



AANVRAAG INSTEMMING WINNINGSPLAN PIETERZIJL OOST



Assen, 20 oktober 2023

1 SAMENVATTING

In 2015 is het gasveld Pieterzijl Oost (ook wel het *voorkomen* Pieterzijl Oost genoemd) aangetoond door middel van de nieuw geboorde put Warfstermolen-3 (WFM-3) op de bestaande locatie Warfstermolen gelegen aan de Leegsterweg aan de rand van het dorp Warfstermolen. Na een test periode in 2016, is het gasveld Pieterzijl Oost in 2019 in productie genomen en wordt het gas gewonnen vanaf die locatie Warfstermolen. Het gas dat tijdens de test periode is geproduceerd is opgenomen in het totaal geproduceerde volume tot eind 2022.

Het vigerende winningsplan is goedgekeurd door middel van het instemmingsbesluit van 13 juni 2019. Op basis van dit instemmingsbesluit loopt de winning van het gasveld Pieterzijl Oost tot en met 31 december 2024. De productie van het Pieterzijl Oost gasveld verloopt echter langzamer dan voorzien. Om deze reden wordt door middel van het voorliggende winningsplan om een verlenging van de winningsperiode tot en met 31 december 2030 gevraagd.

Naast de winningsperiode zijn ook de andere onderwerpen in het winningsplan, zoals productievolume, bodembeweging in de vorm van bodemdaling en bodemtrilling opnieuw geëvalueerd. Deze evaluatie laat zien dat de prognoses voor de bodemdaling en het mogelijke risico van bodemtrillingen onveranderd zijn ten opzichte van het vigerende winningsplan. Concreet betekent dit dat door middel van dit winningsplan alleen toestemming wordt gevraagd voor het verlengen van de winningsperiode.

Deze samenvatting geeft een korte achtergrond van het winningsplan in het algemeen, gevolgd door een overzicht van de belangrijkste punten van het winningsplan, zonder in te gaan op de technische details.

Achtergrond winningsplannen – algemeen

Het winningsplan beschrijft de manier waarop het gas zal worden gewonnen, de geologie en de eigenschappen van het gasveld, de voorspelde productiehoeveelheden, de mate van bodemdaling en het risico op seismiteit, inclusief eventuele mitigerende maatregelen. Het winnen van aardgas uit elk gasveld in Nederland wordt vastgelegd in een winningsplan. De winningsplannen en de bijhorende besluiten zijn terug te vinden op de NLOG-website van de overheid: [Datacenter](#) | [NLOG](#)

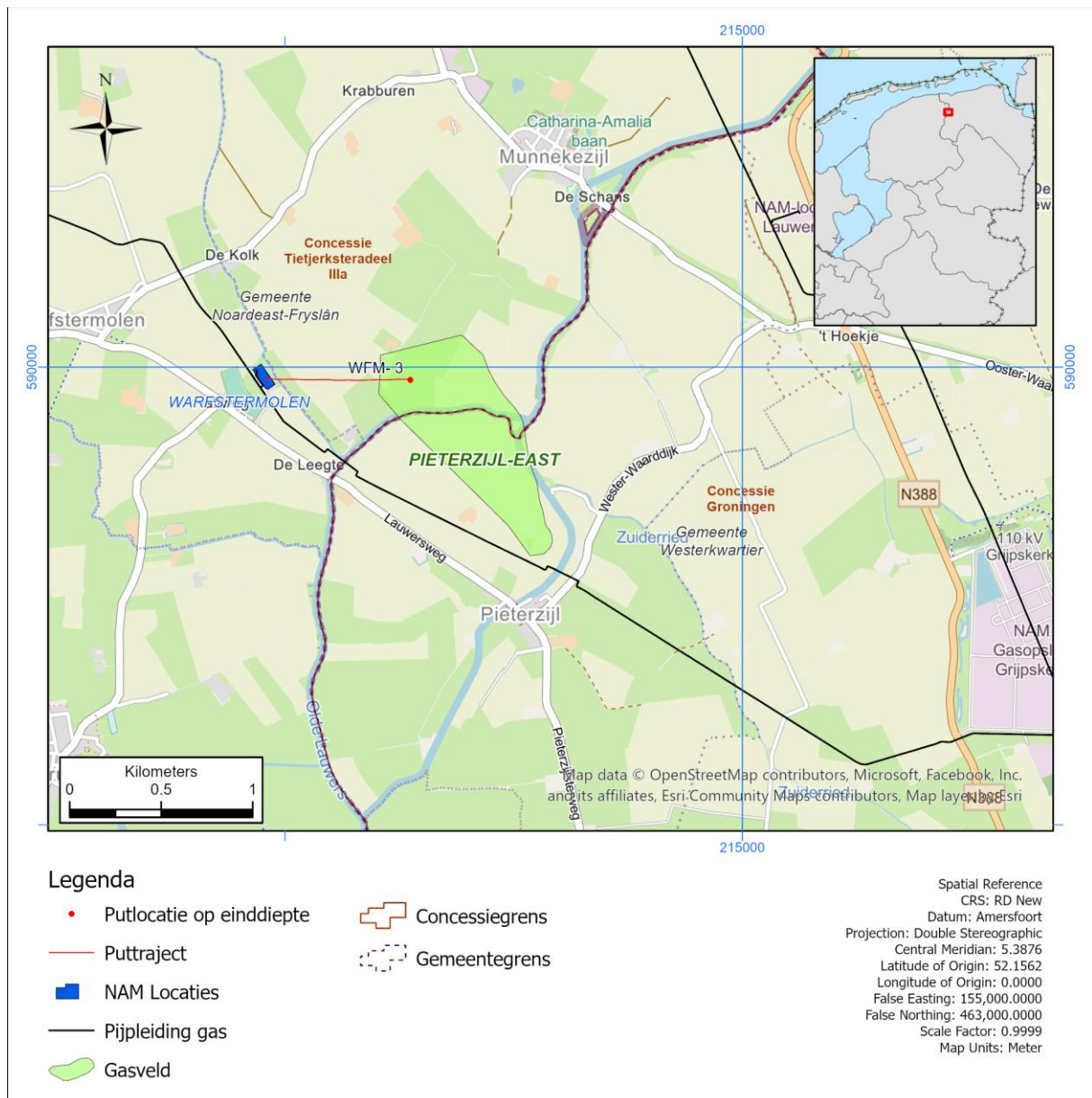
De winning van gas kan alleen plaatsvinden als de Staatssecretaris Mijnbouw (Minister van Economische Zaken en Klimaat (EZK)) instemt met het winningsplan. Het uitgangspunt hierbij is de Mijnbouwwet, waaraan voldaan moet worden. De procedure om tot een winningsplan te komen bevat de volgende stappen:

- NAM dient een winningsplan in bij EZK en vraagt om instemming.
- 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 staatssecretaris Mijnbouw.
- 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 staatssecretaris al dan niet instemmen met het winningsplan.
- Het definitieve instemmingsbesluit ligt vervolgens nog 6 weken ter inzage voor beroep. Alleen belanghebbenden kunnen in deze fase nog 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 en eventuele voorwaarden die de staatssecretaris in het instemmingsbesluit heeft gesteld.

Gasveld Pieterzijl Oost

Het gasveld Pieterzijl Oost ligt in de provincies Fryslân en Groningen en binnen de grenzen van de gemeente Noard East Fryslân en gemeente Westerkwartier, zie Figuur 1-1. Het gas uit dit veld wordt gewonnen vanaf de locatie Warfstermolen aan de Leegsterweg in Warfstermolen, zie figuur 1-2. Vervolgens wordt het gewonnen gas via een transportleiding naar de locatie Grijskerk GDF getransporteerd, vanwaar het gas wordt geleverd aan Gasunie.



Figuur 1-1: Overzicht van de in dit winningsplan genoemde voorkomen, inclusief infrastructuur. Pijpleidingen zijn aangegeven in het zwart, putten in rood.



Figuur 1-2: Luchtfoto NAM productielocatie Warfstermolen

Productievolume

Tot eind 2022 is in totaal 92 miljoen Nm³ aardgas uit het Pieterzijl Oost voorkomen geproduceerd. Binnen het vergunde winningsplan mag maximaal 255 miljoen Nm³ aardgas worden geproduceerd. NAM verwacht in de resterende periode van het huidige winningsplan en de winningsperiode van de voorliggende herziening totaal nog tussen de 23 tot 98 miljoen Nm³ aardgas te winnen. De productie blijft daarmee binnen het vergunde maximum productievolume. Afhankelijk van het productiescenario, vindt er tot en met 31 december 2030 winning plaats uit het gasveld.

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 leidt aan de oppervlakte tot lichte bodemdaling. Dit is een zeer geleidelijk proces, dat over decennia plaatsvindt en zich over een groot gebied uitstrekt. Om een beeld te geven; de ‘helling’ die ontstaat door bodemdaling door gaswinning is typisch een paar centimeter over de lengte van één 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.commissiebodemdaling.nl en www.nlog.nl/bodemdaling.

Het verloop van de bodemdaling wordt sinds 1987 met behulp van vaste peilmerken eens in de vijf jaar gemeten. De meest recente grootschalige metingen zijn gedaan in 2018. Met behulp van deze metingen wordt vastgesteld of de bodemdaling door gaswinning uit het gasveld Pieterzijl Oost verloopt volgens de verwachte bodemdaling zoals beschreven in het vigerende winningsplan.

De evaluatie van de bodemdaling in het voorliggende winningsplan laat zien dat de maximale bodemdaling als gevolg van productie uit het Pieterzijl Oost veld 2 cm bedraagt. De verwachte cumulatieve totale bodemdaling als gevolg van alle door NAM geopereerde velden is maximaal 8 cm boven het Pieterzijl Oost veld. Dit is inclusief het zogenaamde na-ijlingseffect. Dit is gelijk aan de inschatting binnen het vigerende winningsplan. Schade door bodemdaling wordt niet verwacht, omdat de bodemdaling door gaswinning beperkt, langzaam en over een groot gebied plaatsvindt. Indien er aanwijzingen zijn dat de bodemdaling een negatief effect heeft op de waterhuishouding zal dit door het Wetterskip Fryslân met de Commissie Bodemdaling Aardgaswinning Fryslân en Groningen besproken worden. NAM is aansprakelijk voor eventuele meerkosten van bijvoorbeeld het peilbeheer als gevolg van bodemdaling door gaswinning.

Toelichting risico van aardbevingen

Staatstoezicht op de Mijnen (SodM) heeft een methodiek ontwikkeld om het risico van aardbevingen in kaart te brengen. In deze methodiek wordt op basis van verschillende parameters met betrekking tot de ondergrond en gasproductie de waarschijnlijkheid dat een gasveld zou kunnen beven bepaald. Daarnaast wordt op basis van de specifieke geologische eigenschappen een inschatting gemaakt van de sterkst mogelijke beving waar theoretisch gezien rekening mee gehouden moet worden. Ook houdt het model rekening met andere elementen, zoals de opbouw van de ondiepe ondergrond en bevolkingsdichtheid.

NAM gebruikt deze methodiek voor het inschatten van het seismisch risico. Ook in het vigerende winningsplan is een inschatting gemaakt van het seismisch risico volgens deze methodiek. In het winningsplan zoals beschreven in dit document is het risico van aardbevingen volgens deze methodiek opnieuw geëvalueerd. Deze evaluatie laat zien dat het gasveld in categorie 1 valt, de laagste risicocategorie. Dit is onveranderd t.o.v. het vigerende winningsplan.

Volgens het Burgerlijk Wetboek is NAM altijd wettelijk aansprakelijk voor schade die zij veroorzaakt. Mochten omwonenden toch schade ondervinden door gaswinning uit het gasveld Pieterzijl Oost, dan kan dat gemeld worden bij de commissie Mijnbouwschade. Sectie 8.6 geeft nader uitleg over de procedures die gevolgd kunnen worden.

Inhoud

1	SAMENVATTING	2
	INHOUD	6
	FORMULIER AANVRAAG INSTEMMING WINNINGSPLAN	8
2	INLEIDING	10
2.1	Doel van het Winningsplan	10
2.2	Leeswijzer	10
3	PLAATS VAN WINNING	12
3.1	Productielocatie, put(ten) en voorkomen(s)	12
3.2	Schematische weergave gas- en waterbehandeling en afvoer van gas	13
4	BORINGEN	15
4.1	Inleiding: Algemene beschrijving van een put	15
4.2	Overzicht boring(en)	16
4.3	Schematische voorstelling putverbuizing	16
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
5.3	Gesteente-eigenschappen van de bovenliggende lagen	22
5.4	Andere gebruiksmogelijkheden van de ondergrond	22
6	ONTWIKKELINGSVOORUITZICHTEN	23
6.1	Inleiding	23
6.2	Historische Productie	23
6.3	Onzekerheden	24
6.4	Winningsstrategie en reservoirmanagement	24
6.5	Winningsnelheid (hoeveelheden per voorkomen/per jaar)	25
6.6	Duur van de winning	25
6.7	Jaarlijks eigengebruik bij winning	26
6.8	Jaarlijks bij winning afgeblazen/afgefaalde koolwaterstoffen	26
6.9	Stoffen die jaarlijks worden mee geproduceerd	26
6.10	Jaarlijks bij winning in de ondergrond terug te brengen delfstoffen en andere stoffen	26

7	BODEMDALING	27
7.1	Inleiding: hoe komt bodemdaling tot stand	27
7.2	Bodemdaling door natuurlijke processen	28
7.3	Metten en berekenen van bodemdaling door gaswinning.....	29
7.4	Bodemdalingsvooruitzichten	31
7.5	Onzekerheid in verwachte bodemdaling	34
7.6	Mogelijke gevolgen van de verwachte bodemdaling	34
7.7	Maatregelen om (gevolgen van) bodemdaling te voorkomen of te beperken	34
8	BODEMTRILLING	35
8.1	Inleiding: hoe komen bevingen ten gevolge van gaswinning tot stand	35
8.2	Historische bevingen in het Pieterzijl Oost gasveld	35
8.3	Algemeen kader voor Seismische Risico Analyse	35
8.4	Monitoring van bodemtrillingen.....	36
8.5	Afhandeling van schade	38
8.6	Seismisch risicobeheersplan	38
9	OVERIGE OMGEVINGSASPECTEN	39
9.1	Algemeen	39
9.2	Effecten op natuur en milieu vanwege bodemdaling.....	39
10	VERKLARENDE WOORDENLIJST	41
11	BIJLAGE A: BODEMDALING: DETAILS EN ACHTERGRONDEN.....	42
12	BIJLAGE B: SEISMISCH RISICO: DETAILS EN ACHTERGRONDEN	44
12.1	Seismische Risico Analyse voor het Pieterzijl Oost voorkomen.....	46
13	BIJLAGE C: GEOLOGISCHE KAARTEN VAN HET VOORKOMEN	54
14	BIJLAGE D: DRUKKEN PER JAAR	56

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

Artikel	Onderwerp	Beschrijving
Mw 34 lid 1	Verzoek om instemming voor winningsplan Pieterzijl Oost	☐ Een winningsplan voor voorkomens in het continentaal plat vanaf de 12 zeemijlszone ☒ Een winningsplan voor voorkomens in Nederlands territorium tot 12 zeemijl uit de kust De wijziging bestaat uit een aangepaste productieduur. De actualisatie van de seismische risicoanalyse en bodemdalingsvoorspellingen.
	Algemene gegevens	
	<i>Naam indiener</i>	Nederlandse Aardolie Maatschappij B.V.
	<i>Adres</i>	Postbus 2800 9400 HH Assen
	5.1.2.e	
Mw 34 lid 2	Indiener	☒ is houder van de vergunning ☐ is uitvoerder cf artikel 22 Mw
	Winningsvergunningsgebied(en) Ligging Gemeente en Provincie	☒ winningsvergunning(en) <ul style="list-style-type: none"> Tietjerksteradeel III <ul style="list-style-type: none"> Gemeente: Noardeast-Fryslân Provincie: Fryslân Concessie Groningen <ul style="list-style-type: none"> Gemeente: Westerkwartier Provincie: Groningen
Mw 34 lid 1 Mb 24 lid 1a	Voorkomens koolwaterstoffen	Pieterzijl Oost
Mb 24 lid 1a	Soort koolwaterstof die wordt gewonnen	☐ olie ☒ hoog calorisch gas ☐ Groningen kwaliteit gas ☐ laag calorisch gas ☐ zwavelhoudend gas ☒ aardgascondensaat
Mr 1.2.1 lid 3	Bestaande of nieuwe winning	☒ winningsplan voor reeds bestaande winning (inclusief voorziene uitbreiding) ☐ winningsplan voor nieuwe winning
Mw 34 lid 7	Coördinatie vergunningen	☐ ja: te weten met: <ul style="list-style-type: none"> ☐ Omgevingsvergunning ☐ Watervergunning ☐ Mijnbouwmilieuvergunning ☐ Anders, namelijk: ☒ nee (n.v.t.)

	Bedrijfs- en productiegegevens	Paragraaf
Mw 35 lid 1	Beknpte beschrijving van het winningsplan	Hfdst 1, 2
Mw 35 lid 1c Mb 24 lid 1c,d	Beknpte beschrijving van wijze van winning door middel van (een) mijnbouwwerk(en)	Hfdst 3, 4
Mb 24 lid 1a	Geologische beschrijving van voorkomen(s)	Hfdst 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, putten	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	4.3
Mb 24 lid 2	Productieontwikkeling strategie	6.4
Mb 24 lid 2	Productiefilosofie	6.4
Mb 24 lid 2	Reservoir management	6.4
Mw 35 lid 1 a, 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/afgefaakte 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
	Gegevens inzake bodemdaling als gevolg van de winning	Sectie
Mw 35 lid 1f	Aard van de bodemdaling ten gevolge van de winning alsmede de daarmee verband houdende activiteiten	7, 7.1
Mb 24 lid 1m Mb 24 lid 1n Mb 24 lid 1o	Gekalibreerde bodemdaling en bodemdalingsprognoses (uiteindelijk verwachte mate van bodemdaling)	7.2 – 7.3 Bijlage A, D
Mb 24 lid 1q	Omvang en aard van de schade	7.4
Mb 24 lid 1r	Maatregelen om bodemdaling te voorkomen / te beperken	7.7
Mb 24 lid 1s Mw 35 lid 1f	Maatregelen die gevolgen van schade door bodemdaling beperken of voorkomen	7.7
	Gegevens inzake bodemtrilling als gevolg van de winning	Sectie
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	8.4
Mb 24 lid 1r	Maatregelen om bodemtrillingen te voorkomen / te beperken	8.7
Mb 24 lid 1s Mw 35 lid 1f	Maatregelen die gevolgen van schade door bodemtrillingen beperken of voorkomen	8.7
	Overige veiligheidsaspecten	Sectie
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	9.1
<div> <div>Ondertekening</div> <div> <div>5.1.2.e</div> <div></div> </div> <div>Mb24 lid I Jaarlijkse kosten onderverdeeld in investeringen, onderhoud, bedrijfsvoering, verlaten en verwijderen. Zie deel "vertrouwelijk".</div> </div> <div> <div>Datum: 24-10-2023</div> <div>Plaats: Assen</div> <div>5.1.2.e</div> <div></div> </div>		

2 INLEIDING

2.1 Doel van het Winningsplan

De Nederlandse Aardolie Maatschappij B.V. ("NAM") is houder van de Winningsvergunning Tietjerksteradeel III en Groningen. 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.

Het originele winningsplan Pieterzijl Oost is op 16 december 2016 ingediend en op 13 juni 2019 is ingestemd tot en met 31 december 2024.

DATUM (INDIENEN WINNINGSPLAN)	DOCUMENT
2016	Originele winningsplan "Pieterzijl Oost"
2023	Deze actualisatie voor verlengde productieperiode gasveld Pieterzijl Oost

De reden voor deze actualisatie van het winningsplan is de verlengde levensduur voor het Pieterzijl Oost voorkomen tot en met 31 december 2030, doordat de productie langzamer gaat dan voorzien. Er is geen aanpassing nodig van het maximale totale productievolume ten opzichte van het vigerende winningsplan. Dit winningsplan bevat een actualisatie van productie- en bodemdalingsvoorspellingen en de seismische risicoanalyse.

2.2 Leeswijzer

Dit document beschrijft de wijze waarop het gas wordt gewonnen, de geologie en de eigenschappen van het ondergrondse gasvoorkomen, de voorspelde productiehoeveelheden, de mate van bodemdaling en het risico op aardbevingen. Onderstaand een overzicht per hoofdstuk.

- Samenvatting - geeft een overzicht van dit winningsplan en is bedoeld om de belangrijkste punten van het plan uit te leggen zonder technische details
- Hoofdstuk 2 - geeft een algemene inleiding en de opbouw van dit document
- Hoofdstuk 3 - Plaats van winning
- Hoofdstuk 4 - Boringen - geven meer informatie over de locaties en putten.
- Hoofdstuk 5 - Ondergrond - geeft een beschrijving van de ondergrond, en met name de geologie.
- Hoofdstuk 6 - Ontwikkelingsvooruitzichten - gaat in op de historische en toekomstige productie en de ontwikkelingsplannen.
- Hoofdstuk 7 - Bodemdaling - beschrijft de historische en verwachte bodemdaling in het gebied rondom het voorkomen. De bodemdaling wordt regelmatig gemonitord volgens een meetplan conform de geldende normen, onder toezicht van Staatstoezicht op de Mijnen (SodM).
- Hoofdstuk 8 - Bodemtrilling - gaat verder in op de seismische risicoanalyse.
- Hoofdstuk 9 - Overige omgevingsaspecten - beschrijft de mogelijke effecten van bodemtrilling en bodemdaling op natuur en milieu.

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

- A.** de totale productie uit het 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 het veld gaat uitkomen boven de uiteindelijke 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 of een aangepast winningsplan;
- 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.** de voorkomens die zijn behandeld in dit winningsplan in de risicocategorie blijven 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 een van de voorkomens in dit plan groter blijkt te zijn.

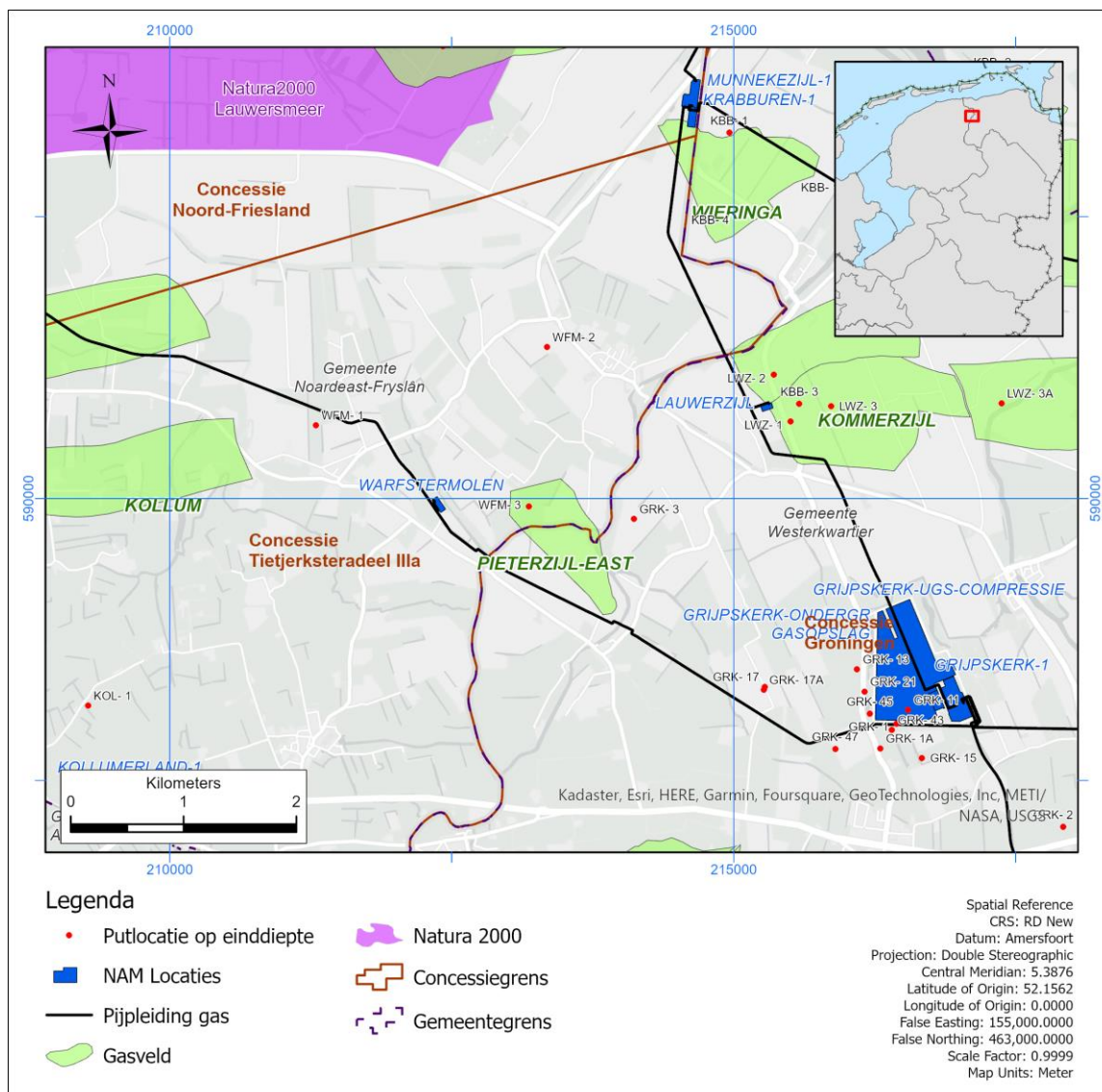
Eventuele toekomstige activiteiten op de locatie of in het reservoir (bijvoorbeeld activiteiten gerelateerd aan putten) zullen de gangbare vergunningsprocedures volgen.

Een klein onderdeel van het winningsplan wordt apart toegezonden aan het Ministerie van Economische Zaken en Klimaat. Dit vertrouwelijke deel bevat bedrijfsgevoelige informatie over de verwachte productie- en investeringskosten. Omdat openbaarmaking de concurrentiepositie van NAM in gevaar zou kunnen brengen, is dit onderdeel niet openbaar.

3 PLAATS VAN WINNING

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

Het gasveld Pieterzijl Oost ligt in de gemeenten Noard East Fryslân en Westerkwartier en valt onder de winningsvergunningen Tietjerksteradeel III en Groningen. Het gehele winningsgebied valt onder het Wetterskip Fryslân. Figuur 3-1 bevat een topografische kaart met de locatie Warfstermolen, put WFM-3, het Pieterzijl Oost voorkomen en de transportleidingen. De locatie Warfstermolen is gelegen aan de Leegsterweg in Warfstermolen in de gemeente Noardeast-Fryslân. Ook de waterwin- en grondwaterbeschermingsgebieden zijn aangegeven. Het dichtstbijzijnde Natura-2000 gebied is Lauwersmeer en dit ligt op ruim 3 km afstand.



Figuur 3-1: Kaart met de locatie van het Pieterzijl Oost voorkomen, putten, oppervlaktelocatie, en transportleidingen. Inclusief (in de buurt gelegen) beschermde Natura-2000 gebieden.

De luchtfoto van de productielocatie Warfstermolen is getoond in Figuur 3-2. Hoofdstuk 4.2 gaat dieper in op de boring in het voorkomen.

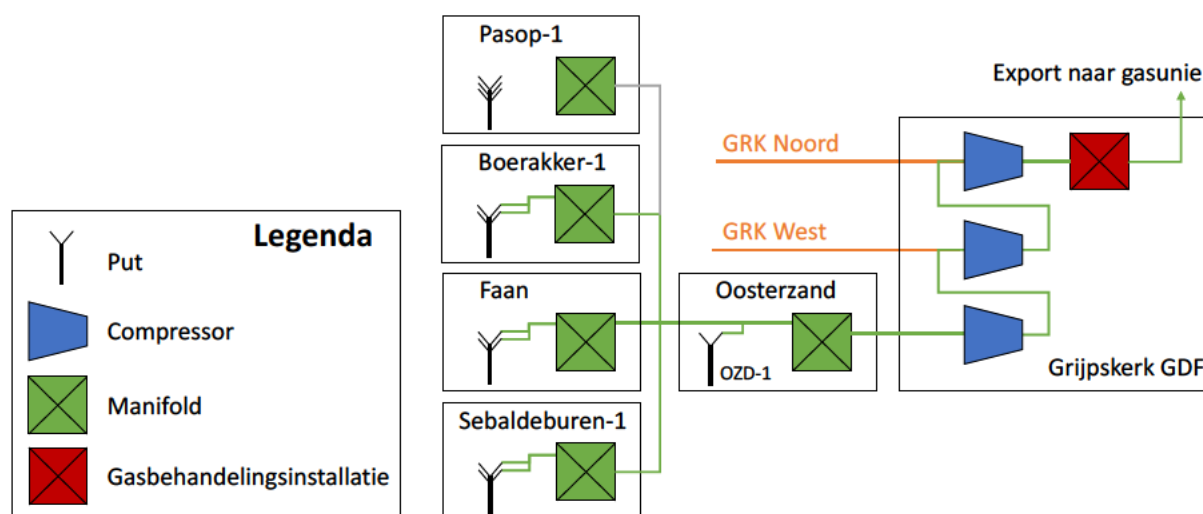


Figuur 3-2: Luchtfoto van productielocatie Warfstermolen.

3.2 Schematische weergave gas- en waterbehandeling en afvoer van gas

Het gas uit het gasveld Pieterzijl Oost wordt gewonnen met de put WFM-3. De gasstroom uit deze put wordt via de productielocatie afgevoerd naar de behandlingsinstallatie locatie Grijskerk GDF, zie Figuur 3-3. Hier wordt het gas behandeld, gecompriëerd en geleverd aan het landelijk Gasunie netwerk. In Figuur 3-4 staat een luchtfoto van deze locatie.

De vloeistofstroom, een kleine hoeveelheid condensaat (vloeibare koolwaterstoffen) en water die meekomen met de gasproductie, wordt vanaf de locatie Grijskerk GDF afgevoerd per pijpleiding naar Delfzijl voor verdere verwerking en verkoop.



Figuur 3-3: Schematische weergave gasbehandeling en afvoer. Dit document gaat over winning vanaf Warfstermolen.



Figuur 3-4: Luchtfoto van de behandelingsinstallatie Grijpskerk GDF en Grijpskerk UGS in de achtergrond.

4 BORINGEN

4.1 Inleiding: Algemene beschrijving van een put

Figuur 4-1 geeft een schematische weergave van een gasproductieput. Hieronder volgt een korte beschrijving van hoe de putten in het verleden geboord zijn en de belangrijkste onderdelen van een put.

Het boren van een put gebeurt met een boortoren. Voordat de boortoren op een locatie wordt geplaatst wordt er een buis in de grond geheid. De boortoren wordt daarna op deze buis opgebouwd, met een boorpijp wordt door de buis de put geboord. Deze 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 een boorvloeistof. Deze zorgt voor het aandrijven van de motor, het verwijderen van boorgruis en de koeling van de boorpijp. Ook levert deze boorvloeistof een hydrostatische druk in het boorgat om vloeistof-instroom te voorkomen.

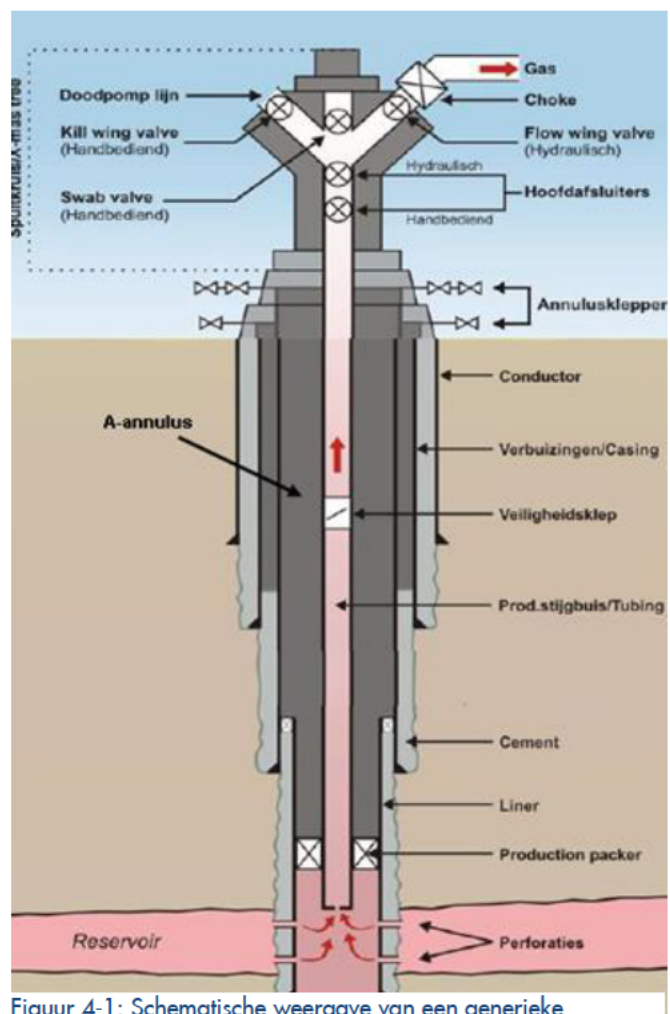
Boven het boorgat staat een metalen installatie, bestaande uit verschillende afsluiters die tijdens het boorproces geactiveerd kunnen worden: dit is de BOP ("blow out preventer").

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: verbuizing ofwel 'casing'. De casing wordt in het boorgat vast gecementeerd waardoor een sterke en stabiele put ontstaat. Dit geeft bescherming en isolering van de bovenliggende grondlagen en het grondwater. Het boren van secties en zetten van een casing herhaalt zich meerdere keren totdat het gasveld is bereikt.

Voor de gasproductie wordt een aparte productie-stijgbuis ('tubing') gebruikt. Deze verbuizing zorgt ervoor dat het aardgas gecontroleerd omhoog kan stromen. De tubing is dus een buis in 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. De tubing beschikt ook over verschillende veiligheidskleppen.

Als de tubing is geïnstalleerd, worden er perforaties gemaakt in de casing ter hoogte van de gasvoerende lagen en kan het gas door de tubing omhoog stromen.



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

Aan de oppervlakte is de 'X-mas tree' of spuitkruis de verbinding tussen de tubing en de bovengrondse leidingen. Deze 'X-mas 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 stroomsnelheid continu gemeten kunnen worden.

4.2 Overzicht boring(en)

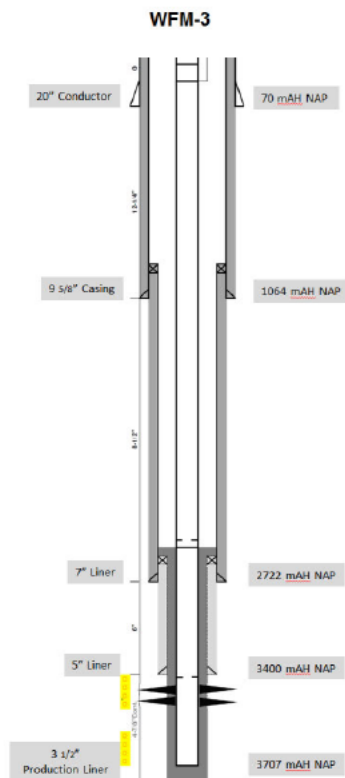
In Tabel 4-1 is de boring met verdere algemene informatie weergegeven. In totaal is er 1 put geboord in het gasveld Pieterzijl Oost. Deze put is Warfstermolen-3, hierna WFM-3.

Tabel 4-1: Specificaties van de put in het betreffende voorkomen. De boring is geperforeerd in het Upper Slochteren reservoir.

Locatie	Putnaam	Putvorm	Status:
Warfstermolen	Warfstermolen-3 (WFM-3)	Gedevieerd	Producterend

4.3 Schematische voorstelling putverbuizing

In Figuur 4-2 is schematisch de putverbuizing van de productieput weergegeven. Via perforaties in de 'cemented completion' wordt het reservoir in verbinding gesteld met een 3,5" productie-stijgbuis ('tubing').



Figuur 4-2: Schematische weergave van de putverbuizing van de WFM-3 put. Dieptes zijn aangegeven langs de put (m AH) gemeten vanaf de vloer van de boorinstallatie. Aangezien putten vaak gedevieerd zijn geboord, is de verticale diepte (m TV) altijd minder dan de 'along hole' diepte (m AH).

4.4 Putstimulatie

Het reservoirgesteente van het Pieterzijl Oost voorkomen is beperkt doorlaatbaar. Gedurende het leven van een put kan het voorkomen dat er aanslag (zgn. *scaling*, bijv. kalk of zout) optreedt aan de binnenkant van de verbuizing en in de perforaties. Om deze *scaling* te verwijderen kan het voorkomen dat de put met zuur behandeld wordt. Dit is een routinehandeling waarbij geen overdruk gebruikt wordt. Deze ontkalking duurt ongeveer een dag en wordt uitgevoerd door een kleine onderhoudsploeg (er is geen boortoren nodig).

Daarnaast kunnen er nieuwe perforaties gemaakt worden om een iets groter deel van het gesteente met de put in communicatie brengen. Deze activiteit duurt ongeveer een dag of twee en wordt uitgevoerd door een kleine onderhoudsploeg (er is geen boortoren nodig). Gedurende de levensduur van de put kan het nodig zijn de tubing (productie-stijgbuis) te vervangen. Tenslotte kunnen er gedurende de levensduur van een put diverse andere onderhoudshandelingen plaatsvinden.

Aangezien er geen overdruk gebruikt wordt bij de routinebehandelingen ten behoeve van het herstel van de putproductiviteit, bestaat er geen risico op negatieve effecten van de behandeling op de integriteit van de afdekkende lagen.

5 ONDERGROND

Dit hoofdstuk geeft een beschrijving van de ondergrond van het Pieterzijl Oost voorkomen vanaf de oppervlakte tot aan de diepte waarop het gasvoorkomen zich bevindt.

5.1 Inleiding: hoe worden de ondergrond-eigenschappen gemeten

Voor het in beeld brengen van de ondergrond worden een groot aantal metingen uitgevoerd en modellen gemaakt die helpen om het voorkomen beter te begrijpen en een voorspelling te kunnen doen hoeveel gas er geproduceerd zal worden. Doordat de omvang van het veld alleen uit indirecte metingen kan worden vastgesteld, en doordat gesteente-eigenschappen alleen worden gemeten in en vlakbij bestaande putten, bestaat er een onzekerheid over de grootte en de andere eigenschappen van het gasveld. Voorspellingen zullen daardoor altijd een onzekerheidsmarge hebben. Die onzekerheidsmarge verschilt per parameter en zal dus een verschillend effect op de voorspellingen hebben.

De omvang en diepte van het veld worden bepaald uit de analyse van geluidsgolven (zgn. seismiek). De seismiek heeft altijd een zekere mate van ruis. Bovendien is de voortplantingssnelheid van geluidsgolven in de gesteentelagen boven het voorkomen onzeker. De exacte diepte van het voorkomen is alleen bekend waar een put het gasreservoir binnengaat, dus op een beperkt aantal plaatsen. Het gevolg daarvan is dat er enige onzekerheid is over de omvang en exacte diepte van het veld. De fysische eigenschappen van gesteente, zoals dichtheid, weerstand en geluidssnelheid, zijn belangrijke parameters voor het bepalen van reservoir-eigenschappen als porositeit, saturatie en doorlaatbaarheid (permeabiliteit). Deze fysische eigenschappen worden bepaald met boorgatmetingen door na het boren van de putten meetinstrumenten in de boorgaten te laten zakken.

De eigenschappen van de gesteenten verder weg van de boorgaten worden verkregen door correlatie tussen de verschillende boorgaten met behulp van een geologisch model van de ondergrond. Dit introduceert extra onzekerheid, omdat de eigenschappen van de gesteenten lateraal kunnen variëren, en metingen op een klein aantal locaties over grotere afstand of zelfs naar een naburig veld geëxtrapoleerd moeten worden.

Het gevolg is dat er onzekerheden bestaan over de diverse aspecten van het gasveld, zoals de hoeveelheid gas, de productiesnelheid en het verloop daarvan in de tijd, maar ook over de uiteindelijke bodemdaling. Dat leidt ertoe dat voorspellingen van onzekerheidsmarges voorzien zullen zijn. Omdat uit het Pieterzijl Oost voorkomen al geruime tijd wordt geproduceerd, zullen deze onzekerheidsmarges relatief klein zijn.

5.2 Geologie en gesteente-eigenschappen van het voorkomen

In deze sectie worden de geologische formaties beschreven, zowel die waarin de voorkomens zich bevinden, als de bovenliggende formaties. Voor een volledige beschrijving met nadere uitwerking van gebruikte begrippen wordt verwezen naar referentie: *Geology of the Netherlands*, Wong et al. (eds), Royal Netherlands Academy of Arts and Sciences, Amsterdam University Press, 2007.

Het ontstaan van gasvoorkomens

Plantelijk en ander organisch materiaal dat aan het aardoppervlak gevormd wordt kan in de loop van de geologische geschiedenis worden begraven onder soms kilometers dikke lagen sedimentair gesteente. Door de daarmee gepaard gaande hoge druk en temperatuur kan uit die organische bestanddelen aardgas of methaan worden gevormd. De gasmoleculen bewegen vanwege hun lage dichtheid door de poriën van het gesteente naar boven richting het aardoppervlak. Als onderweg een ondoorlatende gesteentelaag wordt aangetroffen hoopt het gas zich op in de poriën van het gesteente direct onder de

afsluitende laag. Als ook de zijwaartse verspreiding wordt verhinderd ontstaat er een gasreservoir. Zijwaartse begrenzingen worden vaak gevormd door breuken in het gesteente als gevolg van bewegingen in en tussen tektonische aardplaten.

Reservoir Formaties en Bron Koolwaterstoffen

Het gasvoerende reservoir van het Pieterzijl Oost voorkomen behoort tot de Slochteren Formatie (zie Tabel 5-1 **Error! Reference source not found.**). Deze formatie is onderdeel van de Boven-Rotliegend Groep uit het Perm tijdperk. De Ten Boer en Ameland Laagpakketten van de Silverpit Formatie behoren ook tot de Boven-Rotliegend Groep, maar deze zijn in het Pieterzijl Oost voorkomend niet gasvoerend en bestaan hier voornamelijk uit kleisteen. De Slochteren Formatie in het Pieterzijl Oost voorkomen bestaat uit een afwisseling van fluviatiele zandstenen en conglomeraatintervallen, waarvan de zandstenen in het algemeen een betere reservoirkwaliteit hebben. De formaties van de Boven Rotliegend Groep worden afgedekt door het Laagpakket van Ten Boer en de Zechstein Groep. Deze groep bestaat voornamelijk uit ondoorlatende evaporiet afzettingen (zout en anhydriet).

Het gas in het Pieterzijl Oost voorkomen is gevormd in de steenkoollagen van de onderliggende Limburg Groep. Het gas is vervolgens naar boven gemigreerd tot in de poriën van de Slochteren Formatie. De ondoorlatende formaties van de Zechstein Groep hebben daarna verhinderd dat het gas verder naar de oppervlakte kon ontsnappen.

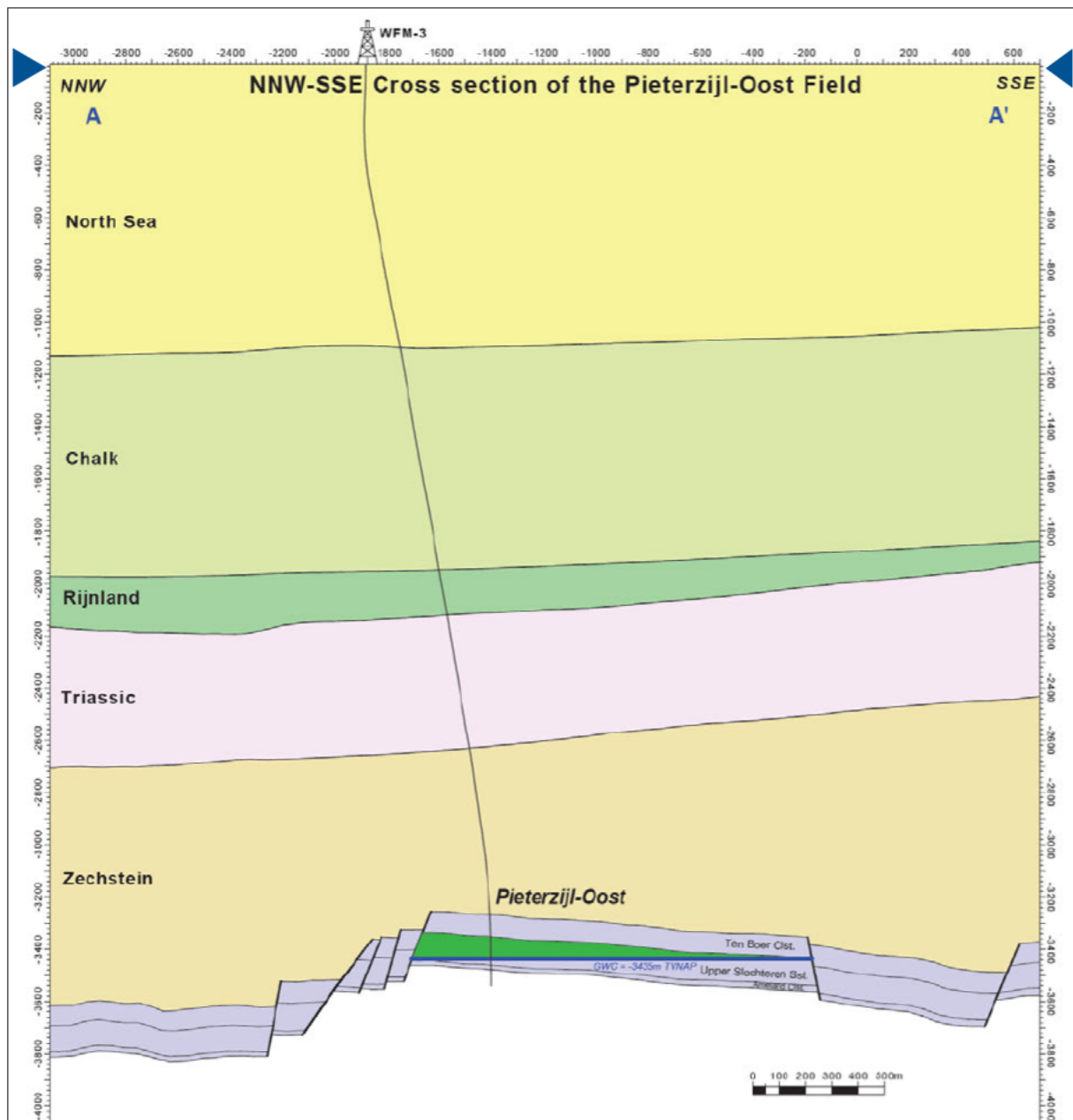
Structuur

Het Pieterzijl Oost voorkomen bevindt zich in een naar het zuidoosten hellend breukblok, dat aan alle kanten is begrensd door breuken. In de noordoostelijke hoek van het breukblok bevindt zich een spillpoint ('lekpunt') op een diepte van 3409 mNAP. Dit lekpunt heeft ook de hoogte van de gaskolom bepaald. Het voorkomen wordt zowel aan de bovenkant als langs de randbreuken afgesloten door de ondoorlatende formaties van de Zechstein Groep (Figuur 5-1). In bijlage C zijn een schematische doorsnede en geologische kaart van het voorkomen weergegeven.

Reservoireigenschappen

Ouderdom	Groep	Formatie	Laagpakket	Afkorting	Doorstroming
Tertiair	Boven-Noordezee (NU)			NU	
	Midden-Noordzee (NMN)			NMRU	
	Onder-Noordzee (NL)	Dongen	Asse	NLDOAS	Ondoorlatend
			Zand van Brussel	NLDOBR	
			Ieper	NLDOIE	Ondoorlatend
			Tuffiet (inf.)	NLFFT	
		Landen		NLLA	Ondoorlatend
Boven Krijt	Krijtkalk (CK)	Ommelanden		CKGR	Ondoorlatend
		Texel		CKTX	
Onder Krijt	Rijnland (KN)	Holland	Boven-Holland Mergel	KNGLU	
			Midden-Holland Kleisteen	KNGLM	
			Onder-Holland Mergel	KNGLL	
		Vlieland Kleisteen	Hoofd-Vlieland Kleisteen	KNNCM	
Trias	Boven-Germaanse Trias (RN)	Röt		RNRO	Ondoorlatend
		Solling	Kleisteen	RNSOC	Ondoorlatend
	Onder-Germaanse Trias (RB)	Volprieausen		RBMV	
		Onder-Bontzandsteen		RBSH	Ondoorlatend
Perm	Zechstein (ZE)	Z4	Zout	ZEZ4H	Ondoorlatend
			Pegmatiet-Anhydriet	ZEZ4A	
			Rode Zoutklei	ZEZ4R	
		Z3	Z3 Zout	ZEZ3H	Ondoorlatend
			Z3 Hoofdanhydriet	ZEZ3A	
			Z3 Carbonaat	ZEZ3C	
			Z3 Grijs Zoutklei	ZEZ3G	
			Z2 Dakanhydriet	ZEZ2T	
		Z2	Z2 Zout	ZEZ2H	Ondoorlatend
			Z2 Basale Anhydriet	ZEZ2A	
			Z2 Carbonaat	ZEZ2C	
		Z1	Z1 Anhydriet	ZEZ1W	Ondoorlatend
			Z1 Carbonaat	ZEZ1C	
			Z1 Koperschalie	ZEZ1K	Ondoorlatend
	Boven Rotliegend (RO)	Silverpit	Ten Boer	ROCLT	Ondoorlatend
		Slochteren	Boven Slochteren	ROSLU	Reservoir
			Ameland	ROCLA	
			Onder Slochteren	ROSLI	
Carboon	Limburg (DC)			DC	Oorsprong Gas

Tabel 5-2 geeft de gemiddelde reservoir eigenschappen van het producerende reservoirgesteente weer. De verhouding van de hoeveelheid gesteente met reservoir kwaliteit (doorlatend en gasvoerend) ten opzichte van klei (ondoorlatend en niet producerend) wordt aangegeven met Net-to-Gross of NiG. De verhouding van het (gashoudend) poriënvolume ten opzichte van het totale gesteentevolume is aangegeven met de porositeit. De mate van doorlatendheid van het gesteente wordt aangeduid met permeabiliteit. Hierbij moet opgemerkt worden dat de tabel de gemiddelde waarden beschrijft.



Figuur 5-1: Dwarsdoorsnede van maaiveld tot aan het reservoir van het Pieterzijl Oost voorkomen. Rechtsboven is met een blauwe wig de typische diepte voor waterwinning weergegeven.

Tabel 5-1: Geologische Formaties

Ouderdom	Groep	Formatie	Laagpakket	Afkorting	Doorstroming
Tertiair	Boven-Noordezee (NU)			NU	
	Midden-Noordzee (NMN)			NMRU	
	Onder-Noordzee (NL)	Dongen	Asse	NLDOAS	Ondoorlatend
			Zand van Brussel	NLDOBR	
			Ieper	NLDOIE	Ondoorlatend
			Tuffiet (inf.)	NLFFT	
Boven Krijt	Krijtkalk (CK)	Landen		NLLA	Ondoorlatend
		Ommelanden		CKGR	Ondoorlatend
		Texel		CKTX	
Onder Krijt	Rijnland (KN)	Holland	Boven-Holland Mergel	KNGLU	
			Midden-Holland Kleisteen	KNGLM	
		Vlieland Kleisteen	Onder-Holland Mergel	KNGLL	
			Hoofd-Vlieland Kleisteen	KNNCM	
Trias	Boven-Germaanse Trias (RN)	Röt		RNRO	Ondoorlatend
		Solling	Kleisteen	RNSOC	Ondoorlatend
	Onder-Germaanse Trias (RB)	Volpriehausen		RBMV	
		Onder-Bontzandsteen		RBSH	Ondoorlatend
Perm	Zechstein (ZE)	Z4	Zout	ZEZ4H	Ondoorlatend
			Pegmatiet-Anhydriet	ZEZ4A	
			Rode Zoutklei	ZEZ4R	
		Z3	Z3 Zout	ZEZ3H	Ondoorlatend
			Z3 Hoofdanhydriet	ZEZ3A	
			Z3 Carbonaat	ZEZ3C	
			Z3 Grijs Zoutklei	ZEZ3G	
			Z2 Dakanhydriet	ZEZ2T	Ondoorlatend
		Z2	Z2 Zout	ZEZ2H	
			Z2 Basale Anhydriet	ZEZ2A	
			Z2 Carbonaat	ZEZ2C	
		Z1	Z1 Anhydriet	ZEZ1W	Ondoorlatend
			Z1 Carbonaat	ZEZ1C	
			Z1 Koperschalie	ZEZ1K	Ondoorlatend
	Boven Rotliegend (RO)	Silverpit	Ten Boer	ROCLT	Ondoorlatend
		Slochteren	Boven Slochteren	ROSLU	Reservoir
			Ameland	ROCLA	
			Onder Slochteren	ROSLI	
Carboon	Limburg (DC)			DC	Oorsprong Gas

Tabel 5-2: Gemiddelde fractie van net reservoir in de formatie (NtG), gemiddelde porositeit en permeabiliteit van het reservoir in het voorkomen.

Producterende formatie	NtG (%)	Porositeit (%)	Permeabiliteit (mD)
Slochteren	99	13	0.5

5.3 Gesteente-eigenschappen van de bovenliggende lagen

In Tabel 5-1 worden de bovenliggende lagen genoemd, inclusief de belangrijkste eigenschappen van deze lagen. Deze tabel laat zien welke van de formaties ondoorlatend zijn.

5.4 Andere gebruiksmogelijkheden van de ondergrond

Waterwinning vindt plaats in de bovenste lagen van de Boven-Noordzee Groep, boven de grens waar het zoete grondwater overgaat in zoutwater. Deze grens ligt boven het Pieterzijl Oost voorkomen tussen de 5 en 10 m diepte. Daaronder is al het grondwater of formatiewater van nature zout tot zeer zout. Het dichtstbijzijnde grondwaterbeschermingsgebied bevindt zich bij Leek op ongeveer 17 km ten zuidoosten van het gasveld Pieterzijl Oost, waar de zoutwatergrens zich tussen de 175 en 200 m diepte bevindt. Door de grote afstand is er geen interactie tussen het gasvoorkomen en het waterwingebied. Productieactiviteiten zullen geen effect hebben op de samenstelling van het zoete grondwater.

Naast waterwinning wordt in Nederland ook warmte-energie of geothermische energie uit de ondergrond gewonnen. Een onderscheid wordt gemaakt tussen "bodewarmte" en "aardwarmte".

Bodewarmte 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 dieper uit de aarde zodat er dieper geboord moet worden (vaak meer dan 2 kilometer diep, afhankelijk van de locatie). Een dergelijk geothermieproject bestaat doorgaans uit een producerende put (deze pompt warm water uit het reservoir) en een injecterende put (deze brengt het afgekoelde water weer terug in hetzelfde reservoir). In de directe nabijheid van het gasveld Pieterzijl Oost zijn dergelijke geothermie projecten nog niet uitgevoerd. SodM is toezichthouder op zowel olie- en gaswinning als geothermie.

Zoutwinning vindt plaats in Nederland uit verschillende zoutcavernes, maar niet in de nabijheid van het Pieterzijl Oost voorkomen.

Gasopslag: De dichtstbijzijnde ondergrondse gasopslag vindt plaats in de Grijskerk UGS (Underground Gas Storage) op kleine afstand van het Pieterzijl Oost voorkomen. Er is geen interactie tussen het opereren van de Grijskerk UGS en de winning uit het Pieterzijl Oost voorkomen.

6 ONTWIKKELINGSVOORUITZICHTEN

Dit hoofdstuk beschrijft de historische en toekomstige productie. Hierin worden de ontwikkelingsplannen van het gasveld Pieterzijl Oost en de winningsstrategie uitgewerkt.

6.1 Inleiding

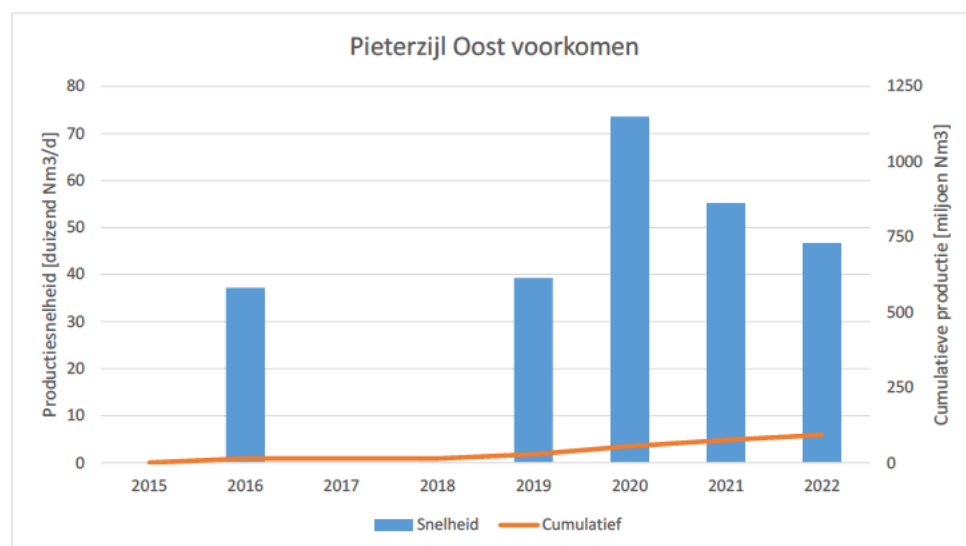
Het gasveld Pieterzijl Oost is in 2015 aangeboord met de WFM-3 put. In 2016 is de productiviteit voor enkele maanden getest waarna het veld weer is ingesloten. Na het instemmingsbesluit van 13 juni 2019 is het veld in productie genomen.

6.2 Historische Productie

Tabel 6-1 geeft de historische productie getalsmatig weer en Figuur 6-1 geeft de productiesnelheid (staafdiagram) en cumulatieve productie (lijn) grafisch weer.

Tabel 6-1: Historische productie uit het voorkomen.

Productie [in miljoen Nm ³]	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	Productie t/m 2022
Pieterzijl Oost	0	14	0	0	14	27	20	17	92



Figuur 6-1: Historische productiesnelheid en cumulatieve productie van het Pieterzijl Oost voorkomen.

6.3 Onzekerheden

De onzekerheid van toekomstige productie van het gasveld Pieterzijl Oost is afhankelijk van verschillende factoren:

- De hoeveelheid formatiewater die met het gas zal worden mee geproduceerd.
- De hoeveelheid gas die nog verbonden is met de bestaande put.
- De minimale productiesnelheid die de bestaande put nodig heeft om stabiel te produceren.

Deze onzekerheden kunnen afnemen door monitoring van reservoirgedrag van de bestaande putten.

6.4 Winningsstrategie en reservoirmanagement

De winning vindt plaats doordat gas naar de put stroomt als gevolg van de aanwezige reservoirdruk in combinatie met het verlagen van de druk aan het oppervlak door compressie. Het gas wordt zodanig gewonnen dat de faciliteiten optimaal worden benut.

In navolgend overzicht (Tabel 6-2) wordt de verwachte totale gaswinning gegeven. De "Statische GIIP" geeft de hoeveelheid gas die oorspronkelijk in het reservoir aanwezig was. Het "Midden scenario" en "Hoog scenario" verwijzen naar de voorspellingen zoals beschreven in sectie 6.5. Het "winningspercentage" is gedefinieerd als percentage van de totale winning van het oorspronkelijke aanwezige gas.

De reservoirprestaties worden gemonitord door:

- Water-, condensaat- en gasproductiemetingen (kunnen van afstand uitgelezen worden).
- Regelmatige drukmetingen aan het oppervlak en wanneer noodzakelijk onder in de verbuizing.

Met deze monitoring wordt de hoeveelheid aanwezig gas, de mogelijkheid van compartimentalisatie in het reservoir en de invloed van mogelijk aanwezige aquifers geëvalueerd. Indien de productieprestatie van de put over tijd vermindert, kan het nodig zijn de verbuizing onderin bij de perforaties schoon te maken (*clean-out*) of om opnieuw te perforeren.

Tabel 6-2: Verwachte totale winning en winningspercentage.

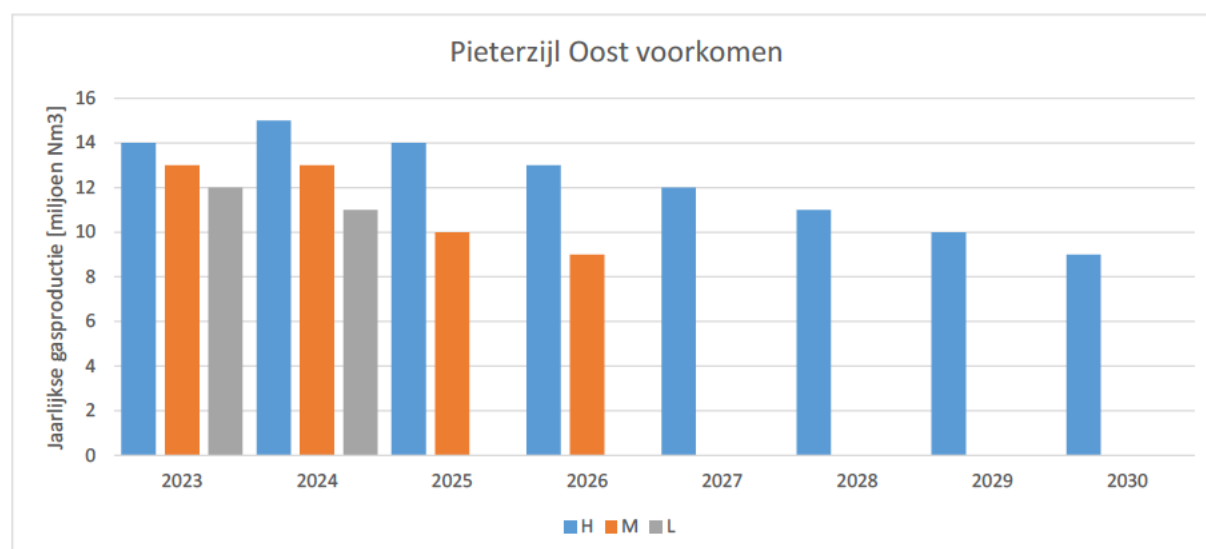
Voorkomen	Totale winning tot eind 2022	Statische GIIP (Midden)	VERWACHTE TOTALE WINNING (MIDDEN)	Verwacht winningspercentage (Midden)	VERWACHTE TOTALE WINNING (HOOG)	Verwacht winningspercentage (Hoog)
	[miljoen Nm ³]	[miljoen Nm ³]	[miljoen Nm ³]	[%]	[miljoen Nm ³]	[%]
Pieterzijl Oost	92	294	137	47	190	65

6.5 Winingssnelheid (hoeveelheden per voorkomen/per jaar)

Deze paragraaf beschrijft de verwachte productieprofielen van het Pieterzijl Oost voorkomen. De productie kent in tijd en volume de nodige onzekerheden. Om deze reden zijn drie productieprofielen, laag, midden en hoog uitgewerkt in Tabel 6-3 en Figuur 6-2. Deze profielen zijn indicatief. De daadwerkelijk gerealiseerde productie zal dus niet precies overeenkomen met (één van) de hieronder geschetste profielen. Echter, de uiteindelijke totale winning zal binnen het maximaal vergunde volume blijven.

Tabel 6-3: Verwachte jaarlijkse productie.

Productie [in miljoen Nm ³]	Scenario	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Pieterzijl Oost	H	14	15	14	13	12	11	10	9
	M	13	13	10	9				
	L	12	11						



Figuur 6-2: Verwachte jaarlijkse productie.

6.6 Duur van de winning

De productie zal worden gestopt als de totale productiekosten de productieopbrengsten zullen overstijgen. Op basis van het Hoog scenario duurt de productie naar verwachting tot en met 31 december 2030. Het einde van de productie zou eerder kunnen plaatsvinden als gevolg van onverwachte technische of andere oorzaken. In het bijzonder kan het in de eindfase gebeuren dat een put onverwacht stopt met produceren en dat het door de lage reservoirdruk niet meer mogelijk is de productie te herstellen.

6.7 Jaarlijks eigeengebruik bij winning

Op de locatie Warfstermolen wordt geen gas voor eigen gebruik aangewend. Op de behandelingslocatie Grijskerk GDF wordt jaarlijks voor eigen gebruik (fornuis + fakkel/vent spoelgas + fakkel waakvlam) ca. 0,8 miljoen Nm³ gas aangewend. Dit verandert niet naar aanleiding van dit winningsplan. Er wordt gestreefd naar een zo efficiënt mogelijke gaswinning met minimaal eigen gebruik.

6.8 Jaarlijks bij winning afgeblazen/afgefakkelde koolwaterstoffen

Alle (natte) gasstromen van locatie Warfstermolen worden afgevoerd via de behandelingslocatie Grijskerk GDF. Alleen bij geplande werkzaamheden, wanneer een gedeelte van het systeem drukvrij gemaakt moet worden, kan een kleine hoeveelheid gas afgeblazen of afgefakkeld worden. Er wordt gestreefd naar zo weinig mogelijk emissies, onder andere door het afblazen en affakkelen zo veel mogelijk te beperken.

Op de behandelingslocatie Grijskerk GDF wordt op jaarbasis ca. 0,5 miljoen Nm³ afgeblazen dan wel afgefakkeld. Deze gegevens zijn gebaseerd op de werkelijke waarden uit 2022 en dienen als indicatie gebruikt te worden voor de komende jaren.

6.9 Stoffen die jaarlijks worden mee geproduceerd

Tabel 6-4 geeft de samenstelling van het geproduceerde gas uit het Pieterzijl Oost voorkomen, op basis van analyses van gasmonsters. De condensaat-gas ratio is constant over tijd, waardoor het jaarlijkse volume condensaat samen met de gasproductie afneemt over tijd. Samen met het gas wordt ook een beperkte hoeveelheid water meegeproduceerd, variërend tussen de 2000 en 4000 m³ per jaar, afhankelijk van o.a. de jaarlijks geproduceerde gasvolumes en de ontwikkeling van de gas-water-ratio.

Tabel 6-4: Overzicht gassamenstelling.

Gaseigenschap	Pieterzijl Oost
Condensaat-gas ratio (sm ³ /mln Nm ³)	10
Condensaat dichtheid (kg/Sm ³)	780
Relatieve Gas Dichtheid (lucht=1)	0,66
Verbrandingswarmte van het gas (MJ/Nm ³)	42
Wobbe index gas (MJ/Nm ³)	52
C ₁ (mol%)	85
H ₂ S (mol%)	0,0
CO ₂ (mol%)	1,6
N ₂ (mol%)	3,6

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

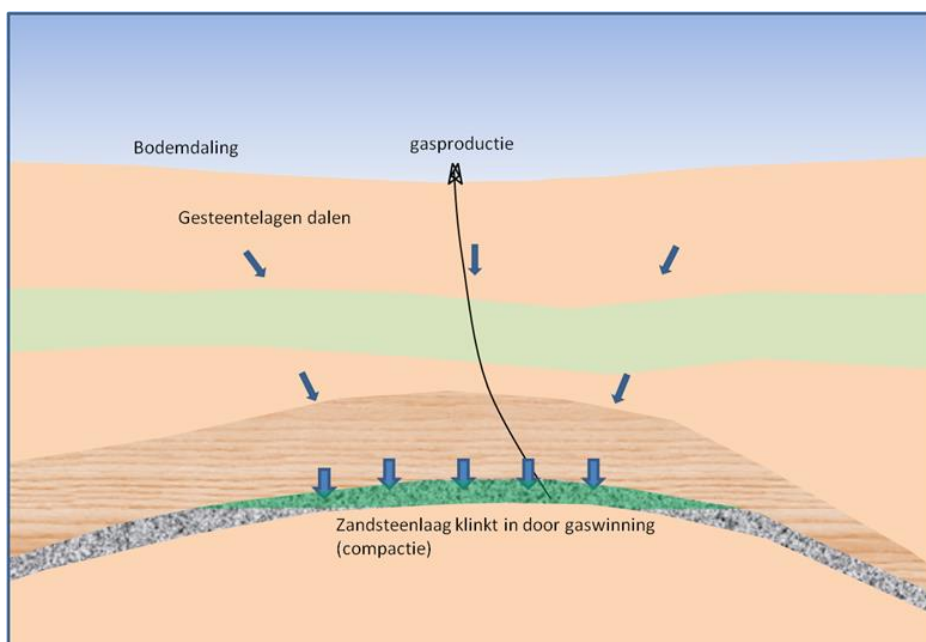
Het productiewater wordt samen met het aardgascondensaat van de behandelingslocatie Grijskerk GDF per transportleiding getransporteerd naar het tankenpark Delfzijl waar het water en condensaat worden gescheiden. Het condensaat wordt vervolgens verkocht en het water wordt per transportleiding naar locatie Borgsweer getransporteerd, waar het via een injectieput wordt teruggepompt in de ondergrond.

7 BODEMDALING

De bodemdalingsprognose van dit winningsplan laat zien dat de nog te verwachten bodemdaling boven het gasveld Pieterzijl Oost maximaal 2 cm bedraagt als gevolg van productie uit Pieterzijl Oost. De verwachte totale bodemdaling door productie uit het Pieterzijl Oost veld is eveneens maximaal 2 cm. Dit is gelijk met de inschatting van de bodemdaling volgens het vigerende winningsplan uit 2016. De bodemdaling boven Pieterzijl Oost wordt voornamelijk veroorzaakt door de naburige velden. De verwachte cumulatieve totale bodemdaling als gevolg van alle door NAM geopereerde velden is maximaal 8 cm boven het Pieterzijl Oost veld (inclusief na-ijling). Dit is eveneens gelijk met de inschattingen volgens het vigerende winningsplan.

7.1 Inleiding: hoe komt bodemdaling tot stand

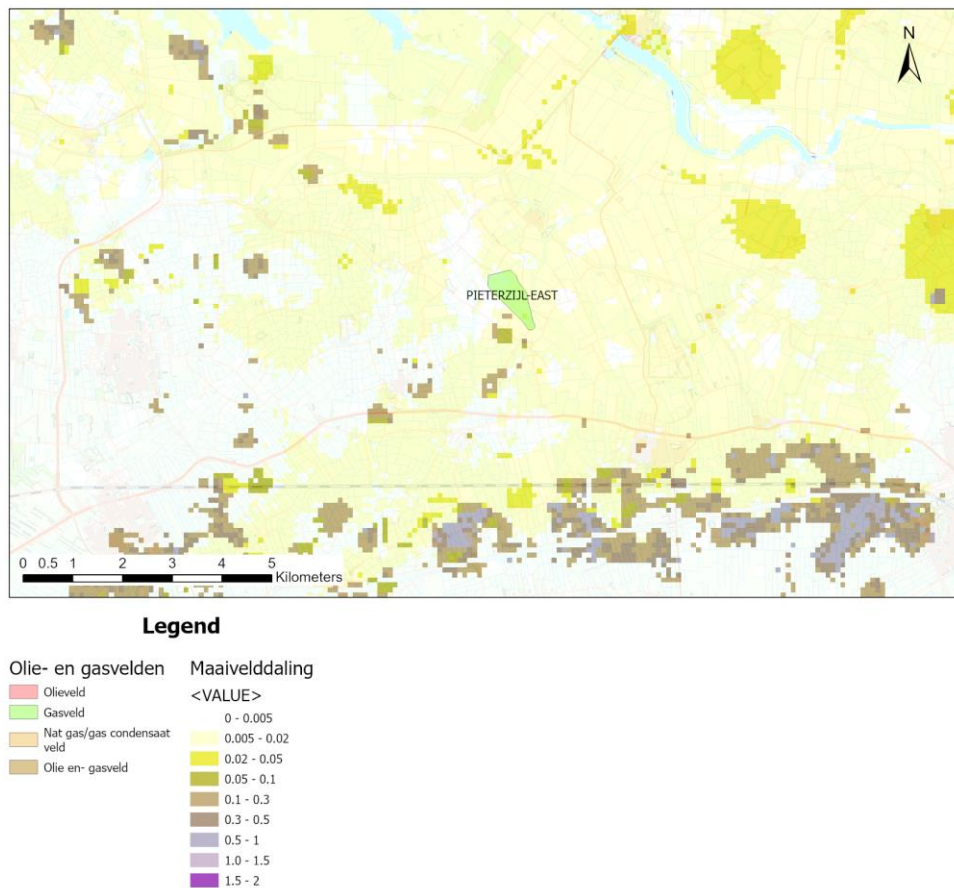
In een gasveld veroorzaakt de winning van aardgas een vermindering van de poriëndruk in de gasvoerende gesteentelaag. Daarbij wordt het gesteente van deze gasvoerende laag langzaam iets samengedrukt onder het gewicht van de bovenliggende lagen. Deze samendrukking wordt ook wel compactie genoemd en hangt af van verschillende factoren zoals de materiaaleigenschappen van het reservoirgesteente, de grootte van de drukdaling en de dikte van de gasvoerende laag (Figuur 7-1). Deze compactie bedraagt over het algemeen 0,1 tot 0,2 % van de dikte van de gasvoerende laag bij de maximale drukdaling (depletie) in het 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 een klein gasveld zoals Pieterzijl Oost, zal de maximale bodemdaling aan het aardoppervlak een fractie zijn van de compactie in de gasvoerende laag. Het volume van de bodemdalingskom is ongeveer even groot als de volumeverandering van het gasreservoir, waarbij de oppervlakte van de kom groter zal zijn dan de oppervlakte van het reservoir. Aan alle kanten van de reservoiromtrek komt er een afstand bij van ongeveer 1 à 2 maal de diepte van het reservoir. Figuur 7-1 geeft dit schematisch weer. Wanneer gasvelden dicht bij elkaar liggen kan er een overlap ontstaan van de verschillende bodemdalingskommen.



Figuur 7-1: Druk daling in het reservoir zal leiden tot (beperkte) bodemdaling. (Let op: figuur niet op schaal).

7.2 Bodemdaling door natuurlijke processen

Naast de bodemdaling ten gevolge van gas- of oliewinning zijn er ook andere oorzaken, onafhankelijk van de gaswinning, die leiden tot bodemdaling. Deze zijn samengevat onder de term autonome bodemdaling. Veenoxidatie en veen/klei inklinking zijn in Nederland 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 PBL¹, 2011, Hopman et al. 2013²). De voorspelling geeft een eerste orde schatting van de autonome daling wanneer het grondwaterpeil meebeweegt met de bodemdaling in deze periode. Geconcludeerd wordt dat de autonome bodemdaling tussen de nul en enkele centimeters varieert. De metingen van de bodemdaling in dit gebied zijn gedaan op gefundeerde punten (peilmerken) en daarmee is aangenomen dat de metingen representatief zijn voor de bodemdaling door gaswinning.



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.

¹ 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

² 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

7.3 Meten en berekenen van bodemdaling door gaswinning

Meten van bodemdaling

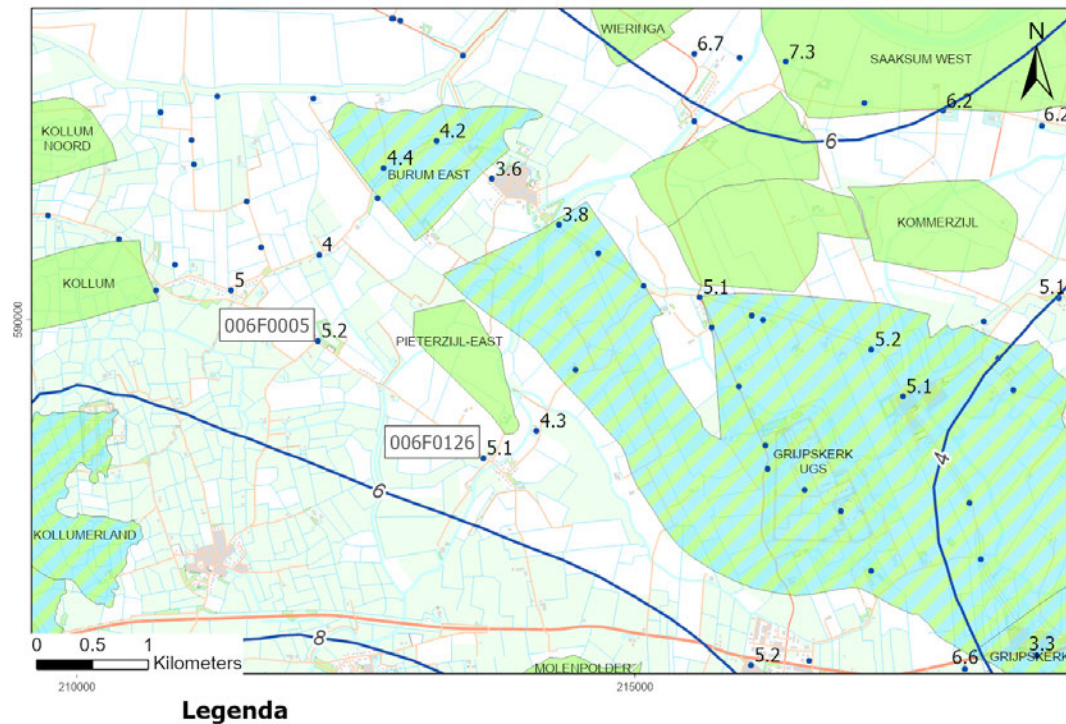
Voor alle delen in Nederland waar gas wordt gewonnen moet een *meetplan* worden opgesteld. Dit meetplan geeft inzicht in hoe de bodemdaling in een ruim gebied rondom het gasvoorkomen wordt gemeten. Dat gebeurt door waterpassing op een reeks punten in een meetnet, boven en rondom het voorkomen. Steeds vaker worden de traditionele waterpassingen vervangen door satellietmetingen (InSAR). Deze techniek zorgt voor frequentere metingen en een ruimere dekking van het gebied. Voor het opstellen van een meetplan bestaan wettelijke regels waarbij tevens de zogenaamde 'Industrieleidraad – Geodetische basis voor Mijnbouw'³ wordt gevolgd. De frequentie van de metingen, en de dichtheid en uitgebreidheid van het meetnet, worden gekozen in overleg met SodM en de Technische Commissie Bodembeweging (Tcbb). Het meetplan vereist de jaarlijkse goedkeuring van Economische Zaken en Klimaat. Figuur 7-3, toont de gemeten bodemdaling op de punten voor de periode tussen 1987 en 2018. In deze periode is de gemeten bodemdaling boven het Pieterzijl Oost voorkomen maximaal 6 cm. De gaswinning in Pieterzijl Oost startte in 2019. De reden dat er geen getallen naast vele punten staan is dat in 1987 en/of in 2018 deze punten niet zijn aangemeten. In de berekening van de bodemdaling (zie volgende paragraaf) wordt vanzelfsprekend gebruik gemaakt van alle beschikbare data.

Berekenen van bodemdaling

Zoals beschreven in de voorgaande paragraaf worden de metingen uitgevoerd op puntniveau. Om een beter inzicht te verkrijgen in de totale verspreiding van de bodemdaling wordt een bodemdalingsmodel gemaakt. Dit model berekent met behulp van informatie van het gasveld, zoals dikte, drukdaling, grootte en de samendrukbaarheid van het gesteente (zie inleiding) de historische en toekomstige bodemdaling. Het huidige bodemdalingsmodel voor het Pieterzijl Oost voorkomen maakt gebruik van het RTCiM (Rate Type Compaction Model) compactiemodel, zoals dit nu ook gebruikt wordt voor heel Noord-Nederland⁴. Het bodemdalingsmodel houdt rekening met een na-ijl periode van de bodemdaling na het stoppen van de productie.

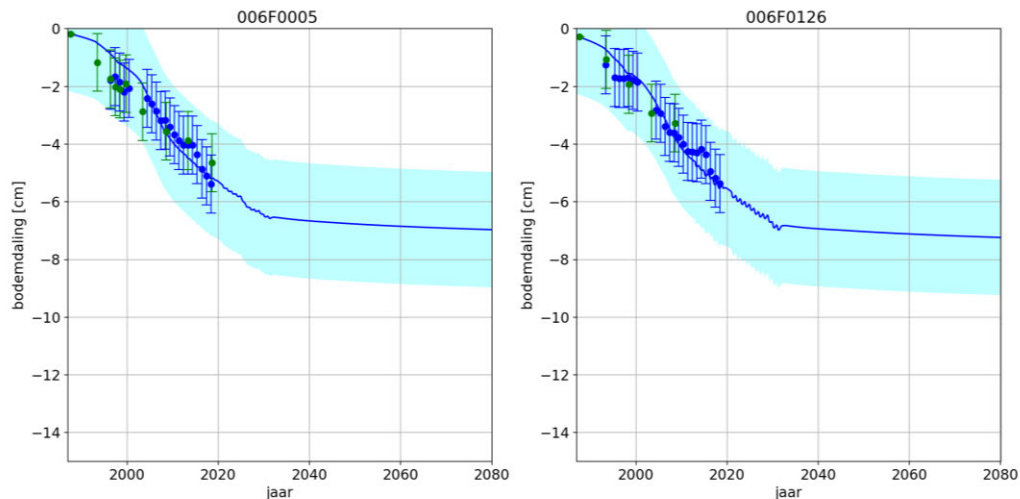
³ Technisch platform bodembeweging, Geodetische basis voor Mijnbouw. Industrieleidraad versie 1.0 ([link](#))

⁴ NAM (2020) Bodemdaling door aardgaswinning - Statusrapport 2020 en Prognose tot het jaar 2080 (december 2020). ([link](#))



Figuur 7-3: In 2018 gemeten bodemdaling in cm (sinds de meting in 1987), weergegeven op de peilmerken (punten). De contouren geven de gemodelleerde bodemdaling in cm. De bodemdaling in tijd voor de aangegeven punten worden getoond in Figuur 7-4.

Om inzicht te verkrijgen over de kwaliteit van het model ten opzichte van de historische metingen zijn boven het gasveld Pieterzijl Oost twee meetpunten geselecteerd waar meerdere keren in de tijd bodemdaling is gemeten (zie Figuur 7-4). Dit figuur laat ook de nog te verwachten totale bodemdaling zien door gasproductie voor deze punten. De kleine schommelingen die zichtbaar zijn in de blauwe lijnen worden veroorzaakt door bodembeweging die gepaard gaat met de drukcycli van de nabijgelegen ondergrondse gasopslag Grijskerk.



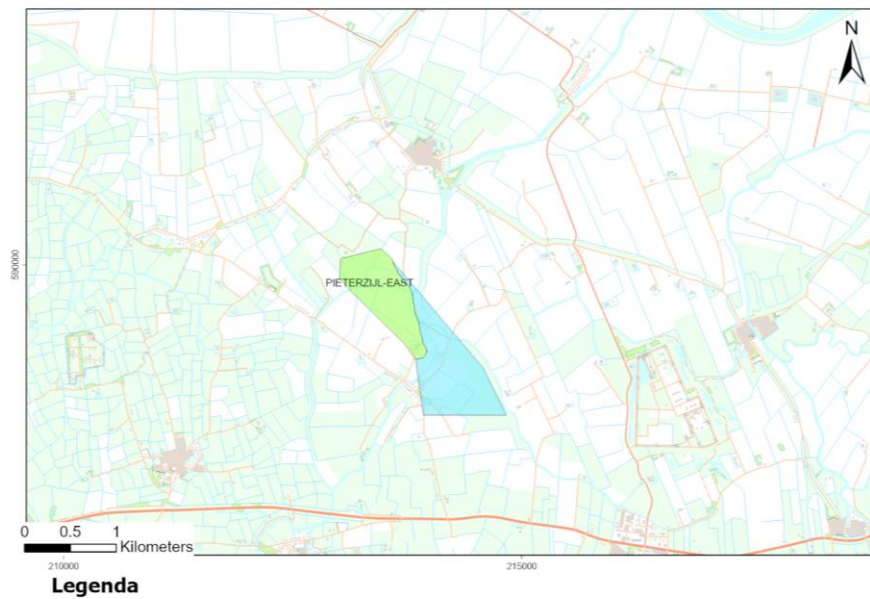
Figuur 7-4: Vergelijking van gemeten bodemdaling (met behulp van waterpassing (groen) en InSAR (blauw)) en berekende bodemdaling (blauwe lijn) voor de peilmerken 006F0005 en 006F0126 nabij het gasveld Pieterzijl Oost. De meetonzekerheid in de metingen ligt in de orde van een cm per meetpunt (voor een specifiekere uitwerking van de nauwkeurigheid van geodetische metingen, zie het LTS-II vervolgstudie rapport⁵). De blauwe lijn toont de verwachte gemodelleerde bodemdaling op deze locatie. Het lichtblauwe gebied toont de onzekerheid van het model. De locatie van de peilmerken is aangegeven in Figuur 7-3.

7.4 Bodemdalingsvooruitzichten

Met de beschikbare gegevens over de ondergrond en het productiescenario zoals beschreven in dit winningsplan is een prognose voor de toekomstige bodemdaling ten gevolge van gaswinning uit het gasveld Pieterzijl Oost opgesteld. De bodemdaling door gaswinning in dit gebied wordt weergegeven in Figuur 7-5. De bodemdaling als gevolg van gaswinning uit alleen het voorkomen Pieterzijl Oost vanaf de eerste winning in 2016 tot 2080 is minder dan 2 cm en daarom worden er in dit figuur geen contouren getoond.

Naast de drukdaling in het gasveld kan er ook drukdaling ontstaan in de aangrenzende delen van de reservoirlaag die watervoerend zijn, de zgn. *laterale aquifers*. Ook deze delen van de reservoirlaag zullen compacteren en zorgen voor (een beperkte) bodemdaling. In de berekening wordt aangenomen dat de drukdaling, tijdens de productiefase, in deze laterale aquifers de helft is van de drukdaling in het gasveld. Aan het einde van de gasproductie wordt de druk van het aquifer gelijkgesteld aan de druk van het gasveld. De aanname van volledige drukdaling in de aquifer is een conservatieve aanname, omdat in werkelijkheid de drukdaling in een watervoerend gedeelte van het reservoir later en trager op gang komt. De laterale aquifer voor het gasveld Pieterzijl Oost is als blauw vlak getoond in Figuur 7-5.

⁵ NAM (2017) Ensemble Based Subsidence application to the Ameland gas field – long term subsidence study part two (LTS-II) continued study, EP201710200509 ([link](#))

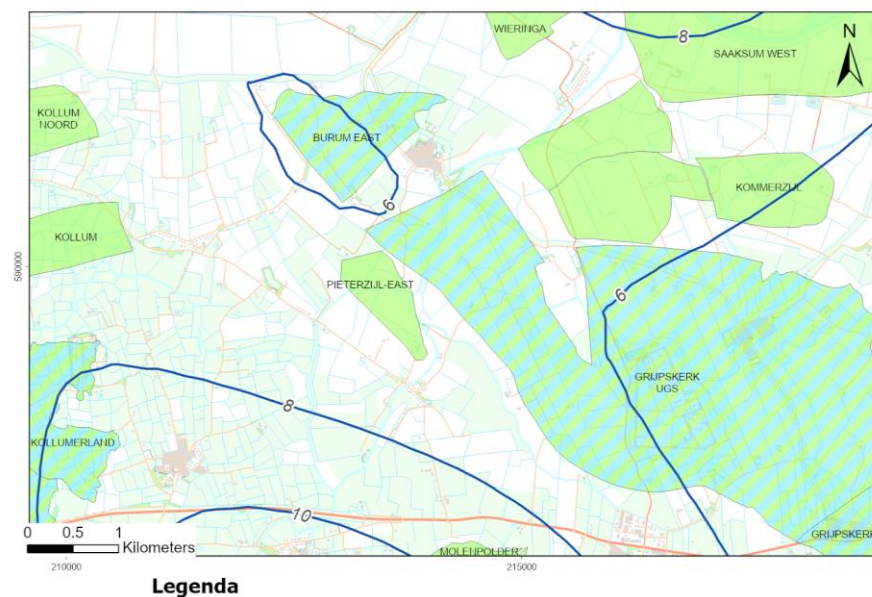


Olie- en Gasvelden

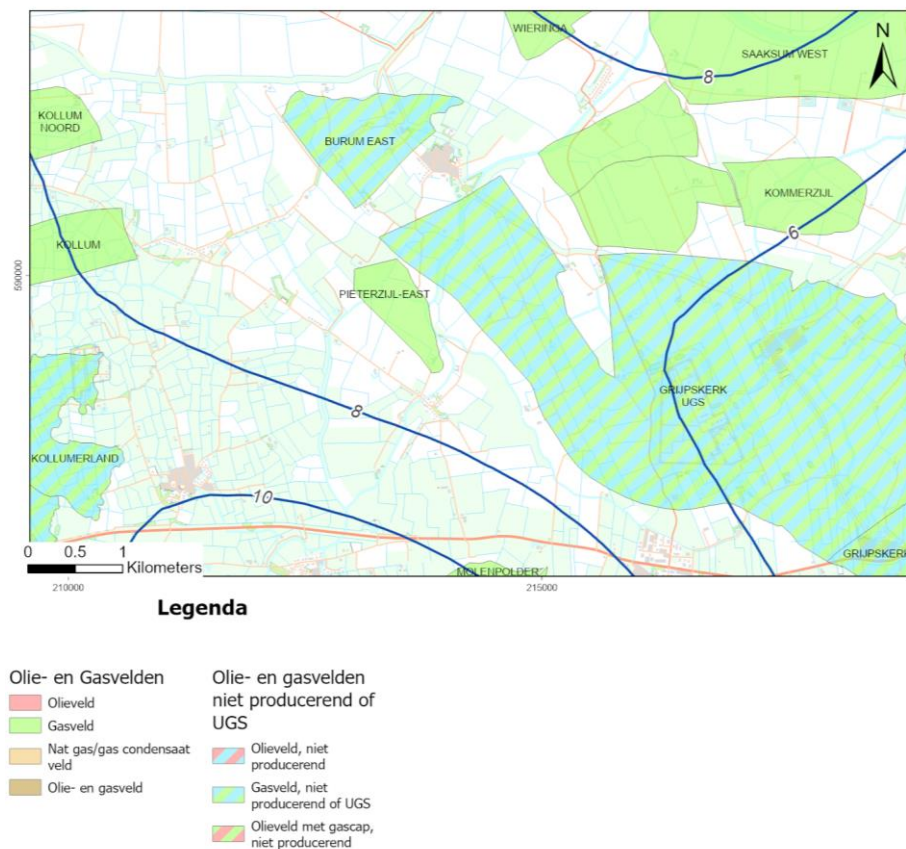
- Olieveld
- Gasveld
- Nat gas/gas condensaat veld
- Olie- en gasveld

Figuur 7-5: De bodemdaling vanaf start winning in 2006 tot en met 2080 veroorzaakt door de gasproductie uit alleen het Pieterzijl Oost gasveld. Omdat deze bodemdaling minder dan 2 cm bedraagt, zijn er geen contouren getoond. Daarnaast is in dit figuur ook de aquifer van het gasveld Pieterzijl Oost getoond, zoals gebruikt in het bodemdalingsmodel.

De uiteindelijke *totale cumulatieve* bodemdaling door gaswinning vanaf de start van de gaswinningen in het gebied voor het jaar 2035 wordt weergegeven in Figuur 7-6. Nadat de gaswinning in dit gebied gestopt is wordt er na-ijling verwacht van de bodemdaling. Daarom geeft Figuur 7-7 de bodemdaling weer, lang (in 2080) na afloop van de gasproductie. De *totale cumulatieve* bodemdaling door gaswinning uit alle velden rond en inclusief het Pieterzijl Oost voorkomen in 2080 is maximaal 8 cm boven het Pieterzijl Oost voorkomen. Deze bodemdaling wordt voornamelijk veroorzaakt door de naburig gasvelden. De bijdrage van de bodemdaling veroorzaakt door Pieterzijl Oost bedraagt in deze periode minder dan 2 cm.



Figuur 7-6: Voorspelling van de totale bodemdaling in 2035 na afloop van de gaswinning. De contourlijnen geven de bodemdaling in cm aan.



Figuur 7-7: Voorspelling van de totale bodemdaling in 2080, ruim na afloop van de gaswinning. De contourlijnen geven de bodemdaling in cm aan.

7.5 Onzekerheid in verwachte bodemdaling

De nog te verwachten bodemdaling door productie uit het gasveld Pieterzijl Oost is maximaal 2 cm. Om de onzekerheid in de toekomstige bodemdaling te berekenen is de onzekerheid in drukkaling gecombineerd met de onzekerheid in de waarden voor de geomechanische parameters in het compactiemodel. Deze analyse wordt verder beschreven in Bijlage A. Inclusief de onzekerheid blijft de maximale toekomstige bodemdaling veroorzaakt door de winning uit het gasveld Pieterzijl Oost onder de 2 cm.

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. Deze schotel veroorzaakt een zeer geringe helling van maximaal een paar centimeter over een kilometer afstand aan het maaiveld. Zoals eerder is beschreven bedraagt de nog te verwachten bodemdaling door gaswinning uit het in dit winningsplan beschreven voorkomen minder dan 2 cm.

De cumulatieve totale daling zal uiteindelijk rond de 6 à 8 cm liggen.

Omdat bodemdaling een geleidelijk en gelijkmatig proces is, wordt geen directe schade aan gebouwen / bouwwerken en 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 beschrijven boven de Norg UGS en Groningen bevestigen dit beeld⁶. Bodemdaling kan wel een effect hebben op de waterhuishouding. Mogelijke maatregelen worden hieronder beschreven. Mogelijke effecten op natuur en milieu door bodemdaling worden beschreven in hoofdstuk 9.

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

De nog te verwachten bodemdaling door de toekomstige gaswinning als beschreven in dit winningsplan is maximaal 2 cm. Dit is een zeer beperkte bodemdaling en daarom worden geen maatregelen voorzien om bodemdaling door gaswinning uit Pieterzijl Oost te voorkomen dan wel te beperken. De cumulatieve totale bodemdaling door gaswinning in dit gebied zal meer zijn. Indien er aanwijzingen zijn dat de bodemdaling een negatief effect heeft op de waterhuishouding zullen de bevoegde waterschappen in contact treden met de commissies bodemdaling in Friesland en Groningen.

De toekomstige bodemdaling zal volgens het meetplan Noord-Nederland worden gemonitord.

⁶ Rapport diepe bodemdaling en stijging gepubliceerd (schadedoormijnbouw.nl) ([link](#))

8 BODEMTRILLING

De seismische risicoanalyse laat zien dat het Pieterzijl Oost voorkomen in categorie I valt. Dit is de laagste risicocategorie. In dit hoofdstuk 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 het gasveld treden in het reservoirgesteente spanningsveranderingen op. Spanningsverandering op een ondergrondse breuk kunnen leiden tot geïnduceerde bewegingen van het gesteente langs deze breuk. Wanneer deze beweging schoksgewijs plaatsvindt kan dit gevoeld worden als 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 in het Pieterzijl Oost gasveld

Boven het Pieterzijl Oost voorkomen zijn tot nu toe geen bevingen geregistreerd.

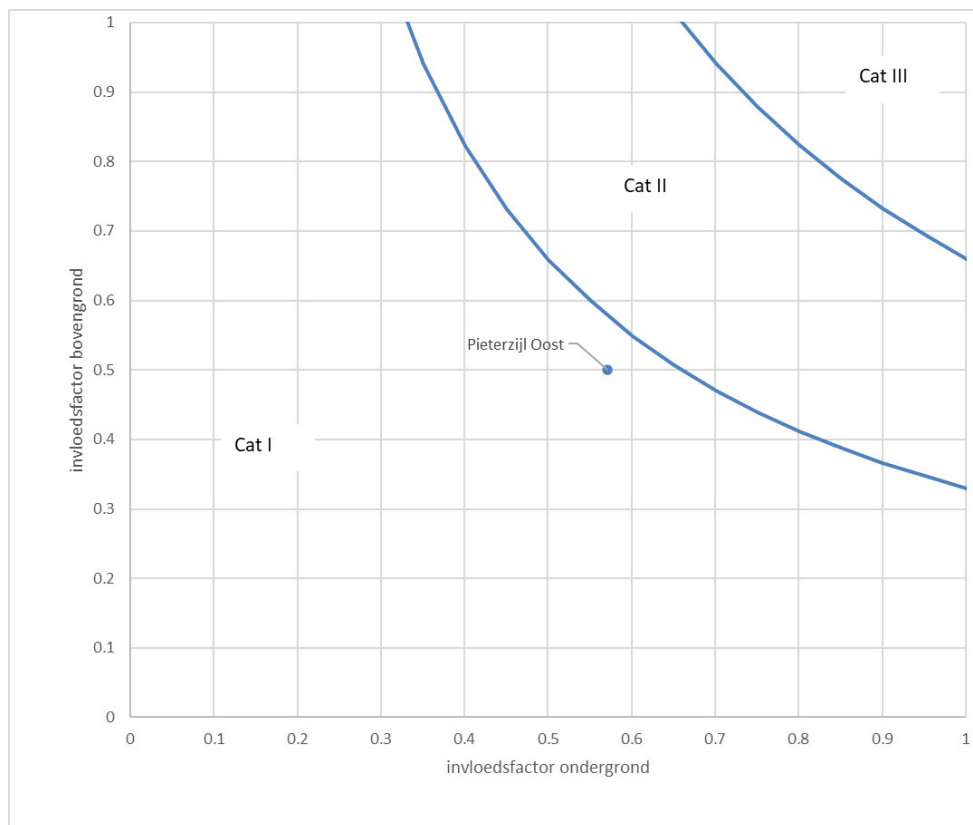
8.3 Algemeen kader voor Seismische Risico Analyse

In 2016 heeft SodM een tijdelijke richtlijn voor Seismische Risico Analyse (SRA) gepubliceerd⁷. De SRA gaat uit van het stappenschema zoals getoond in Figuur 12-2. Bij het schema zijn twee parameters belangrijk:

- de kans op een beving ($M \geq 1$) door gaswinning;
- 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. Het Pieterzijl Oost voorkomen valt in risicocategorie I. De positie van dit veld in de risicomatrix wordt getoond in Figuur 8-1. Vergeleken met het vigerend winninsplan uit 2016 blijft het gasveld Pieterzijl Oost in dezelfde risicocategorie.

⁷ Methodiek voor risicoanalyse omtrent geïnduceerde bevingen door gaswinning tijdelijke leidraad voor adressering mbb. 24.1.p, versie 1.2, SodM, 1 februari 2016



Figuur 8-1: Seismisch risico gepresenteerd in de seismische risicomatrix.

met olie- en gasproductie in Nederland over de afgelopen jaren leert dat lichte aardbevingen ten gevolge van olie- en 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.

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.

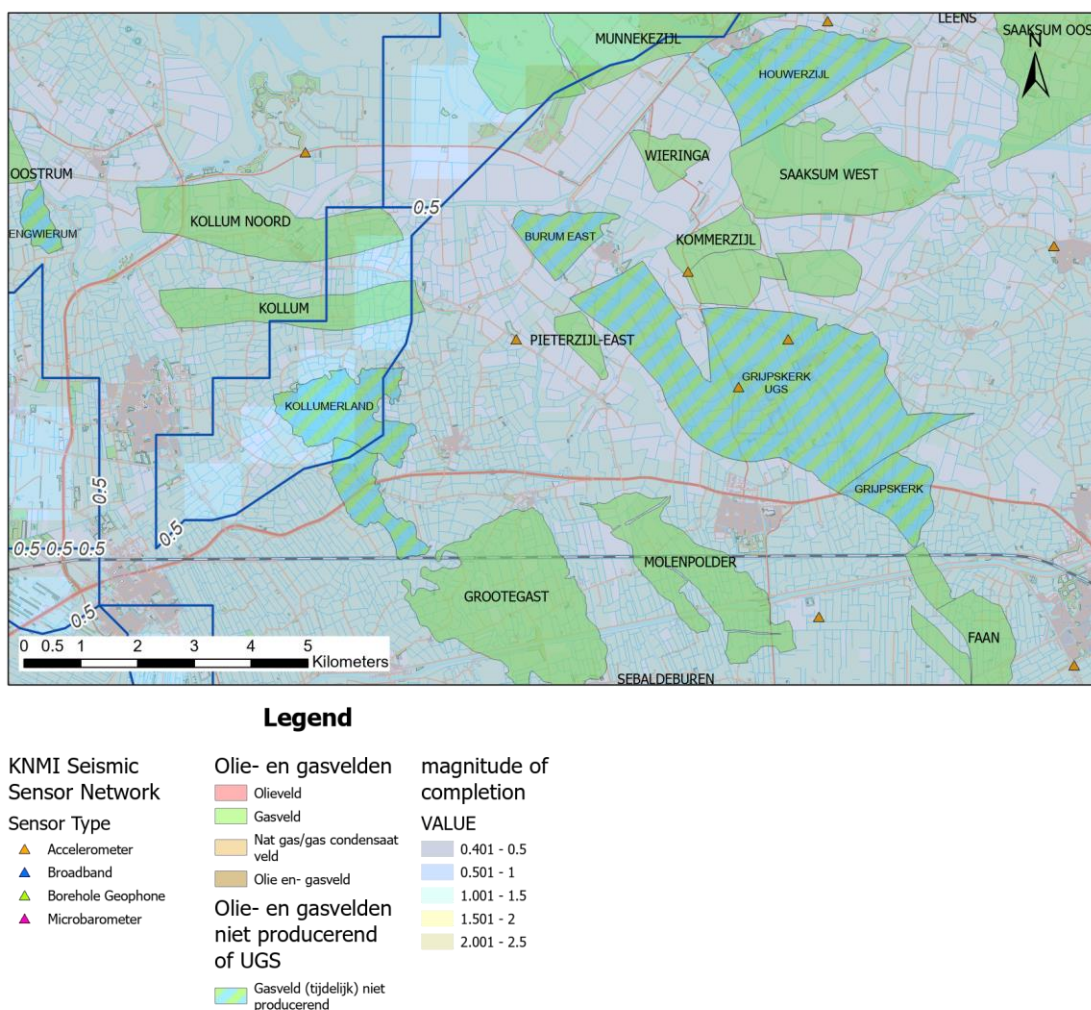
De omvang van het gebied waar mogelijk schade kan optreden wordt bepaald door de magnitude, de diepte en de duur van de beving, de lokale grondsamenstelling en de aard en conditie van de bebouwing. Bij een beving die krachtig genoeg is om schade te veroorzaken is het aantal potentiële schadegevallen 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 TNO⁸. Meer duidelijkheid over de mogelijke gevolgen van een beving wordt gegeven in het seismisch risicobeheersplan voor kleine velden dat te vinden is op de NAM-website⁹. Hoofdstuk **Error! Reference source not found.** beschrijft de mogelijke effecten van bodemtrillingen op de natuur of het milieu.

⁸ Kalibratiestudie schade door aardbevingen (TNO-rapport, TNO-034-DTM-2009-04435, 11 november 2009) ([link](#)).

⁹ NAM (2017) Seismisch risico voor "kleine velden" ([link](#))

8.4 Monitoring van bodemtrillingen

Seismische monitoringstations (versnellingsmeters en boorgatstations) zijn geïnstalleerd boven en in de nabijheid van gasvelden en staan met een online-verbinding in contact met het KNMI. Een boorgatstation bestaat uit een aantal geofoons die op verschillende dieptes *onder het aardoppervlak* worden aangebracht. Geregistreerde aardbevingen worden automatisch vermeld op de website van KNMI. Na interpretatie van de gegevens door de specialisten van het KNMI kan een kleine aanpassing van de sterkte en/of locatie plaatsvinden. De locatiedrempel is een maat voor de gevoeligheid van het netwerk. Deze drempel geeft de laagste aardbevingsmagnitude waarbij de locatie van de beving nog bepaald kan worden, de beving is dan door ten minste 3 monitoringstations waargenomen. Boven het gasveld ligt de locatiedrempel tenminste rond magnitude 0,5 (Figuur 8-2). Tevens zijn er in de nabijheid van het veld een aantal versnellingsmeters geplaatst. Hiermee voldoet het Pieterzijl Oost voorkomen aan de monitoringseisen die gesteld worden voor een risicocategorie II veld.



Figuur 8-2: Overzicht van de locatiedrempel in Nederland (status oktober 2021)¹⁰. De driehoeken geven de locaties aan van de boorgatstations en de sterren van de versnellingsmeters. De omgekeerde driehoeken tonen de breedbandstations.

¹⁰ [KNMI - Seismische meetstations](#)

8.5 Afhandeling van schade

Bij het vermoeden van mijnbouwschade door gaswinning uit kleine velden kunnen particulieren en micro-ondernemers zich vanaf 1 juli 2020 melden bij de Commissie Mijnbouwschade. De Commissie Mijnbouwschade helpt de juiste route te volgen bij het melden van deze mogelijke schades. De Commissie Mijnbouwschade is benoemd door de Minister van Economische Zaken en Klimaat en werkt volgens het instellingsbesluit en het schadeprotocol. Hierin staat dat de commissieleden volledig onafhankelijk zijn en beoordelen op basis van hun deskundigheid.

De website van de Commissie Mijnbouwschade (www.commissiemijnbouwschade.nl) geeft verdere informatie. Het uitgangspunt van de Commissie Mijnbouwschade bij het behandelen van een schademelding is dat dit laagdrempelig, transparant en snel is. Om de schadeafhandeling eenvoudig te maken, nemen ze in de praktijk de bewijslast van de schademelder over. De Commissie Mijnbouwschade doet onderzoek en geeft onafhankelijk en deskundig advies. De mijnbouwonderneming zal dit advies volgen en de toegekende schade door mijnbouwactiviteiten vergoeden.

8.6 Seismisch risicobeheersplan

Het seismisch risicobeheersplan voor kleine velden, is van toepassing op het gasveld Pieterzijl Oost. Dit risicobeheersplan is te vinden op de NAM-website¹¹. Hierin wordt uitgelegd welke acties er worden genomen wanneer bevingen worden geobserveerd. Hierbij wordt gebruik gemaakt van een “verkeerslichtsysteem”. De meest concrete actie die genoemd wordt is dat het veld wordt ingesloten op het moment er een beving plaatsvindt met een magnitude die groter is dan $M=3$. In dit beheersplan is ook meer informatie te vinden over de mogelijke schade door aardbevingen.

¹¹ NAM (2017) Seismisch risico voor “kleine velden” ([link](#))

9 OVERIGE OMGEVINGSASPECTEN

9.1 Algemeen

Voor natuur geldt een zorgplicht vanuit de Wet natuurbescherming. Beschermde en aangewezen natuurwaarden mogen niet nadelig worden beïnvloed.

In deze paragraaf wordt een overzicht gegeven van de beschermde natuurgebieden in de omgeving van het Pieterzijl Oost voorkomen. Verder wordt de reikwijdte van de beoordeling van effecten op (beschermde) natuurwaarden voor de beschreven mijnbouwactiviteiten nader toegelicht.

Beschermde natuurgebieden

Het ten opzichte van het Pieterzijl Oost voorkomen dichtstbijgelegen Natura-2000 gebied is Lauwersmeer (een zeer belangrijk broedgebied voor broedvogels bestaande uit rietmoerassen en rietruigtes). Dit gebied ligt op ongeveer 3 kilometer afstand van het Pieterzijl Oost gasvoorkomen (zie Figuur 3-1 in hoofdstuk 3).

Reikwijdte van de effectbeoordeling

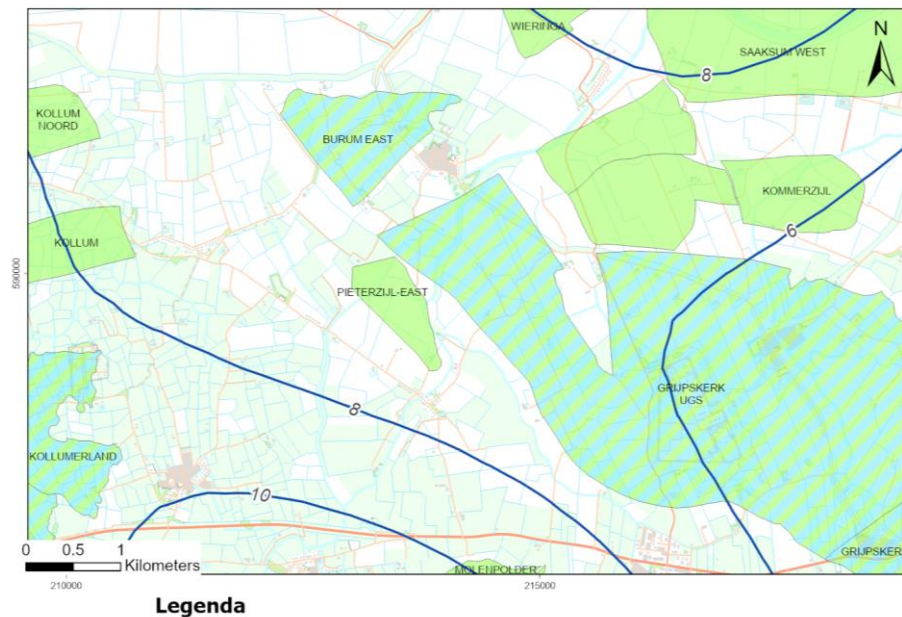
In deze effectbeoordeling wordt gekeken naar mogelijke negatieve effecten op (beschermde) natuurwaarden als gevolg van bodemdaling vanwege gasproductie uit het Pieterzijl Oost voorkomen.

Mogelijke negatieve effecten op (beschermde) natuurwaarden als gevolg van bodemtrillingen worden niet verwacht. Het Pieterzijl Oost voorkomen valt op basis van de uitgevoerde Seismische Risico Analyse in de laagste risicocategorie, namelijk risicocategorie I (zie hoofdstuk 8). De kans op nadelige meetbare effecten van bodemtrilling op de Natura 2000-gebieden worden, gezien de aard van de trillingen, als verwaarloosbaar geacht.

9.2 Effecten op natuur en milieu vanwege bodemdaling

Als gevolg van het winnen van gas uit de ondergrond kan bodemdaling optreden. De voorspelde toekomstige bodemdaling zoals die zal optreden door de gaswinning uit het Pieterzijl Oost voorkomen bedraagt minder dan 2 cm (zie Figuur 7-5 in hoofdstuk 7).

In de praktijk treedt de bodemdaling door de gaswinning uit het Pieterzijl Oost voorkomen samen op met de bodemdaling door gaswinning uit de omliggende gasvelden. De totale cumulatieve bodemdaling door gaswinning uit alle velden rond en inclusief het Pieterzijl Oost voorkomen in 2080 is maximaal 8 cm boven het Pieterzijl Oost voorkomen. Deze bodemdaling wordt voornamelijk veroorzaakt door de naburige gasvelden. De bijdrage van de bodemdaling veroorzaakt door gaswinning uit het Pieterzijl Oost voorkomen bedraagt in deze periode minder dan 2 cm (zie Figuur 9-1).



Olie- en Gasvelden	Olie- en gasvelden niet producerend of UGS
 Olieveld	 Olieveld, niet producerend
 Gasveld	 Gasveld, niet producerend of UGS
 Nat gas/gas condensaat veld	 Olieveld met gascap, niet producerend
 Olie- en gasveld	

Figuur 9-1: Voorspelling van de totale bodemdaling in 2080, ruim na afloop van de gaswinning. De contourlijnen geven de bodemdaling in cm aan.

Conclusie

De zeer geringe bodemdaling door de gaswinning uit het Pieterzijl Oost voorkomen zal -mede gelet op het feit dat het Natura 2000 gebied 'Lauwersmeer' op meerdere kilometers afstand van het gasvoorkomen ligt- niet van wezenlijk invloed zijn. Deze zeer geringe bodemdaling leidt zodoende in geen geval tot significante aantasting van de wezenlijke kenmerken en waarden, of tot een significante vermindering van de oppervlakte van het NNN-gebied of van de samenhang tussen de gebieden. Daarnaast zal er vanwege deze zeer geringe bodemdaling geen sprake zijn van verstoring, verlies of beschadiging van leefgebied van beschermde soorten.

Bodem- / grondwaterverontreiniging

NAM bouwt, onderhoudt en beheert installaties zo dat het risico op bodem-/grondwaterverontreiniging verwaarloosbaar klein is. Het Activiteitenbesluit en de omgevingsvergunning bevatten regels hieromtrent die door NAM worden nageleefd. Staatstoezicht op de Mijnen (SodM) ziet bovendien toe op naleving. Indien toch door een incident bodem-/grondwaterverontreiniging ontstaat, zal NAM deze verontreiniging saneren in het kader van de zorgplicht. SodM is hiervoor het bevoegd gezag. NAM en de toezichthouders hanteren een strikt controlebeleid waardoor de kans op bodemverontreiniging zeer gering is. Gevaar voor de volksgezondheid door het optreden van incidenten is niet te verwachten.

10 VERKLARENDE WOORDENLIJST

Aquifer	Ondergronds, watervoerend deel van het reservoir. Dat kan naast en/of onder het gasvoerende deel gelegen zijn.
Cm	Uni-axiale compactie-coëfficiënt; mate van samendrukbaarheid van het gesteente
Compactie	Het samendrukken van het reservoirgesteente wanneer 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 ³)
GPS	Global Positioning System: systeem voor plaats- en hoogtebepaling met behulp van satellieten
GWC	Gas-water contact diepte (verticaal in meter onder NAP)
FWL	Diepte waarop water de dominante vloeistof is (verticaal in meter onder NAP)
Kern	Gesteente 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 ³	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
sm ³	Olievolume in kubieke meter bij 15 °C en 1,01325 bara
SRA	Seismische Risico Analyse
TCBB	Technische Commissie Bodembeweging
TNO	Nederlandse Organisatie voor Toegepast-Natuurwetenschappelijk Onderzoek

11 BIJLAGE A: BODEMDALING: DETAILS EN ACHTERGRONDEN

Onzekerheidsanalyse voor de bodemdalingsprognose

Om een inschatting te maken van de onzekerheid over de toekomstige bodemdaling voor het Pieterzijl Oost voorkomen is de onzekerheid in de C_m (compressibiliteit) gecombineerd met de verschillende depletiewaarden (DP) die volgen uit de scenario's voor de productievoorspellingen. Het compactiemodel dat in dit winningsplan wordt gebruikt is het *Rate Type Compaction Model* (RTiCM), waarbij de i staat voor isotachen, van TNO¹². Dit model is geïntroduceerd in de long term subsidence studie voor het Ameland veld, welke is goedgekeurd door SodM. Tevens wordt dit model ook door NAM toegepast in het Statusrapport 2020¹³ voor alle gasvelden in Noord-Nederland, waaronder Pieterzijl Oost.

Boven het Ameland veld, maar ook boven andere velden wordt waargenomen dat de bodemdaling langzaam begint maar ook na-ijlt wanneer de productie stopt. Dit tijdseffect kan goed met het RTiCM model beschreven worden. Hieronder wordt meer uitleg wordt gegeven over de drie belangrijkste parameters van dit model. In het begin van de winning, wanneer de compactie achterblijft bij de drukdaling en de bodemdaling langzaam verloopt, wordt de compactie beschreven door de lage C_m factor (C_{md}). Na verloop van tijd, waarbij die tijd bepaald wordt door de B factor, verloopt de daling sneller en volgt de hogere C_m factor (C_{mref}). Deze overgang gaat echter geleidelijk. Na het einde van de productie kan de bodemdaling nog jaren doorgaan, wederom afhankelijk van diezelfde B factor.

De waarden die gebruikt zijn in de bepaling van de toekomstige bodemdaling en de onder- en bovengrens van deze daling worden in

¹² Pruiksmá, 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.

¹³ NAM (2020) Bodemdaling door Aardgaswinning, NAM-gasvelden in Groningen, Friesland en het noorden van Drenthe. EP202011201629 ([link](#))

Tabel 11-1, Tabel 11-2 en Tabel 11-3 weergegeven. De bijbehorende drukprofielen zijn getoond in Bijlage D.

De op deze manier berekende bodemdalingonzekerheid is getabuleerd in onderstaande tabel. De onzekerheid in de compressibiliteit is met het RTCiM model berekend door C_{mref} en C_{md} met 25% te verhogen. De B factor is in deze berekening niet veranderd omdat de B factor alleen het tijdseffect verandert.

Hieruit volgt dat de bovengrens voor de toekomstige bodemdaling ongeveer 2 cm is.

Tabel 11-1: Onzekerheid van de bodemdalingsprognose in het diepste punt voor de verschillende productiescenario's.

	TE VERWACHTEN DRUKDALING [BAR]			COMPRESSIBILITEIT						
Voorkomen	Laag productie scenario [bar]	Midden productie scenario [bar]	Hoog productie scenario [bar]	Cmref (10 ⁻⁵ bar ⁻¹)	Cmd (10 ⁻⁵ bar ⁻¹)	B [-]	Onzekerheid compressibiliteit	Ondergrens voor de nog te verwachten bodemdaling in diepste punt (cm).	Nog te verwachten bodemdaling in diepste punt (cm)	Bovengrens voor de nog te verwachten bodemdaling in diepste punt (cm)
Pieterzijl Oost	29	56	117	0,73	0,26	0,018	25%	<2	<2	<2

Tabel 11-2: Overzicht van input parameters gebruikt voor bodemdalingsprognose.

Voorkomen	Diepte veld [m]	Gemiddelde depleterende dikte [m]	Initiële druk [bar]	Huidige druk [bar]	Eind druk mid case productie scenario [bar]	Rigid basement [m]	Poissons ratio [-]
Pieterzijl Oost	3325	109	400	240	184	5000	0,2 ¹⁴

Tabel 11-3: Algemene RTCiM parameters

Parameter	Waarde
Reference Stress Rate	3,16 10 ⁻⁴ bar/jaar
Dichtheid gesteente bovenliggende lagen	2200 kg/m ³
Effectieve Reference Stress* op 2575 m	318 bar

*Effectieve Reference Stress= (Dichtheid*9,81*Diepte veld [m])/100000 – Initiële druk [bar]

¹⁴ Poisson's ratio gebaseerd op gemiddelde waarde voor gecementeerde zandsteen op basis van kernplug metingen

12 BIJLAGE B: SEISMISCH RISICO: DETAILS EN ACHTERGRONDEN

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 door NAM uit ongeveer 80 olie- en gasvelden op het vasteland geproduceerd. Boven vijf velden zijn bevingen geregistreerd die ook duidelijk aan het oppervlak voelbaar waren (magnitude meer dan 2,0 op de schaal van Richter).

In 2016 heeft SodM een tijdelijke richtlijn voor Seismische Risico Analyse (SRA) gepubliceerd¹⁵. De SRA gaat uit van het stappenschema zoals getoond in Figuur 12-2. Bij het schema zijn twee parameters belangrijk:

- de kans op een beving ($M \geq 1$) door gaswinning;
- 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.

Theoretisch kader seismische risicoanalyse volgens de leidraad

1. Stap 1:

In de eerste stap 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 ($M_{max} < 2,5$);

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

2. Stap 2:

In deze stap worden alle producerende voorkomens bekeken die:

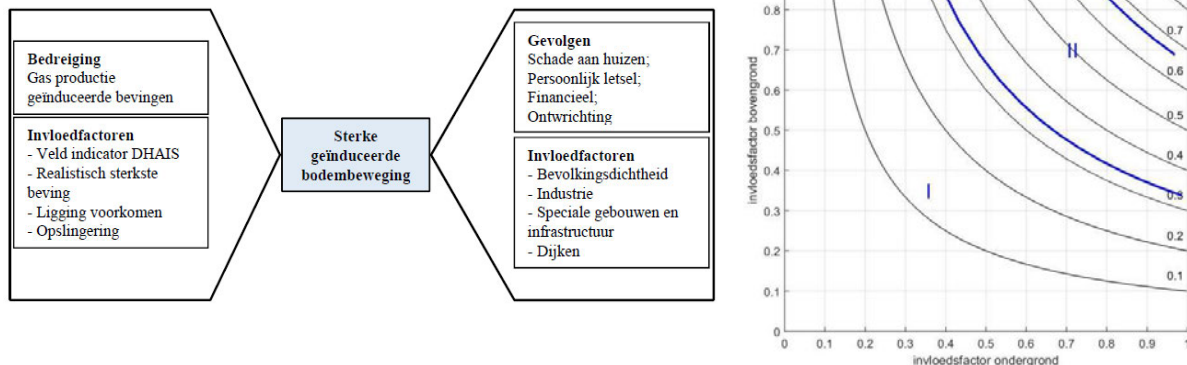
- seismisch actief zijn geweest;
- óf een niet-verwaarloosbare kans op seismiciteit hebben en waarvoor de waarde voor M_{max} $\geq 2,5$ is.

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 in Nederland bekende voorkomens valt alleen het Groningen-gasveld in deze categorie.

In stap 2 wordt op basis van een risicomatrix het risico van geïnduceerde aardbevingen verder gekwalificeerd. Figuur 12-1 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').

¹⁵ Methodiek voor risicoanalyse omtrent geïnduceerde bevingen door gaswinning tijdelijke leidraad voor adressering mbb. 24.1.p, versie 1.2, SodM, 1 februari 2016



Figuur 12-1: Links: Schematische weergave van de bedreigingen en gevolgen van geïnduceerde bevingen en de verschillende invloedfactoren die daarbij een rol spelen (SodM, 2016). Rechts: 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).

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 12-1, rechts).

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 beving¹⁶ gedurende de productietijd van het veld en 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 aardbeving 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.

¹⁶ De magnitude van een mogelijke beving ligt tussen de 1,5 en de magnitude voor de realistische sterkste beving, waarbij de kans logaritmisch afneemt met de magnitude.

- *Opslingering*

De ondiepe ondergrond kan een opslinging 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).

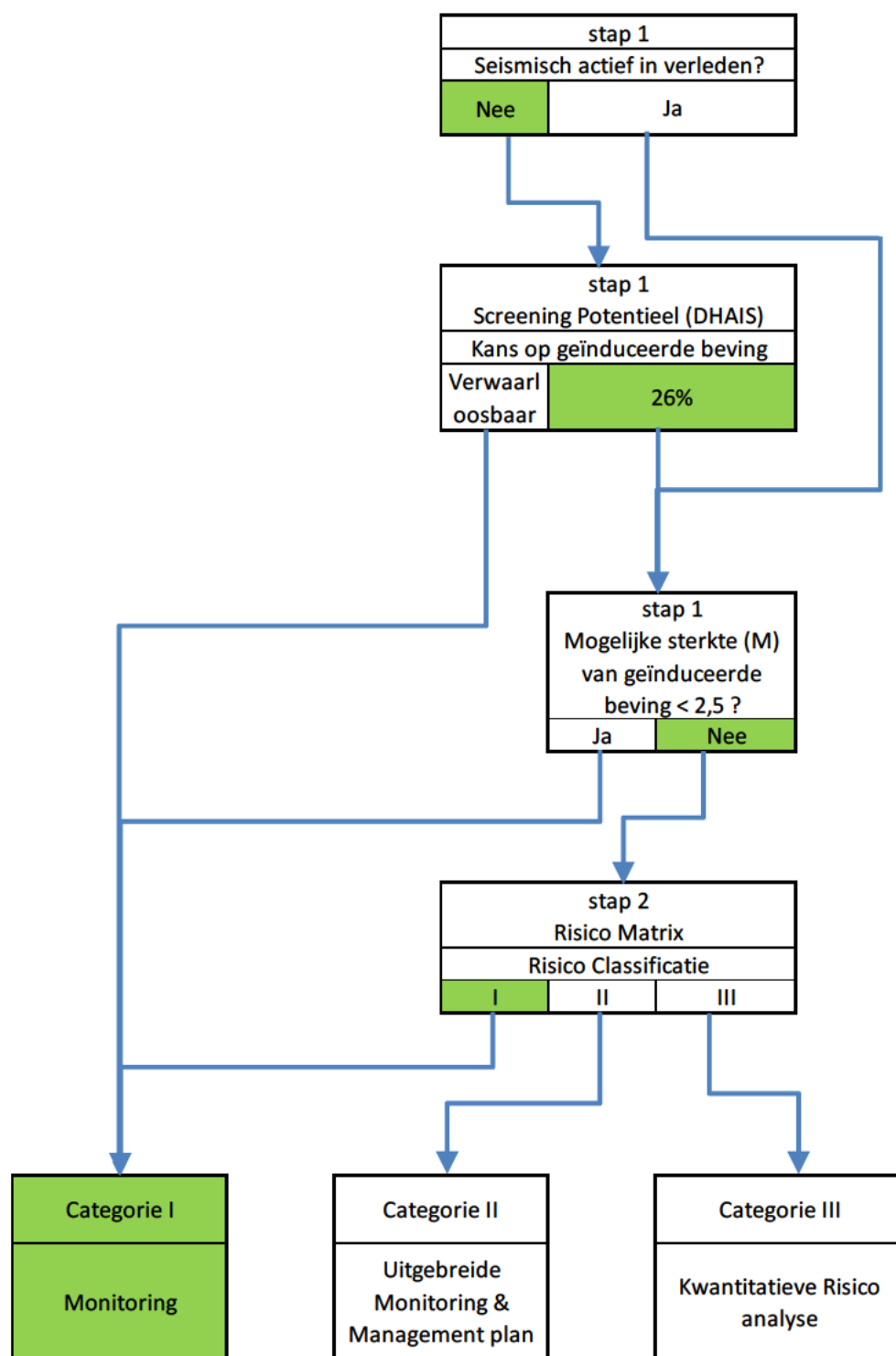
Het mogelijke gevolg van een beving volgt uit een analyse en score van de invloedfactoren bovengrond: bevolkingsdichtheid, industrie, speciale gebouwen, vitale infrastructuur en de aanwezigheid van dijken.

- 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>)

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

12.1 Seismische Risico Analyse voor het Pieterzijl Oost voorkomen

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 12-2 staat voor de Pieterzijl Oost de uitkomst in groen voor de verschillende stappen. Details van de berekening worden verder besproken in deze bijlage.



Figuur 12-2: De verschillende stappen die doorlopen zijn voor Pieterzijl Oost 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 het "high-case productiescenario" uit Tabel 12-1.

De kans op beven van een olie- of gasvoorkomen

In de studie 'Deterministische Hazard Analyse voor Geïnduceerde Seismiciteit (DHAIS)¹⁷ is onderzocht welke eigenschappen (geologische, productietechnische en geomechanische eigenschappen) van olie- en gasvoorkomens invloed hebben op het wel of niet optreden van aardbevingen. In 2022 is deze studie geactualiseerd met de data tot en met 1 maart 2021¹⁸. Deze actualisatie van de DHAIS-studie heeft ook invloed op de score van de kans op beven in de SodM leidraad. TNO heeft hiervoor een advies uitgebracht¹⁹ welke gevolgd is in dit winningsplan.

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

- DP/P_{ini}: De ratio van drukval (DP) en initiële druk (P_{ini}) in het reservoir;
- E: de verhouding tussen de Young's moduli (stijfheidsmoduli) afsluitende laag ("seal") en het reservoirgesteente;

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

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

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

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 olie/gaskolom van het voorkomen in meters;

A = De oppervlakte van het voorkomen gemeten binnen de OWC/GWC-dieptecontour (in vierkante meters).

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

Reeds bevende voorkomens	
DP/P _{ini} ≥ 20%	B ≥ 0,84 en E ≥ 1,07: Kans op beven
	B < 0,84 en/of E < 1,07: Verwaarloosbare kans
DP/P _{ini} < 20%	Verwaarloosbare kans

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

¹⁷ TNO-rapport NITG 04-171-C. Van Eijs, 2004. Deterministische hazard analyse voor geïnduceerde seismiciteit.

¹⁸ TNO-rapport 2021 R10977, Roholl et al. Deterministische hazard analyse voor geïnduceerde seismiciteit (DHAIS), actualisatie 2021

¹⁹ Advies TNO DHAIS update 2021 en invloed op de leidraad SRA ([link](#))

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

Voorkomen	Reservoir dikte / gaskolom (m) ²⁰	Initiële druk (bar)	Totale drukdaling volgens productie-scenario hoog	Totale breuk-lengte (km)	Reservoir oppervlakte (km ²)	Maximale waargenomen aardbeving	Aantal aard- bevingen per jaar	DHAIS E ²¹	DHAIS B	DHAIS kans
Pieterzijl Oost	109	400	277	2,2	0,5	geen	geen	1,23	1,97	26%

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.

De breukdichtheid is bepaald volgens de Top Slochteren kaart zoals getoond in Bijlage C.

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 B-1.

Tabel B-1: Invoergegevens voor de bepaling van de Mmax, en de Mmax waarden volgens de twee methodes.

Langste breuklengte (km) ²²	Poisson's ratio ²³	Breukhoogte (m)	Mmax energiebalans	Mmax breukslip
1,2	0,2	109	2,3	3,2

Stap 2: Risico matrix

Voor het Pieterzijl Oost voorkomen 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 risicomatrix. In dit deel van de bijlage worden de figuren en tabellen getoond die gebruikt zijn om tot een risicobeoordeling te komen.

- Figuur B-1, Figuur B-2 en Figuur B-3 tonen de situaties voor respectievelijk "Bevolkingsdichtheid", "Industriële inrichtingen", "Speciale gebouwen en vitale infrastructuur" en "Dijken".
- Figuur B-4 toont de kaart van de grondsoorten in de ondiepe ondergrond kaart om de mate van opslingering te bepalen.

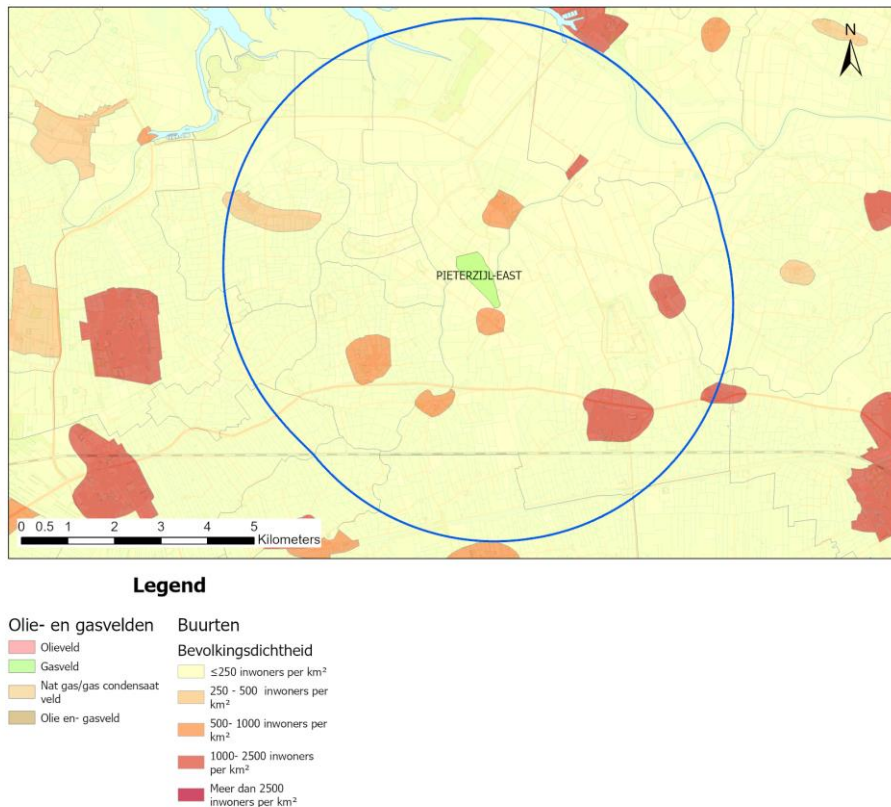
²⁰ Voor de DHAIS-berekening wordt zowel de hoogte van de gaskolom als de totale reservoirdikte beschouwd. Het minimum van deze twee wordt gekozen voor de berekening van de "B" waarde zoals voorgeschreven door de DHAIS-methodiek.

²¹ Young's moduli ratio volgens TNO rapport: Deterministische hazard analyse voor geïnduceerde seismiciteit (DHAIS), actualisatie 2021. TNO-rapport 2021 R10977

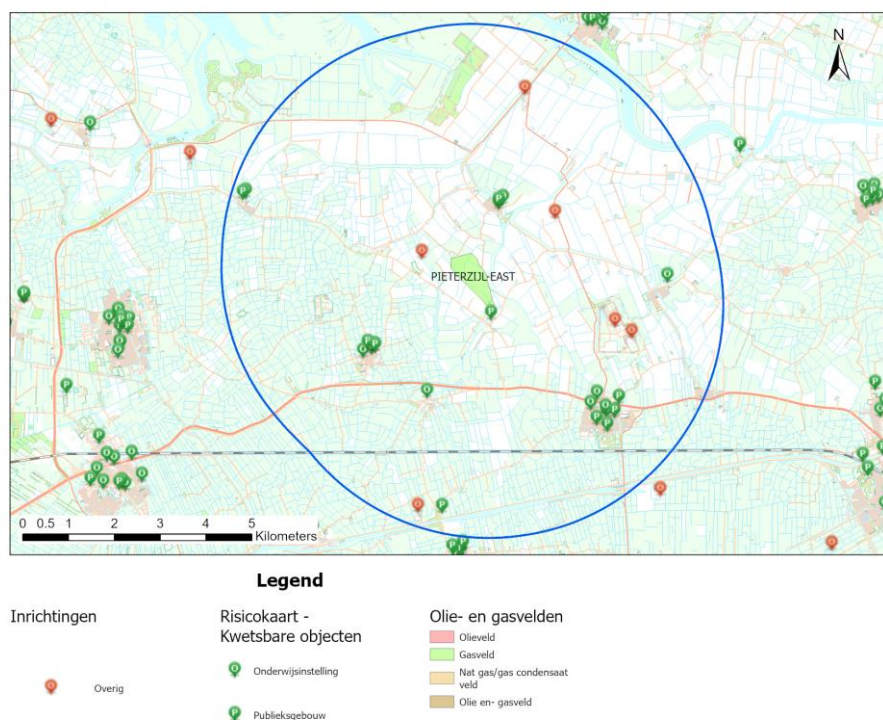
²² Langste breuklengte is aangegeven op de kaart in bijlage C met blauwe pijl

²³ Poisson's ratio gebaseerd op gemiddelde waarde voor gecementeerde zandsteen op basis van kernplug metingen

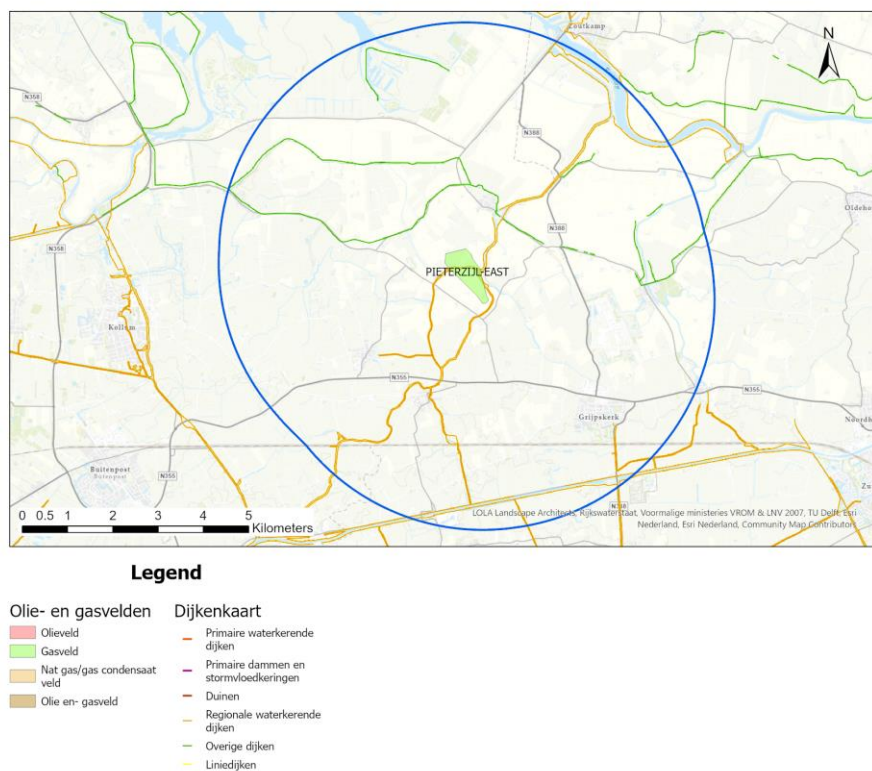
Voor de bevolkingsdichtheid is gekeken naar de gemiddelde dichtheid per buurt en per gemeente. De leidraad biedt de mogelijkheid om op beide manieren de gemiddelde dichtheid te bepalen binnen de bufferzone rondom het veld. Vanwege het verschil in oppervlakte tussen de wijken en de gemeentes zal het berekende gemiddelde binnen de buffer verschillend zijn. Bij de bepaling voor de score voor de bevolkingsdichtheid wordt uitgegaan van de maximumwaarde van de twee berekeningen. Beide berekeningen laten een waarde zien die kleiner is dan 250 inwoners per km². Aangenomen is dat er binnen de buffer geen hoogbouw aanwezig zijn.



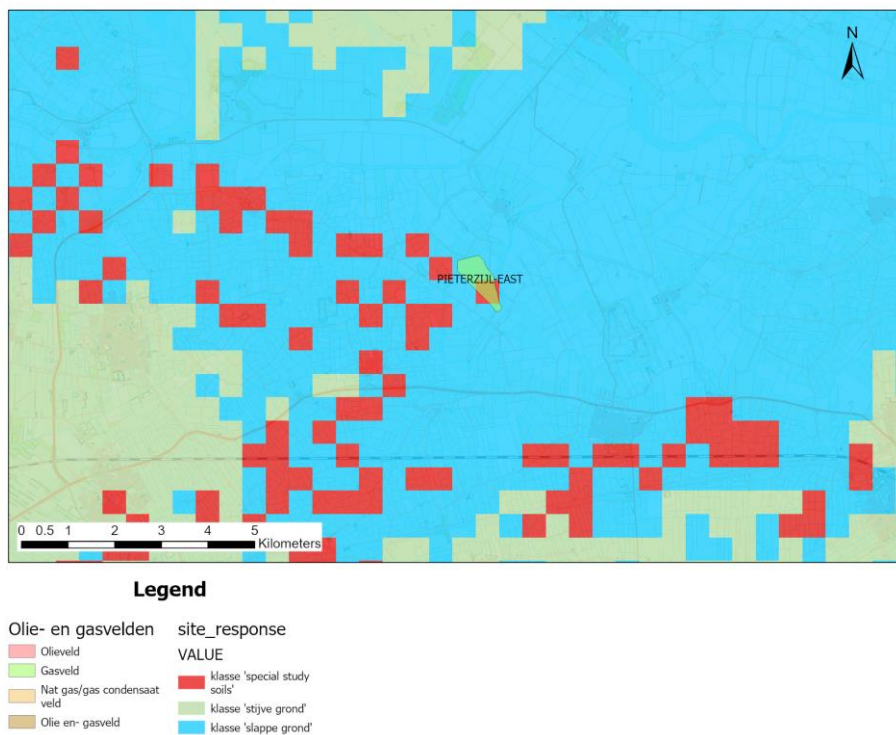
Figuur B-1: Overzicht van de bevolkingsdichtheid boven het Pieterzijl Oost veld. De blauwe omtrek geeft de 5 km straal rond het Pieterzijl -Oost veld die relevant is voor de SRA.



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



Figuur B-3: Overzicht van de dijken. De blauwe omtrek geeft de 5 km straal rond het Pieterzijl -Oost veld aan die relevant is voor de SRA.



Figuur B-4: Overzicht van de grondsoorten in de ondiepe ondergrond om de mate van opslingering te bepalen

Uit de analyse op basis van bovenstaande figuren volgen de scores voor de verschillende factoren. Deze zijn weergegeven in Tabel B-2, inclusief onderbouwing en uitkomst.

Tabel B-2: Kwantitatieve evaluaties en daaruit voortkomende scores (C) voor de invloedsfactoren ondergrond (A) en bovengrond (B).

A: invloedsfactoren ondergrond

Score	DHAIS	M	Ligging voorkomen	Opslingering
5		Alle methodes > 4,5		
4	Bevend veld > 5 bevingen per jaar van $M \geq 1,5$	1 methode > 4,5 én/of alle methodes 4,1 – 4,5		
3	Bevend veld < 5 bevingen per jaar van $M \geq 1,5$	1 methode 4,1 – 4,5 én/of alle methodes 3,6 – 4,0		>60% slappe grond ($V_{s,30} \leq 200\text{m/s}$) en/of >30% grondsoort die extra gevoelig zijn voor amplificatie, zoals veenlagen dikker dan 3m en slappe veenlagen met een dikte van 1m-3m gelegen op een stijve ondergrond.
2	$P=26\%$ of Bevend veld $M < 1,5$	1 methode 3,6 – 4,0 én/of alle methodes 3,1 – 3,5	Boven de lijn Amsterdam-Arnhem	30-60% slappe grond ($V_{s,30} \leq 200\text{m/s}$) en/of 15-30% grondsoort die extra gevoelig zijn voor amplificatie, zoals veenlagen dikker dan 3m en slappe veenlagen met een dikte van 1m-3m gelegen op een stijve ondergrond.
1		1 methode 3,1 – 3,5 én/of alle methodes 2,6 – 3,0		10-30% slappe grond ($V_{s,30} \leq 200\text{m/s}$) en/of 5-15% grondsoort die extra gevoelig zijn voor amplificatie, zoals veenlagen dikker dan 3m en slappe veenlagen met een dikte van 1m-3m gelegen op een stijve ondergrond.
0	$P=\text{Verwaarloosbaar}$	1 methode 2,6 – 3,0 én/of alle methodes $\leq 2,5$	Onder de lijn Amsterdam-Arnhem	<10 % slappe grond ($V_{s,30} \leq 200\text{m/s}$) en/of < 5% grondsoort die extra gevoelig zijn voor amplificatie, zoals veenlagen dikker dan 3m en slappe veenlagen met een dikte van 1m-3m gelegen op een stijve ondergrond.

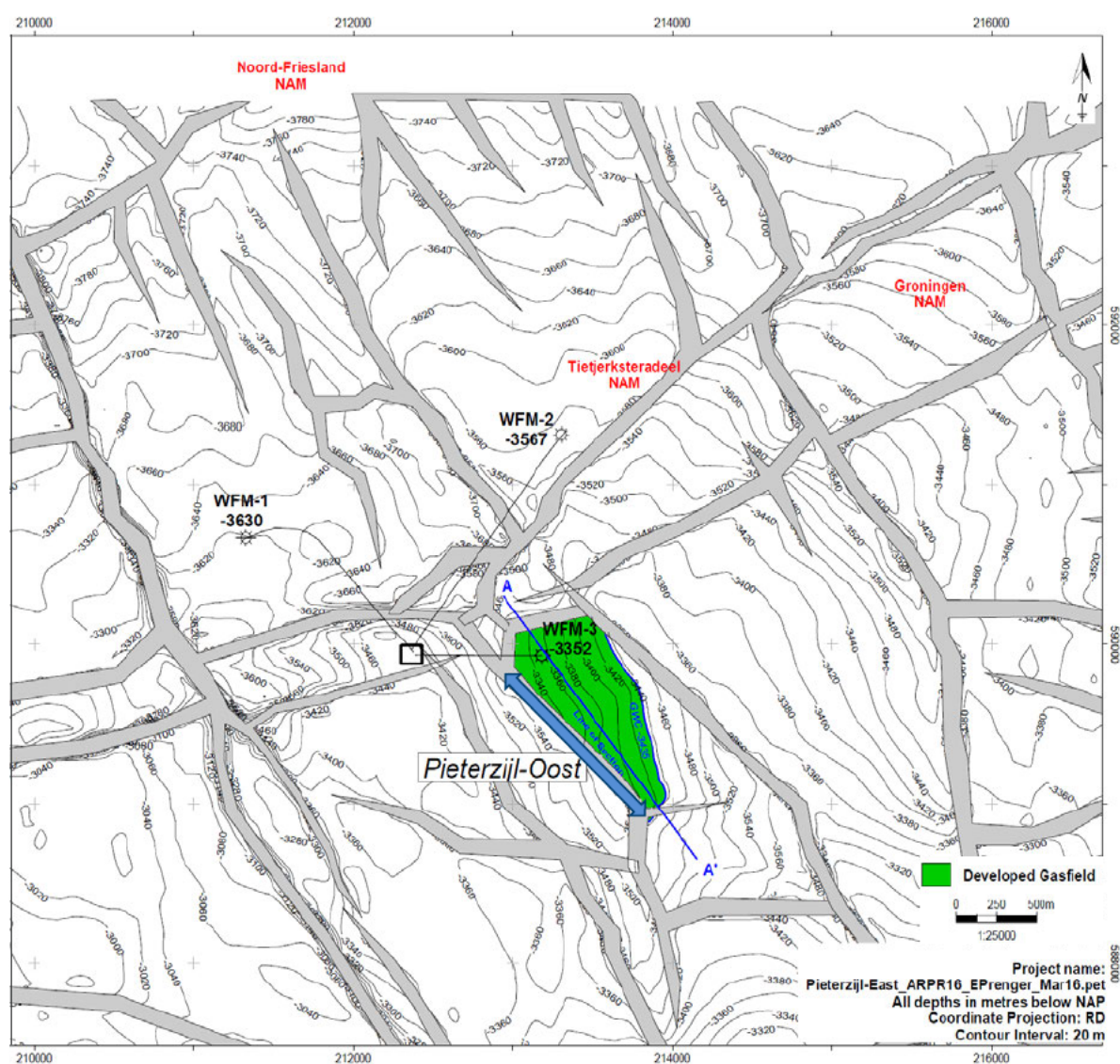
B: invloedsfactoren bovengrond

Score	Bevolkingsdichtheid (aantal inwoners per km^2)	Industriële inrichtingen	Speciale gebouwen En vitale infrastructuur	Dijken
4	> 2500	Meerdere direct boven het veld	Meerder ziekenhuizen en/of energievoorzieningen direct boven het veld	Primaire dijken boven het veld
3	1000-2500 en/of 500-1000 met wijken bestaande uit flats/appartementencomplexen binnen 5 km rond het veld	1 boven het veld en/of meerdere binnen 5 km rond het veld.	1 ziekenhuis en/of energievoorziening direct boven het veld of meerdere binnen 5 km rond het veld. Meerdere scholen, tehuizen en/of publieksgebouwen direct boven het veld	Primaire dijken binnen 5 km rond het veld en/of secundaire dijken boven het veld
2	500-1000 en/of 250-500 met wijken bestaande uit flats/appartementencomplexen binnen 5 km rond het veld	1 binnen 5 km rond het veld.	1 school, tehuis en/of publieksgebouw boven het veld of meerdere binnen 5 km rond het veld.	Secundaire dijken binnen 5 km rond het veld
1	250-500 en/of <250 met wijken bestaande uit flats/appartementencomplexen binnen 5 km rond het veld		1 school, tehuis en/of publieksgebouw binnen 5 km rond het veld.	
0	< 250	Geen binnen 5 km rond het veld	Geen boven en/of binnen 5 km rond het veld	Geen dijken binnen 5 km rond het veld

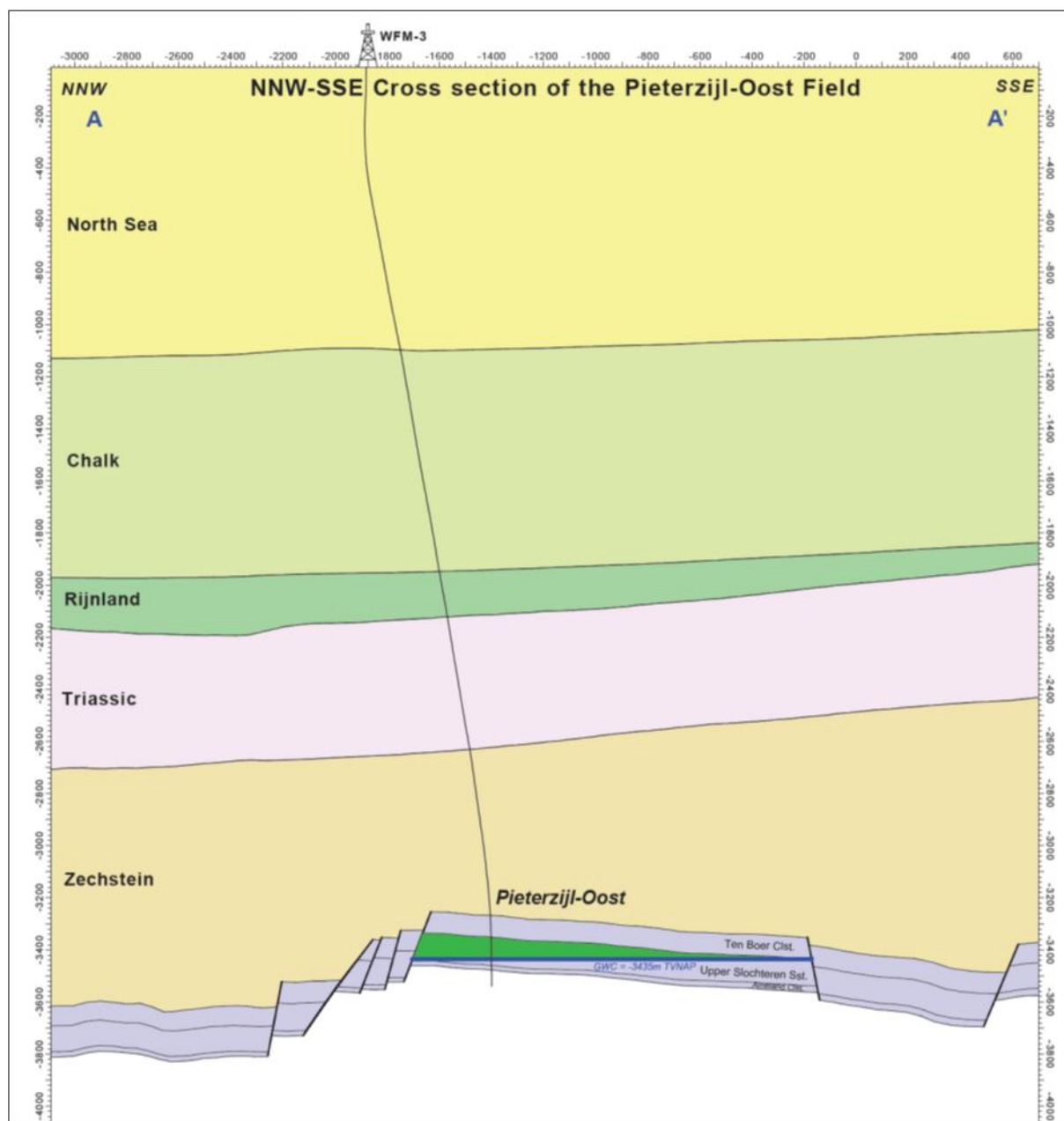
C: scores voor invloedsfactoren ondergrond en bovengrond

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	Categorie
2	1	2	3	0,57	0	3	2	3	0,5	I

13 BIJLAGE C: GEOLOGISCHE KAARTEN VAN HET VOORKOMEN



Figuur 13-1: Kaart van de top van het Pieterzijl Oost voorkomen (Boven-Slochteren laagpakket), inclusief de breuken. De blauwe pijl geeft de langste breuk aan.



Figuur 13-2: Reservoirdoorsnede van het Pieterzijl-Oost voorkomen.

14 BIJLAGE D: DRUKKEN PER JAAR

jaar	Gemiddelde reservoir druk per scenario (bar)		
	L	M	H
2015		400	
2016		370	
2017		370	
2018		370	
2019		341	
2020		294	
2021		264	
2022	240	240	240
2023	225	223	222
2024	211	207	203
2025		195	186
2026		184	171
2027			157
2028			145
2029			134
2030			123