantal inwoners per km <sup>2</sup> )	Industriële inrichting	Speciale gebouwen en vitale infrastructuur	Dijken
	Dhais	Mmax		Opslingering				
Ternaard winningsplan	P=19%	1 methode 3,6 - 4,0	Boven de lijn Amsterdam - Arnhem	30 - 60% slappe grond	< 250	1 boven het veld en/of meerdere binnen 5 km rond het veld.	1 school, tehuis en/of publieksgebouw boven het veld of meerdere binnen 5 km rond het veld.	Primaire dijken boven het veld
Ternaard tot 0 bar	P=19%	Alle methodes 3,6 - 4,0	Boven de lijn Amsterdam - Arnhem	30 - 60% slappe grond	< 250	1 boven het veld en/of meerdere binnen 5 km rond het veld.	1 school, tehuis en/of publieksgebouw boven het veld of meerdere binnen 5 km rond het veld.	Primaire dijken boven het veld
Ternaard blok 3	P=19%	1 methode 3,1 - 3,5	Boven de lijn Amsterdam - Arnhem	30 - 60% slappe grond	< 250	1 boven het veld en/of meerdere binnen 5 km rond het veld.	1 school, tehuis en/of publieksgebouw boven het veld of meerdere binnen 5 km rond het veld.	Primaire dijken binnen 5 km rond het veld en/of secundaire dijken boven het veld

B

Scenario	Score invloedfactoren ondergrond					Score invloedfactoren bovengrond					Categorie
	Kans op beven of waargenomen bevingen	Magnitude	Ligging voorkomen	Opslingering	Genormaliseerde totaalscore ondergrond	Bevolkingsdichtheid	Industriële inrichtingen	Speciale gebouwen en vitale infrastructuur	Dijken	Genormaliseerde totaalscore bovengrond	
Ternaard winningsplan	1	2	2	2	0,5	0	3	2	4	0,56	I
Ternaard tot 0 bar	1	3	2	2	0,57	0	3	2	4	0,56	I
Ternaard blok 3	1	1	2	2	0,43	0	3	2	3	0,5	I

## Bijlage 3: Geologische kaarten



Figuur 7: Kaart van de top van het Ternaard gasveld, inclusief de breuken. De rode pijl geeft de langste breuk zoals gebruikt in de SRA voor de winningsplannen scenario's, de blauwe pijl geeft de langste breuk aan voor het blok 3 scenario (aangegeven in blauw).