



# **AANVRAAG INSTEMMING WINNINGSPLAN WARFFUM**



**BRON VAN ONZE ENERGIE**



**NAM**

# **AANVRAAG INSTEMMING WINNINGSPLAN WARFFUM**

Versie 1.0

September 2022

**BRON VAN ONZE ENERGIE**

# 1 SAMENVATTING

## *Achtergrond winningsplannen – algemeen*

Het winnen van aardgas uit een gasveld wordt vastgelegd in een winningsplan. Kort gezegd beschrijft het winningsplan de technische aspecten van de winning en de mogelijke risico's en effecten zoals bodemdaling en bodemtrilling, inclusief eventuele maatregelen.

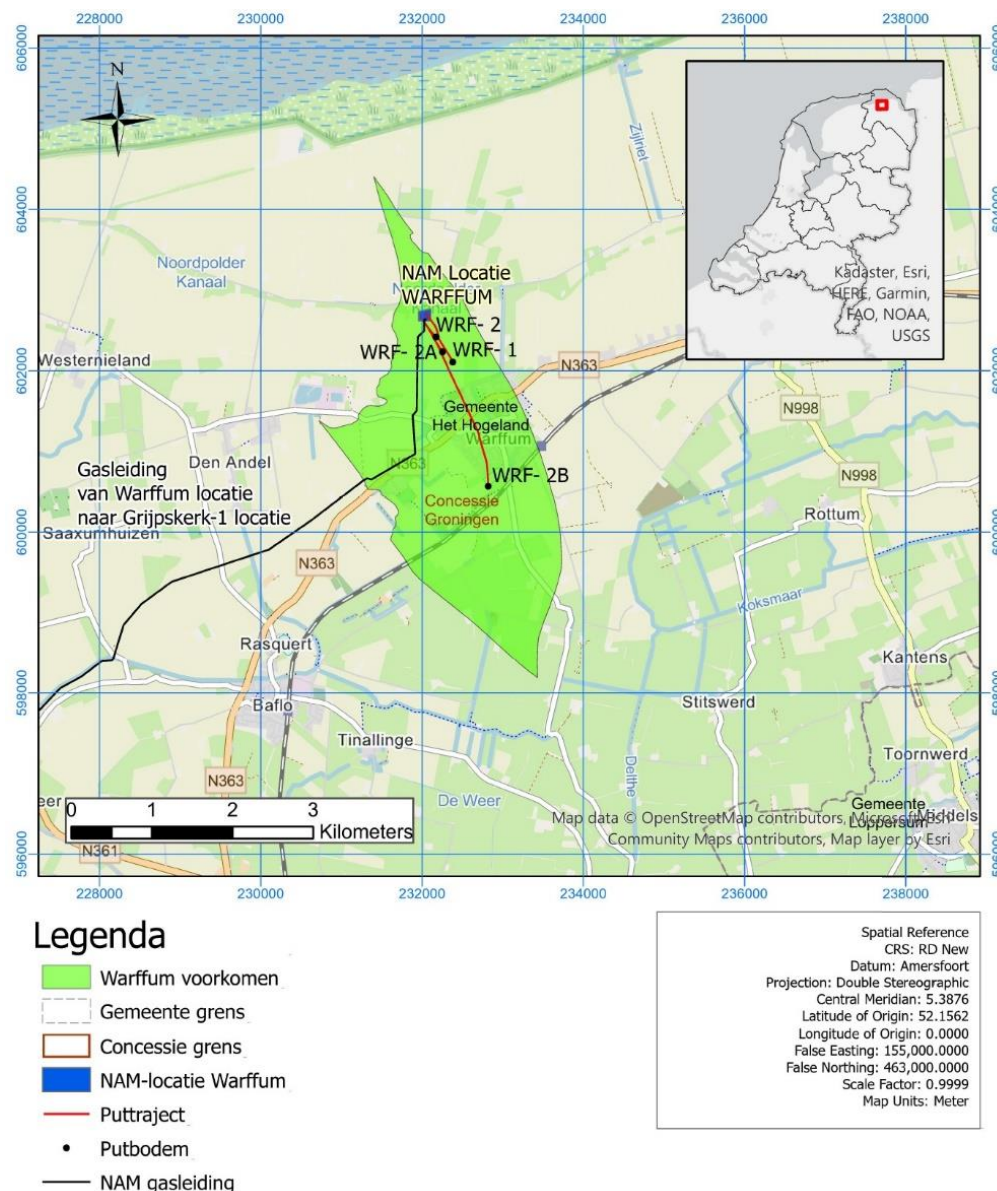
De winning kan alleen plaatsvinden indien de staatssecretaris Mijnbouw (ministerie van Economische Zaken en Klimaat, EZK) instemt met het winningsplan. Het uitgangspunt hierbij is de Mijnbouwwet waaraan voldaan moet worden. De procedure van een winningsplan duurt circa 10 maanden en bestaat uit de volgende 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: Staatstoezicht op de Mijnen (SodM), Technische commissie bodembeweging (Tcbb), TNO, de Mijnraad maar ook de provincies, gemeenten en waterschappen.
- Deze adviezen worden meegenomen in het ontwerp instemmingsbesluit.
- Het ontwerpbesluit ligt vervolgens voor een periode van 6 weken ter inzage. In deze fase heeft iedereen de mogelijkheid te reageren op het plan 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 beroep aantekenen.
- Indien er beroep is ingediend, 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.

Indien er afwijkingen zijn moet NAM een actualisatie van het winningsplan indienen. Het winningsplan dat nu wordt ingediend voor winning uit het Warffum gasveld is zo'n actualisatie.

## **Warffum gasveld**

Het gasveld 'Warffum', in het winningsplan ook wel het voorkomen 'Warffum' genoemd, ligt in de Groningse gemeente Het Hogeland en waterschap Noorderzijlvest. Dit gasveld werd in 1976 aangetoond met de exploratieput Warffum-1 (WRF-1), zie Figuur 1-1. Via deze put, geboord vanaf de locatie Warffum, is gas gevonden in de Slochteren formatie. Het veld is verder ontwikkeld met de productieput Warffum-2 (WRF-2) die in 1986 in productie is genomen. Tot juni 2021 werd het geproduceerde gas op locatie Warffum behandeld en afgeleverd aan de Gasunie. Om de productie uit het Warffum veld efficiënter te laten verlopen is in juni 2021 de productie aan de Grijskerk gasdroog-installatie (GDF) gekoppeld, vanwaar het gas wordt geleverd aan de Gasunie. Tot 1 januari 2022 is 8183 miljoen Nm<sup>3</sup> gas geproduceerd uit het Warffum veld.



Figuur 1-1: Overzicht van het veld Warffum inclusief infrastructuur. Ondergrondse puttrajecten zijn aangegeven met rode lijnen.

### Actualisatie van het winningsplan

De reden voor deze actualisatie van het winningsplan is met name de wijziging van de verwachte einddatum van de productieperiode van 31 december 2024 naar 31 december 2029. In het hoge productiescenario is de einddatum uiterlijk 31 december 2032. De verlenging van de productieperiode is mogelijk door de recente koppeling met Grijskerk GDF, waardoor de gasdruk op de Warffum locatie verder verlaagd kan worden. Hierdoor stroomt het gas makkelijker vanuit het gasveld door de productieput naar boven. De maximale totale gaswinning en de seismische risicocategorie blijven gelijk vergeleken met het vigerend winningsplan. De nog te verwachten bodemdaling neemt met 1 tot 2 cm iets toe ten opzichte van het vigerende winningsplan. Hierbij zijn de laatste inzichten in het compactiegedrag van het reservoirgesteente meegenomen.

### Bodemdalingsrisico

De verwachte bodemdaling door gaswinning uit het Warffum veld na 1 januari 2022 is minder dan 6 cm. De maximale bodemdaling door gaswinning uit het Warffum veld is minder dan 8 cm na 1 januari 2022. De additionele bodemdaling ten gevolge van de verlenging van de productietermijn ligt tussen de 1 en 2

cm. Ook door productie uit het Groningen veld vindt bodemdaling plaats boven het Warffum gasveld. De totale verwachte bodemdaling door alle gaswinning boven het Warffum voorkomen is vanaf de start van de gaswinningen minder dan 20 cm in 2030.

De daadwerkelijke bodemdaling wordt gemonitord volgens het Meetplan Noord-Nederland. Het meetplan en de bijhorende analyse van de meetgegevens worden jaarlijks ter beoordeling en instemming naar SodM gestuurd.

### **Aardbevingsrisico**

In de omgeving van het dorp Warffum is sprake van aardbevings schade door winning uit het Groningen gasveld. In dit winningsplan gaat het echter specifiek over het aardbevingsrisico veroorzaakt door winning uit het Warffum gasveld. Door SodM is een methodiek ontwikkeld om het aardbevingsrisico beter in te schatten. In deze aanvraag is het risico van aardbevingen volgens deze nieuwe methodiek uitgewerkt.

Op basis van verschillende parameters met betrekking tot de ondergrond en gasproductie is bepaald wat de waarschijnlijkheid is dat het gasveld zou kunnen beven. Daarnaast wordt op basis van de specifieke geologische eigenschappen een inschatting gemaakt van de sterkste beving waar theoretisch gezien rekening mee moet worden gehouden. Hierbij is ook rekening gehouden met andere elementen, zoals de opbouw van de ondiepe ondergrond, bevolkingsdichtheid en of een veld al heeft gebeefd in het verleden. In 2006 is een zeer lichte aardbeving waargenomen boven het Warffum veld met een magnitude van 1,1. Deze beving heeft trillingen veroorzaakt die onder de voelbare grens liggen. Hierna zijn geen aardbevingen meer waargenomen die veroorzaakt kunnen zijn door de winning uit het Warffum veld.

Velden die zouden kunnen beven worden volgende de SodM methodiek ingedeeld in drie categorieën. Het Warffum gasveld valt in de middelste risicocategorie. Voor deze categorie velden zijn extra monitoringsmaatregelen nodig die sinds 2016 zijn gerealiseerd met de uitbreiding van het seismisch meetnetwerk boven en rondom het Groningenveld. Het optreden van eventuele bodemtrillingen wordt gemonitord via het KNMI-meetnet. Hoewel de kans op een beving klein is, kan een beving nooit worden uitgesloten. Daarom heeft NAM een seismisch risicobeheersplan wat door SodM wordt onderschreven. Het risicobeheersplan voor dit veld is te vinden op de NAM-website<sup>1</sup>.

Het is belangrijk om te benadrukken dat het aardbevingsrisico door productie uit Warffum kleiner is dan het aardbevingsrisico voor het Groningen veld. Bevingen veroorzaakt door het Groningen veld kunnen schade veroorzaken in het gebied boven het Warffum veld. De verwachting is dat de bevingen afnemen in sterkte en frequentie met de afbouw van de productie uit het Groningen veld. Mochten omwonenden in de toekomst eventueel schade ondervinden door gaswinning uit het Warffum veld, dan kan dat gemeld worden bij de Commissie Mijnbouwschade. Sectie 8.6 geeft nader uitleg over de procedures die gevolgd kunnen worden.

<sup>1</sup> <https://nam-onderzoeksrapporten.data-app.nl/reports/download/kleine-velden/nl/220febb2-2ff0-413d-9e1a-63bc9f0e3f13>



## Inhoud

|     |                                                                        |    |
|-----|------------------------------------------------------------------------|----|
| 1   | SAMENVATTING .....                                                     | 3  |
|     | 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 ..... | 14 |
| 4   | BORINGEN .....                                                         | 15 |
| 4.1 | Inleiding: Algemene beschrijving van een put .....                     | 15 |
| 4.2 | Overzicht boring(en) .....                                             | 16 |
| 4.3 | Schematische voorstelling putverbuizing(en) .....                      | 16 |
| 4.4 | Putstimulatie .....                                                    | 17 |
| 5   | ONDERGROND .....                                                       | 18 |
| 5.1 | Inleiding: hoe worden de gesteente-eigenschappen gemeten .....         | 18 |
| 5.2 | Geologie en gesteente-eigenschappen van het voorkomen .....            | 18 |
| 5.3 | Gesteente-eigenschappen van de bovenliggende lagen .....               | 20 |
| 5.4 | Andere gebruiksmogelijkheden van de ondergrond .....                   | 20 |
| 6   | ONTWIKKELINGSVOORUITZICHTEN .....                                      | 22 |
| 6.1 | Inleiding .....                                                        | 22 |
| 6.2 | Historische Productie .....                                            | 22 |
| 6.3 | Onzekerheden .....                                                     | 23 |
| 6.4 | Winningsstrategie, waterinjectie & reservoir management .....          | 23 |
| 6.5 | Winningsnelheid (hoeveelheden per voorkomen per jaar) .....            | 23 |
| 6.6 | Duur van de winning .....                                              | 25 |
| 6.7 | Jaarlijks eigengebruik bij winning .....                               | 25 |
| 6.8 | Jaarlijks bij winning afgeblazen/afgefakkelde koolwaterstoffen .....   | 25 |
| 6.9 | Stoffen die jaarlijks worden mee geproduceerd .....                    | 25 |
| 7   | BODEMDALING .....                                                      | 26 |

|           |                                                                              |           |
|-----------|------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 7.1       | Inleiding: hoe komt bodemdaling tot stand .....                              | 26        |
| 7.2       | Bodemdalingsmodel & historische bodemdaling.....                             | 28        |
| 7.3       | Bodemdalingsvooruitzichten .....                                             | 30        |
| 7.4       | Onzekerheid in verwachte bodemdaling .....                                   | 33        |
| 7.5       | Mogelijke gevolgen van de verwachte bodemdaling.....                         | 33        |
| 7.6       | Maatregelen om (gevolgen van) bodemdaling te voorkomen of te beperken .....  | 33        |
| <b>8</b>  | <b>BODEMTRILLING .....</b>                                                   | <b>35</b> |
| 8.1       | Hoe komen bevingen ten gevolge van gaswinning tot stand.....                 | 35        |
| 8.2       | Historische bevingen in het Warffum veld.....                                | 35        |
| 8.3       | Algemeen kader voor Seismische Risico Analyse.....                           | 36        |
| 8.4       | Mogelijke gevolgen van bevingen ten gevolge van gaswinning uit Warffum ..... | 37        |
| 8.5       | Monitoring van bodemtrillingen .....                                         | 38        |
| 8.6       | Afhandeling van schade .....                                                 | 40        |
| 8.7       | Seismisch risicobeheersplan .....                                            | 40        |
| <b>9</b>  | <b>OVERIGE OMGEVINGSASPECTEN.....</b>                                        | <b>41</b> |
| 9.1       | Algemeen .....                                                               | 41        |
| 9.2       | Effecten op natuur en milieu .....                                           | 41        |
| <b>10</b> | <b>VERKLARENDE WOORDENLIJST .....</b>                                        | <b>46</b> |
|           | <b>BIJLAGE A: BODEMDALING: DETAILS EN ACHTERGRONDEN .....</b>                | <b>47</b> |
|           | <b>BIJLAGE B: SEISMISCHE RISICO ANALYSE: DETAILS EN ACHTERGRONDEN .....</b>  | <b>50</b> |
| B.1       | Seismische Risico Analyse: introductie .....                                 | 50        |
| B.2       | Seismische Risico Analyse voor het Warffum voorkomen.....                    | 52        |
|           | <b>BIJLAGE C: GEOLOGISCHE KAARTEN VOOR DE VOORKOMENS .....</b>               | <b>59</b> |

## 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                 | <b>Verzoek om instemming voor winningsplan</b><br><br>Warffum      | <input type="checkbox"/> Een winningsplan voor voorkomens in het continentaal plat vanaf de 12 zeemijlszone<br><input checked="" type="checkbox"/> Een winningsplan voor voorkomens in Nederlands territorium tot 12 zeemijl uit de kust<br><br>De wijziging / actualisatie bestaat uit een aangepaste tijdsperiode en een actualisatie van de seismische risicoanalyse en bodemdalings- voorspellingen. |
|                             | <b>Algemene gegevens</b>                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|                             | <i>Naam indiener</i>                                               | Nederlandse Aardolie Maatschappij B.V.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|                             | <i>Adres</i>                                                       | Postbus 2800<br>9400 HH Assen                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|                             | <i>Contactpersoon</i>                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|                             | <i>E-mail</i>                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| Mw 34 lid 2                 | <b>Indiener</b>                                                    | <input checked="" type="checkbox"/> is houder van de vergunning<br><input type="checkbox"/> is uitvoerder cf artikel 22 Mw                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|                             | <b>Winningsvergunninggebied(en) Liggende Gemeente en Provincie</b> | <input checked="" type="checkbox"/> winningsvergunning(en) <ul style="list-style-type: none"> <li>• Concessie Groningen (KB 30 mei 1963, Stcrt 1963, nmr 126)</li> <li>• Gemeente: Het Hogeland</li> <li>• Provincie: Groningen</li> </ul>                                                                                                                                                               |
| Mw 34 lid 1<br>Mb 24 lid 1a | <b>Voorkomens koolwaterstoffen</b>                                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Warffum</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| Mb 24 lid 1a                | <b>Soort koolwaterstof die wordt gewonnen</b>                      | <input type="checkbox"/> olie<br><input type="checkbox"/> hoog calorisch gas<br><input checked="" type="checkbox"/> Groningen kwaliteit gas<br><input checked="" type="checkbox"/> laag calorisch gas<br><input type="checkbox"/> zwavelhoudend gas<br><input checked="" type="checkbox"/> aardgascondensaat                                                                                             |
| Mr 1.2.1 lid 3              | <b>Bestaande of nieuwe winning</b>                                 | <input checked="" type="checkbox"/> winningsplan voor reeds bestaande winning (inclusief voorziene uitbreiding)<br><input type="checkbox"/> winningsplan voor nieuwe winning                                                                                                                                                                                                                             |
| Mw 34 lid 7                 | <b>Coördinatie vergunningen</b>                                    | <input type="checkbox"/> ja: te weten met: <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Omgevingsvergunning</li> <li><input type="checkbox"/> Watervergunning</li> <li><input type="checkbox"/> Mijnbouwmilieuvergunning</li> <li><input type="checkbox"/> Anders, namelijk:</li> </ul> <input checked="" type="checkbox"/> nee (n.v.t.)                                              |



|                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | <b>Bedrijfs- en productiegegevens</b>                                                                                                                                                                   | <b>Paragraaf</b>                                                                                                              |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Mw 35 lid 1                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Beknopte beschrijving van het winningsplan                                                                                                                                                              | 1, 2                                                                                                                          |
| Mw 35 lid 1c<br>Mb 24 lid 1c,d                                                                                                                                                                                                                                                                                | Beknopte beschrijving van wijze van winning door middel van (een) mijnbouwwerk(en)                                                                                                                      | 3                                                                                                                             |
| Mb 24 lid 1a                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Geologische beschrijving van voorkomen(s)                                                                                                                                                               | 5                                                                                                                             |
| Mb 24 lid 1a<br>Mb 24 lid 1b                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Geologische doorsnede van voorkomen(s)                                                                                                                                                                  | Bijlage C                                                                                                                     |
| Mw 35 lid 1a<br>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                                                                                                                                            | 3.2                                                                                                                           |
| Mb 24 lid 2                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Productieontwikkeling strategie                                                                                                                                                                         | 6.4                                                                                                                           |
| Mb 24 lid 2                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Productiefilosofie                                                                                                                                                                                      | 2.1                                                                                                                           |
| Mb 24 lid 2                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Reservoir management                                                                                                                                                                                    | 6.4                                                                                                                           |
| Mw 35 lid 1a,d<br>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                                                                                                                   | 6.9                                                                                                                           |
| Mw 36 lid 1 sub b                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Planmatig gebruik of beheer van delfstoffen, aardwarmte, andere natuurlijke rijkdommen, waaronder grondwater met het oog op de winning van drinkwater, of mogelijkheden tot het opslaan van stoffen     | 5.4                                                                                                                           |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | <b>Gegevens inzake bodemdaling als gevolg van de winning</b>                                                                                                                                            | <b>Sectie</b>                                                                                                                 |
| Mw 35 lid 1f                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Aard van de bodemdaling ten gevolge van de winning alsmede de daarmee verband houdende activiteiten                                                                                                     | 7.1                                                                                                                           |
| Mb 24 lid 1m Mb 24 lid 1n<br>Mb 24 lid 1o                                                                                                                                                                                                                                                                     | Gekalibreerde bodemdaling en bodemdaling prognoses (uiteindelijk verwachte mate van bodemdaling)                                                                                                        | 7.2 – 7.4<br>Bijlage A                                                                                                        |
| Mb 24 lid 1q                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Omvang en aard van de schade                                                                                                                                                                            | 7.5                                                                                                                           |
| Mb 24 lid 1r                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Maatregelen om bodemdaling te voorkomen / te beperken                                                                                                                                                   | 7.6                                                                                                                           |
| Mb 24 lid 1s<br>Mw 35 lid 1f                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Maatregelen die gevolgen van schade door bodemdaling beperken of voorkomen                                                                                                                              | 7.6                                                                                                                           |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | <b>Gegevens inzake bodemtrilling als gevolg van de winning</b>                                                                                                                                          | <b>Sectie</b>                                                                                                                 |
| Mw 35 lid 1f                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Aard van de bodemtrilling ten gevolge van de winning alsmede de daarmee verband houdende activiteiten                                                                                                   | 8.1, 8.2                                                                                                                      |
| Mb 24 lid 1p                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Risicoanalyse bodemtrilling                                                                                                                                                                             | 8.3, 8.4,<br>Bijlage B                                                                                                        |
| Mb 24 lid 1q                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Omvang en aard van de schade                                                                                                                                                                            | 8.4,8.5                                                                                                                       |
| Mb 24 lid 1r                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Maatregelen om bodemtrillingen te voorkomen / te beperken                                                                                                                                               | 8.6, 8.7                                                                                                                      |
| Mb 24 lid 1s<br>Mw 35 lid 1f                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Maatregelen die gevolgen van schade door bodemtrillingen beperken of voorkomen                                                                                                                          | 8.6,8.7                                                                                                                       |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | <b>Overige veiligheidsaspecten</b>                                                                                                                                                                      | <b>Sectie</b>                                                                                                                 |
| Mw 35 lid 1g                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | De risico's voor omwonenden, gebouwen of infrastructurele werken of de functionaliteit daarvan met een risicobeoordeling, voor zover het winnen van delfstoffen niet geschiedt in het continentaal plat | 9.1, 9.2,                                                                                                                     |
| <p>Ondertekening</p> <p>Naam: <span style="background-color: black; color: black;">XXXXXXXXXX</span></p> <p>Functie: NAM Asset Manager – Onshore North</p> <p>Mb24 lid 1 Jaarlijkse kosten onderverdeeld in investeringen, onderhoud, bedrijfsvoering, verlaten en verwijderen. Zie deel "vertrouwelijk".</p> |                                                                                                                                                                                                         | <p>Datum: 23 september 2022</p> <p>Plaats: Assen</p> <div style="background-color: black; width: 100%; height: 100px;"></div> |

## 2 INLEIDING

### 2.1 Doel van het Winningsplan

De Nederlandse Aardolie Maatschappij B.V. ("NAM") is houder van de Winningsvergunning Groningen en Drenthe IIb, waarin het voorkomen Warffum is gelegen. Conform artikel 34 van de Mijnbouwwet (Mw) dient de winning van koolwaterstoffen te gebeuren in overeenstemming met een winningsplan. In het Mijnbouwbesluit (Mb) is in artikel 24 aangegeven welke informatie het winningsplan moet bevatten.

Dit winningsplan is de tweede actualisatie van het winningsplan Warffum sinds 2003. De reden voor deze actualisatie van het winningsplan is de wijziging van de verwachte einddatum van de productieperiode van 31 december 2024 naar 31 december 2029. In het hoge productiescenario zou dit tot 31 december 2032 kunnen zijn, zie hoofdstuk 6 voor meer informatie.

Er zijn geen activiteiten gepland die een vergunning behoeven (bijv. het boren van nieuwe putten) waarmee behandeling van dit winningsplan gecoördineerd moet worden. Onderstaand een overzicht van winningsplannen en actualisaties.

| DATUM                 | VERSIE | DOCUMENT                                            |
|-----------------------|--------|-----------------------------------------------------|
| <b>December 2003</b>  | 1.0    | Originele winningsplan                              |
| <b>Januari 2005</b>   | 2.0    | Eerste actualisatie ( <b>vigerend</b> winningsplan) |
| <b>September 2022</b> | 3.0    | Tweede actualisatie (voorliggend document)          |

NB: Het oorspronkelijk winningsplan en besluiten voor Warffum zijn te vinden op [www.nlog.nl](http://www.nlog.nl).

### 2.2 Leeswijzer

Dit document beschrijft de manier waarop het gas wordt gewonnen, de geologie, de eigenschappen van het gasveld, de voorspelde productiehoeveelheden, de mate van bodemdaling en het risico op aardbevingen. Het document begint met een samenvatting. Deze samenvatting geeft een uitleg van de belangrijkste punten van dit winningsplan, zonder uitleg van technische details.

Het Warffum gasveld wordt vanaf een bestaande locatie en een bestaande put geproduceerd. Hoofdstuk 3 (Plaats van winning) geeft meer informatie over de locatie en hoofdstuk 4 (Boringen) over de huidige put. Hoofdstuk 5 (Ondergrond) geeft een beschrijving van de ondergrond. In hoofdstuk 6 (Ontwikkelingsvooruitzichten) wordt ingegaan op de historische en toekomstige productie, de ontwikkelingsplannen van het Warffum veld en de winningsstrategie.

De nog te verwachten bodemdaling door toekomstige productie wordt beschreven in hoofdstuk 7 (Bodemdaling). De bodemdaling wordt regelmatig gemonitord volgens een meetplan conform de geldende normen, onder toezicht van Staatstoezicht op de Mijnen (SodM). Hoofdstuk 8 (Bodemtrilling) gaat in op de seismische risicoanalyse. Tenslotte worden in hoofdstuk 9 de effecten van de uitvoering van dit winningsplan op natuur en milieu beschreven.

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 van 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.** het veld van dit winningsplan in de risicocategorie blijft ingedeeld zoals in hoofdstuk 8 berekend. NAM zal het winningsplan dienen aan te passen als op basis van nieuwe gegevens of inzichten het seismisch risico van het veld in dit plan groter blijkt te zijn.

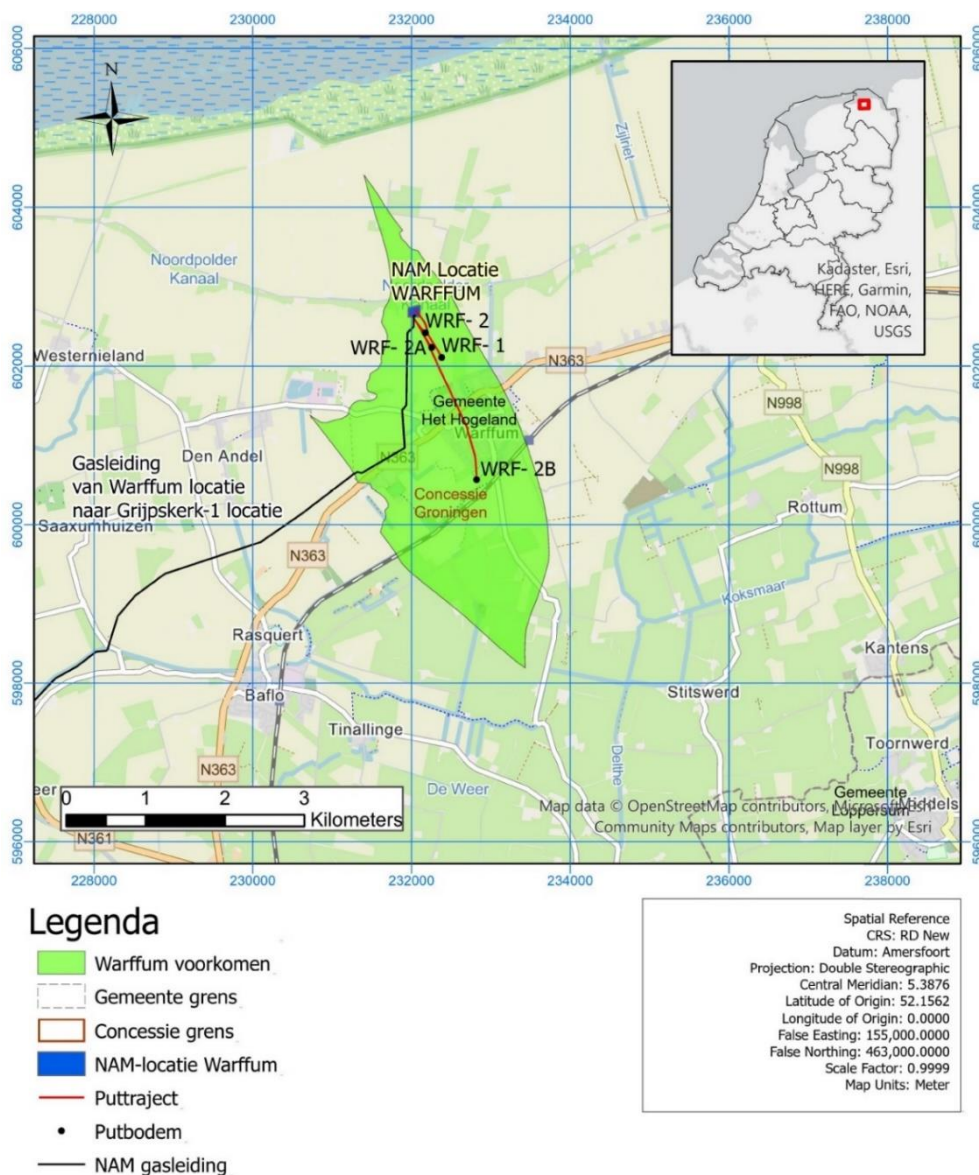
Eventuele toekomstige activiteiten op de locatie of in het reservoir (bijvoorbeeld activiteiten gerelateerd aan putten) zullen de gangbare vergunningsprocedures volgen.

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 Warffum gasvoorkomen bevindt zich binnen grenzen van de provincie Groningen, gemeente Het Hogeland en waterschap Noorderzijlvest. De winningslocatie en het voorkomen Warffum zijn beide gelegen in winningsvergunningsgebied (concessie) Groningen. In Figuur 3-1 is dit te zien in een topografische kaart met daarbij de locatie van het voorkomen, de NAM-productielocatie, putten met puttrajecten en pijpleidingen. De aanwezige beschermde natuurgebieden (Natura 2000-gebieden), waterwingebieden, grondwaterbeschermings- en zoutwinningsgebieden worden getoond in Figuur 9-1.



Figuur 3-1: Topografische kaart en overzicht van het Warffum gasveld.



Een luchtfoto van de Warffum locatie is zien in Figuur 3-2, waarbij de gasbehandelingsinstallatie die in gebruik was tot 2021 nog te zien is. Tijdens het schrijven van dit document wordt deze installatie ontmanteld. Figuur 3-3 laat een luchtfoto zien van de locatie Grijskerk (GRK GDF), waar onder andere het gas van de Warffum locatie wordt behandeld sinds 2021.



Figuur 3-2: Warffum locatie.

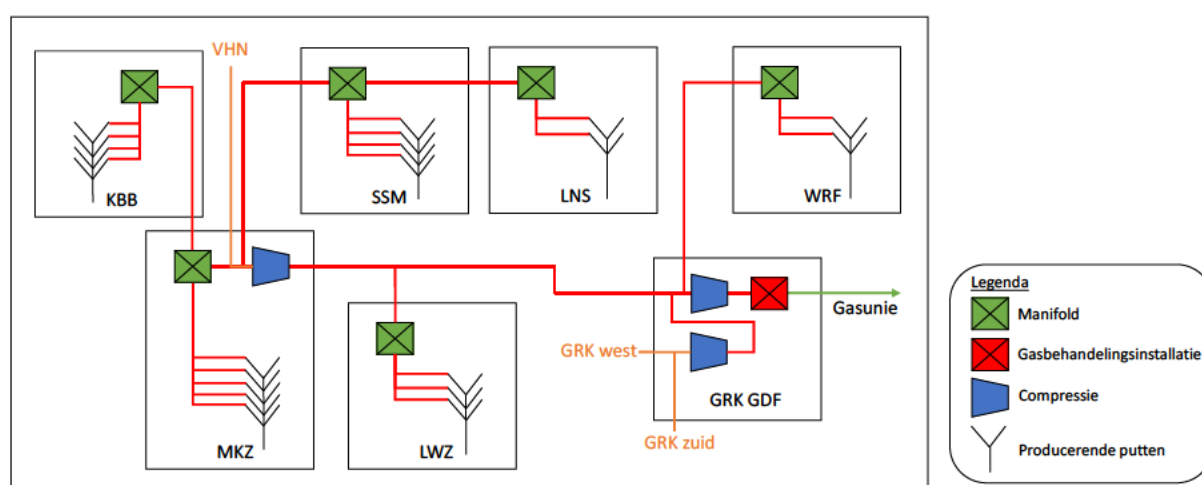


Figuur 3-3: Grijskerk locatie.

### 3.2 Schematische weergave gas- en waterbehandeling en afvoer van gas

Figuur 3-4 geeft een schematische weergave van de gasstromen voor het Warffum veld. Vanaf de locatie Warffum (WRF) stroomt het onbehandelde geproduceerde gas naar de behandlingslocatie Grijskerk (GRK GDF). Op deze locatie wordt ook gas van andere locaties behandeld. Op de behandlingslocatie worden de meegeproduceerde vloeistoffen (water en aardgascondensaat) van het gas gescheiden.

Deze vloeistoffen worden vanaf deze locatie afgevoerd. Het aardgascondensaat wordt in Delfzijl van het water gescheiden, waarna het aardgascondensaat aan raffinaderijen wordt geleverd. Het water wordt bij Borgsweer in de diepe ondergrond geïnjecteerd. De resulterende gasstroom wordt op Grijskerk GDF via druk- en temperatuurbehandeling op specificatie gebracht en afgeleverd aan Gasunie voor verder transport.



Figuur 3-4: Schematische weergave van de gasbehandeling en afvoer.



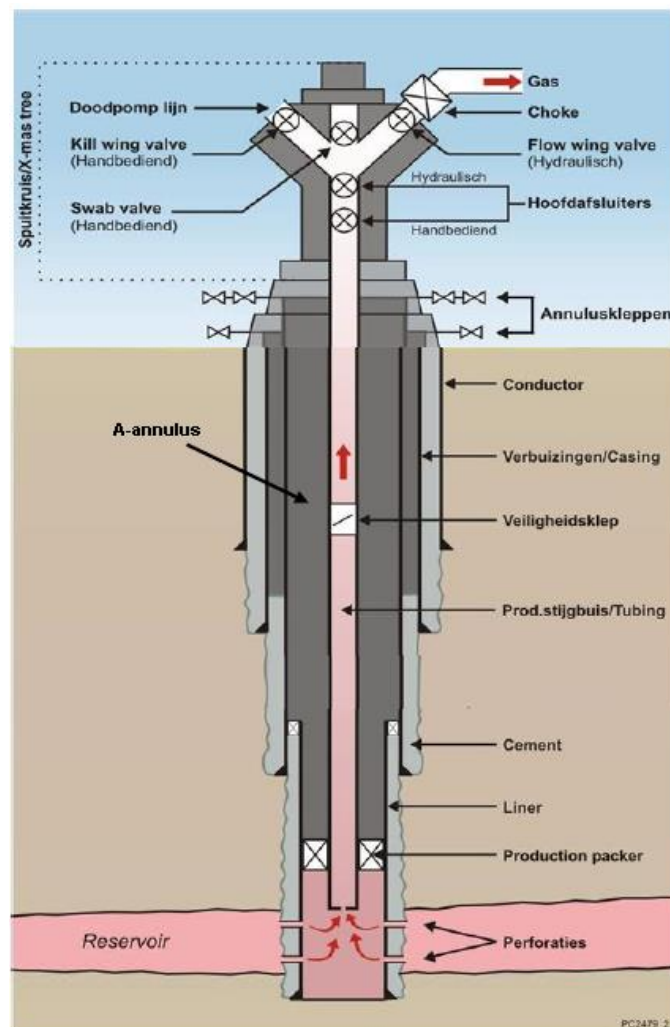
## 4 BORINGEN

Dit hoofdstuk geeft een nadere uitleg over de huidige put die vanaf de NAM-productielocatie Warffum wordt ingezet voor de productie van het aardgas uit het Warffum gasveld.

### 4.1 Inleiding: Algemene beschrijving van een put

Figuur 4-1 geeft een schematische weergave van een productieput. Hieronder volgt een korte beschrijving van het boren van een put en de belangrijkste onderdelen. Voor het voorkomen Warffum worden geen nieuwe boringen verwacht. Onderstaande beschrijving is ter informatie en verduidelijking van de constructie van de bestaande put.

Het boren van een put gebeurt met een boortoren. Voordat de boortoren op locatie wordt geplaatst wordt er een buis in de grond geheid (ongeveer 50 meter diep). De boortoren wordt daarna boven op deze geheide buis opgebouwd. Een boorpijp bestaat van onder naar boven uit een beitel, motor, stabilisatoren, meetapparatuur en boorpijpen tot naar de boortoren. Tijdens het boorproces wordt er gebruik gemaakt



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

van boorvloeistof. Deze zorgt voor het aandrijven van de motor, het verwijderen van boorgruis en koeling van de boorpijp. Tevens levert deze boorvloeistof een hydrostatische druk in het boorgat om gas-instroom te voorkomen. Boven op het boorgat staat een metalen installatie, bestaande uit verschillende afsluiters die tijdens het boorproces geactiveerd kunnen worden: de BOP ("blow out preventer").

Het boren van een put door de verschillende grondlagen gebeurt in secties waarvan de diameter afneemt met de diepte. Het boorgat wordt verstevigd door middel van een metalen buis: een 'casing'. De casing wordt in het boorgat vastgezet door cement te persen in de ringvormige ruimte tussen de buitenkant van de casing en het boorgat. Daardoor ontstaat een sterke en stabiele put die bescherming en isolering van bovenliggende grondlagen en het grondwater biedt. Het boren van secties en zetten van 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 gas gecontroleerd omhoog kan stromen. De tubing bevindt zich binnen de casing en is zodoende een extra barrière voor het gas. De ruimte tussen de tubing en de casing wordt A-annulus genoemd. De druk in deze annulus wordt voortdurend gemonitord om de goede staat van de put te kunnen waarborgen. Bovendien heeft de tubing verschillende veiligheidskleppen. Als de tubing is geïnstalleerd, worden er perforaties gemaakt in de casing ter hoogte van het gasreservoir en kan het gas door de tubing omhoog stromen.

Aan de oppervlakte is de 'X-mas tree' de verbinding tussen de tubing en de bovengrondse gasleiding. Deze 'tree' is zichtbaar op de locatie 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 om de druk, temperatuur en gasstroomsnelheid continu te meten.

## 4.2 Overzicht boring(en)

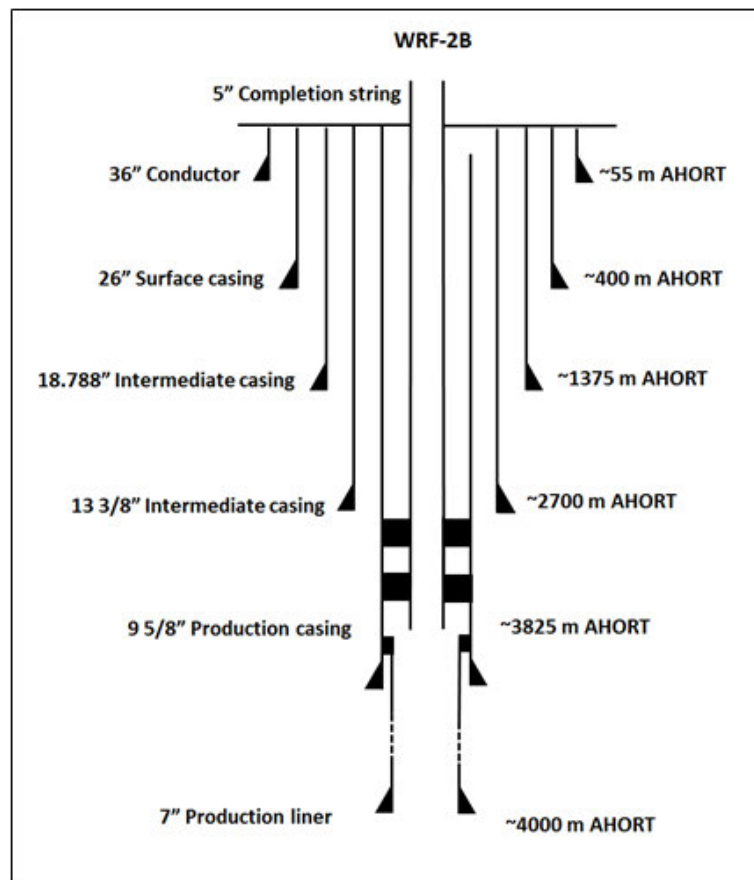
In onderstaande tabel is de bestaande put met locatie en voorkomen en verdere algemene informatie weergegeven. Wij verwachten geen nieuwe boring voor het Warffum voorkomen.

Tabel 4-1: Lijst van putten per voorkomen

| Putnaam | Locatie | Voorkomen | Status        |
|---------|---------|-----------|---------------|
| WRF-1   | Warffum | Warffum   | Gesuspendeerd |
| WRF-2B  | Warffum | Warffum   | Producterend  |

## 4.3 Schematische voorstelling putverbuizing(en)

In Figuur 4-2 is schematisch de putverbuizing van de WRF-2B productieput weergegeven. Via perforaties door de 5" productie-liner wordt het reservoir in verbinding gesteld met een 3.5" productie-stijgbuis ('tubing', zoals weergegeven in Figuur 4-1). Via de tubing worden de koolwaterstoffen naar het oppervlak geproduceerd.



Figuur 4-2: Schematische voorstelling van de put WRF-2B. Dieptes zijn aangegeven langs de put (m AHORT). Aangezien putten vaak gedevieerd zijn geboord, is de verticale diepte t.o.v. NAP (m TVDNAP) altijd minder dan de 'along hole rotary table' diepte (m AHORT).

## 4.4 Putstimulatie

Het reservoirgesteente van het Warffum voorkomen is goed doorlaatbaar. Daardoor is geen hydraulische putstimulatie nodig.

Gedurende de productie van een put kan het voorkomen dat er aanslag (zogenaamde *scaling*, bijvoorbeeld kalk of zout) wordt gevormd 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 (zoals bij een koffiemachine). 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).

## 5 ONDERGROND

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

### 5.1 Inleiding: hoe worden de gesteente-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 onzekerheid over de grootte en de andere eigenschappen van het gasveld. Voorspellingen zullen daardoor altijd een onzekerheidsmarge hebben. Die onzekerheidsmarge verschilt per eigenschap en zal dus verschillende gevolgen voor 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 zijn de voortplantingssnelheden 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 en 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 Warffum 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 het voorkomen zich bevindt als de bovenliggende formaties. Voor een volledige beschrijving met nadere uitwerking van gebruikte begrippen wordt verwezen naar *Geology of the Netherlands*, geschreven door Wong et al. in 2007.

#### **Het ontstaan van gasvoorkomens**

Plantaardig 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 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 aardoppervlak. Als onderweg een ondoordringbare 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 van en botsingen tussen de aardplaten.

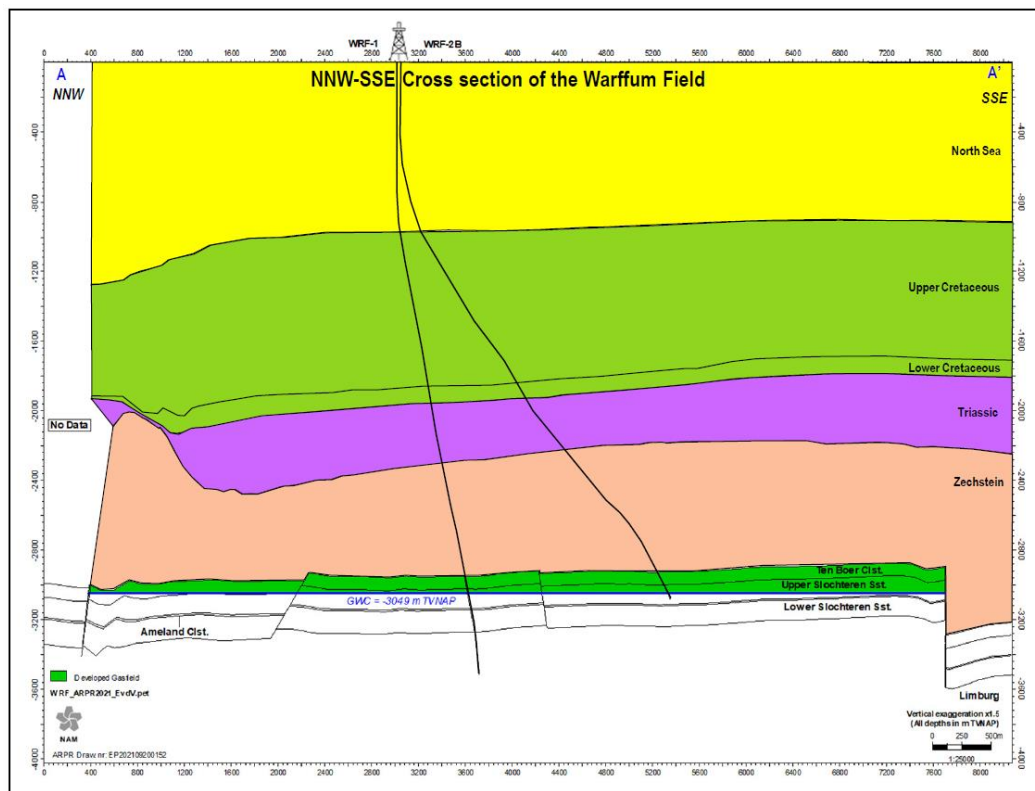
### Reservoirformaties en bron koolwaterstoffen

Het gasvoerende reservoir van het Warffum gasveld behoort tot de Boven-Rotliegend Groep die gevormd is tijdens het Perm tijdperk. Deze groep wordt onderverdeeld in de Slochteren Formatie en de Silverpit Formatie (zie Tabel 5-2). Binnen de Slochteren Formatie wordt nog onderscheid gemaakt tussen het Boven-Slochteren laagpakket en het Onder-Slochteren laagpakket. De zandstenen van de Slochteren Formatie vormen het belangrijkste reservoir. Daarnaast wordt in het Warffum veld ook gas gewonnen uit het Ten Boer Laagpakket dat grotendeels uit kleisteen bestaat, maar lokaal ook dunne zandsteenlagen bevat. Het Ten Boer Laagpakket is onderdeel van de Silverpit Formatie. De formaties van de Boven Rotliegend Groep worden afgedekt door de Zechstein Groep. Deze groep bestaat voornamelijk uit ondoorlatende evaporietafzettingen (zout en anhydriet).

Het gas in het Warffum 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 en Silverpit formaties. De ondoorlaatbare formaties van de Zechstein Groep hebben daarna verhinderd dat het gas verder naar de oppervlakte kon ontsnappen.

### Structuur

Het Warffum gasveld bevindt zich in een naar het noorden hellend breukblok, dat aan alle kanten is begrensd door breuken. Het voorkomen wordt zowel aan de bovenkant als langs de randbreuken afgesloten door de ondoorlatende formaties van de Zechstein Groep. In bijlage C zijn een schematische doorsnede en geologische kaart van het voorkomen weergegeven.



Figuur 5-1: Dwarsdoorsnede van maaiveld tot aan het reservoir over het Warffum voorkomen<sup>2</sup>.

<sup>2</sup> Voor vertaling van Engelstalige nomenclatuur: [Stratigraphic Nomenclature by stratigraphic group | DINOloket](#)



### Reservoireigenschappen

In Tabel 5-1 zijn de gemiddelde reservoireigenschappen van de reservoirgesteentes Ten Boer en Boven-Slochteren weergegeven. De verhouding van de hoeveelheid zandsteen (doorlatend en gasvoerend) ten opzichte van klei (ondoorlatend en niet producerend) wordt aangegeven met Net-to-Gross. De verhouding van het 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 gemeld worden dat het in de tabel om gemiddelde waarden gaat. Het totaal van alle gemeten waarden laat een grote range zien.

Tabel 5-1: Gemiddelde fractie van net reservoirzand in de formatie, met daarbij de gemiddelde porositeit en permeabiliteit van net reservoir in het Warffum veld.

| <i>Producterende formatie</i> | <i>Net-to-Gross (%)</i> | <i>Porositeit (%)</i> | <i>Permeabiliteit (mD)</i> |
|-------------------------------|-------------------------|-----------------------|----------------------------|
| Ten Boer laagpakket           | 15                      | 9                     | 2                          |
| Boven-Slochteren laagpakket   | 100                     | 18                    | 60                         |

### 5.3 Gesteente-eigenschappen van de bovenliggende lagen

Boven de formaties van de Boven-Rotliegend groep die het geproduceerde gas bevatten bevindt zich nog een dik pakket van ongeveer 3000 m gesteente. De onderverdeling daarvan in groepen en formaties wordt gegeven in Tabel 5-2. Deze tabel laat zien dat een deel van die formaties ondoorlatend is.

### 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 tot zoutwater. Deze grens ligt in de omgeving van Warffum op ongeveer 0 tot 25 m diepte. Daaronder is al het grondwater of formatiewater van nature zout tot zeer zout. Het dichtstbijzijnde waterwingebied ligt op grote afstand van de Warffum productielocatie. Boor- en productieactiviteiten zullen geen effect op de samenstelling van het zoete grondwater hebben.

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

**Bodemwarmte** haalt men tot enkele honderden meters diep uit de bodem en wordt gebruikt voor verwarming van woningen, gebouwen en kassen. Dit soort projecten wordt veel toegepast in Nederland. Omdat het boren zich beperkt tot de bovenste ~300 m is er geen interactie met olie- en 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 Warffum veld zijn dergelijke geothermie projecten nog niet uitgevoerd. SodM is toezichthouder op zowel olie- en gaswinning als geothermie, waardoor eventuele interactie voorkomen zal worden.

**Zoutwinning** vindt plaats in Nederland uit verschillende zoutcavernes. Ook in de provincie Groningen wordt zout gewonnen, maar niet in de nabijheid van Warffum.

**Gasopslag** of ander gebruik van de diepe ondergrond is niet voorzien in dit gebied.

Tabel 5-2: Geologische formaties.

| Ouderdom           | Groep                 | Formatie            | Laagpakket                | Afkorting |               |
|--------------------|-----------------------|---------------------|---------------------------|-----------|---------------|
| <b>Tertiair</b>    | Noordzee (NS)         | Boven               |                           | NU        |               |
|                    |                       | Midden              | Rupel Klei                | NMRFC     |               |
|                    |                       | Onder               | Asse                      | NLFFB     | Ondoorlatend  |
|                    |                       |                     | Zand van Brussel          | NLFFS     |               |
|                    |                       |                     | Ieper                     | NLFFY     | Ondoorlatend  |
|                    |                       |                     | Basale Tuffiet van Dongen | NLFFT     |               |
|                    |                       |                     | Klei van Landen           | NLLFC     | Ondoorlatend  |
| <b>Boven Krijt</b> | Krijt kalk (CK)       | Ommelanden          |                           | CKGR      | Ondoorlatend  |
|                    |                       | Texel               |                           | CKTX      |               |
| <b>Onder Krijt</b> | Rijnland (KN)         | Holland             |                           | KNGL      |               |
|                    |                       | Vlieland            | Vlieland Kleisteen        | KNNCM     |               |
| <b>Trias</b>       | Onder Trias (RB)      | Onder Bontzandsteen | Rogenstein                | RBSHR     | Ondoorlatend  |
|                    |                       |                     | Hoofdkleisteen            | RBSHM     |               |
|                    |                       |                     | Basal Bundsandsteen Egv.  | RBSHL     |               |
| <b>Perm</b>        | Zechstein (ZE)        | Z4                  | Z4 Zout                   | ZEZ4H     | Ondoorlatend  |
|                    |                       | Z3                  | Z3 Zout                   | ZEZ3H     |               |
|                    |                       |                     | Z3 Hoofdanhydriet         | ZEZ3A     |               |
|                    |                       |                     | Z3 Carbonaat              | ZEZ3C     |               |
|                    |                       | Z2                  | Z2 Zout                   | ZEZ2H     | Ondoorlatend  |
|                    |                       |                     | Z2 Basale Anhydriet       | ZEZ2A     |               |
|                    |                       |                     | Z2 Carbonaat              | ZEZ2C     |               |
|                    |                       | Z1                  | Z1 Anhydriet              | ZEZ1T     | Ondoorlatend  |
|                    |                       |                     | Z1 Zout                   | ZEZ1H     |               |
|                    |                       |                     | Z1 Boven-Anhydriet        | ZEZ1W     |               |
|                    |                       |                     | Z1 Carbonaat              | ZEZ1C     |               |
|                    |                       |                     | Koperschalie              | ZEZ1K     |               |
| <b>Perm</b>        | Boven Rotliegend (RO) | Silverpit           | Ten Boer                  | ROCLT     | Reservoir     |
|                    |                       | Slochteren          | Boven-Slochteren          | ROSLU     |               |
|                    |                       | Silverpit           | Ameland                   | ROCLA     |               |
|                    |                       | Slochteren          | Onder-Slochteren          | ROSLI     | Reservoir     |
| <b>Carboon</b>     | Limburg (DC)          |                     |                           | DC        | Oorsprong Gas |

## 6 ONTWIKKELINGSVOORUITZICHTEN

Dit hoofdstuk gaat in op de historische en toekomstige productie. Hierin worden de ontwikkelingsplannen van het Warffum gasveld en de winningsstrategie meegenomen.

### 6.1 Inleiding

Het Warffum gasveld is in 1976 aangeboord en in 1986 in productie genomen. Het gas wordt uit de Slochteren en de Ten Boer formaties gewonnen.

### 6.2 Historische Productie

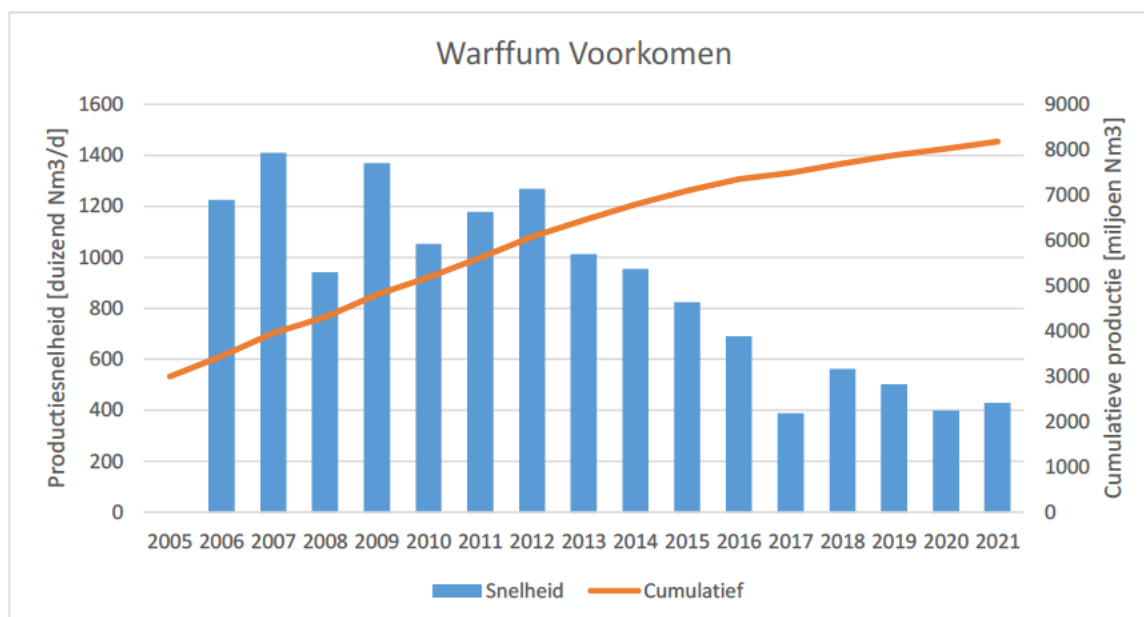
Tabel 6-1 geeft de historische productie getalsmatig weer en Figuur 6-1 geeft de productiesnelheid (staafdiagram) en cumulatieve productie (lijn) grafisch weer. Door de installatie van een offgas-compressor op de Warffum locatie is de productie in 2006 hervat na een lange periode van insluiting.

Tabel 6-1: Historische productie per voorkomen per jaar.

| Productie<br>[miljoen<br>Nm <sup>3</sup> ] | Historische<br>productie<br>t/m 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 |
|--------------------------------------------|--------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Warffum                                    | 2995                                 | 0    | 447  | 514  | 345  | 500  | 384  | 430  | 464  | 370  | 349  |

| Productie<br>[miljoen<br>Nm <sup>3</sup> ] | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | Historische<br>productie t/m<br>2021 |
|--------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|--------------------------------------|
| Warffum                                    | 300  | 252  | 142  | 205  | 183  | 145  | 156  | 8183                                 |



Figuur 6-1: Historische productiesnelheid en cumulatieve productie.

Vanaf 2013 produceert de put Warffum-2 (WRF-2) maximaal en is een natuurlijk verval in productiesnelheid te zien als gevolg van de dalende reservoirdruk. Door het koppelen van de Warffum locatie als satelliet aan de Grijskerk productie-installatie (GDF) in 2021 is de WRF-2 putdruk verlaagd en kan de productie worden verlengd.

### 6.3 Onzekerheden

De onzekerheid van toekomstige productie van het Warffum gasveld 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 WRF-2 put nodig heeft om stabiel te produceren.

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

### 6.4 Winningsstrategie, waterinjectie & reservoir management

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. Er wordt geen injectie in het Warffum voorkomen toegepast. Het gas wordt zodanig gewonnen dat de faciliteiten optimaal worden benut.

In navolgend overzicht (Tabel 6-2) wordt de verwachte totale gaswinning gegeven. De "Dynamische 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.

Tabel 6-2: Verwachte totale winning en winningspercentage.

| <i>Dynamische GIIP</i><br>[miljoen Nm <sup>3</sup> ] | <i>Totale winning tot eind 2021</i><br>[miljoen Nm <sup>3</sup> ] | <i>Verwachte totale winning (M. scenario)</i><br>[miljoen Nm <sup>3</sup> ] | <i>Maximaal verwachte totale winning (H. scenario)</i><br>[miljoen Nm <sup>3</sup> ] | <i>Winningspercentage (M. scenario)</i> | <i>Maximaal winningspercentage (H. scenario)</i> |
|------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|--------------------------------------------------|
| 13500                                                | 8183                                                              | 9767                                                                        | 10396                                                                                | 72%                                     | 77%                                              |

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.

Indien de productieprestatie van de put vermindert, kan het nodig zijn de verbuizing onderin bij de perforaties schoon te maken of om opnieuw te perforeren.

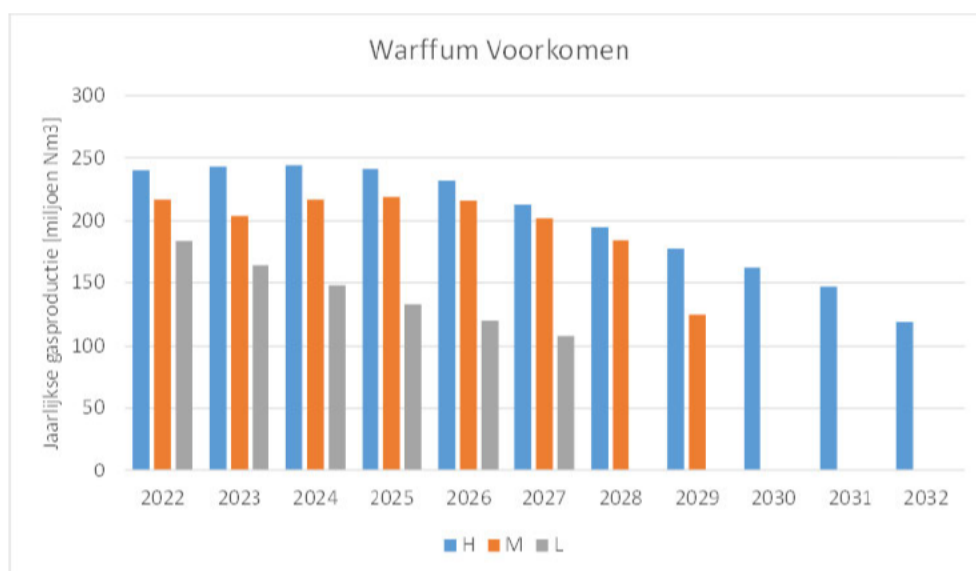
### 6.5 Winningssnelheid (hoeveelheden per voorkomen per jaar)

Deze paragraaf geeft de verwachte productieprofielen van het Warffum voorkomen weer. Er zijn drie productieprofielen gegeven (laag, midden, hoog) om de onzekerheid in tijd en volume aan te geven. Deze profielen zijn indicatief; de productie in de drie profielen geeft aan welke onzekerheid er verwacht wordt in de verdere productie uit het gasveld. De daadwerkelijke gerealiseerde productie zal dus niet precies

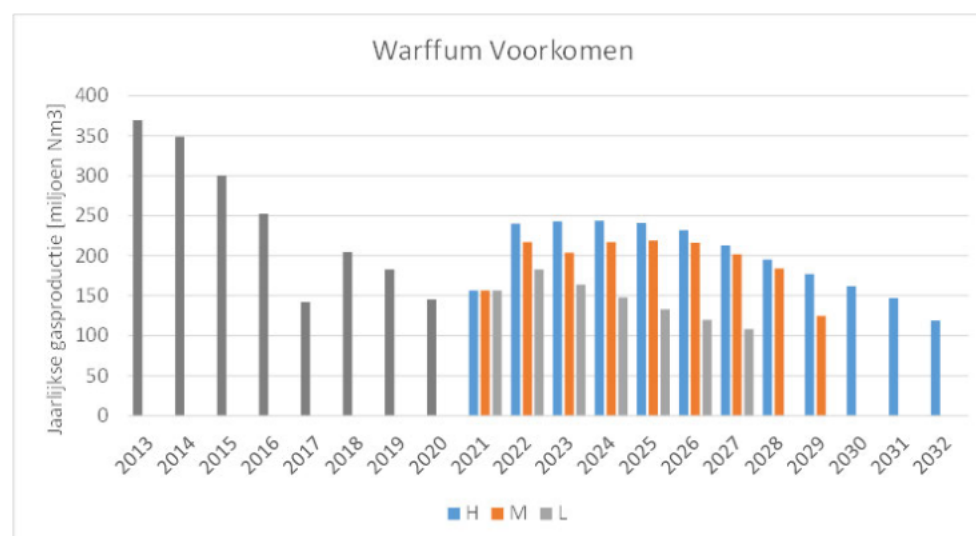
overeenkomen met (één van) de hieronder geschetste profielen in Figuur 6-2 en Tabel 6-3. Echter, de uiteindelijke totale winning zal binnen de maximaal verwachte totale winning (Tabel 6-2) blijven. De verwachte jaarlijkse productie voor het laag scenario (L) is berekend door middel van een zogenaamde decline curve analyse (DCA) en gaat uit van een conservatieve inschatting van de resterende hoeveelheden gas. Het midden en hoog scenario (M, H) zijn gebaseerd op een productievoorspellingsmodel (Integrated Production System Modelling) waarbij is uitgegaan van een midden en hoge inschatting van de resterende hoeveelheden gas.

Tabel 6-3: Verwachte jaarlijkse productie [miljoen Nm<sup>3</sup>].

| Scenario | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 | 2026 | 2027 | 2028 | 2029 | 2030 | 2031 | 2032 |
|----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| H        | 240  | 243  | 244  | 241  | 232  | 213  | 195  | 177  | 162  | 147  | 119  |
| M        | 217  | 204  | 217  | 219  | 216  | 202  | 184  | 125  |      |      |      |
| L        | 183  | 164  | 148  | 133  | 120  | 108  |      |      |      |      |      |



Figuur 6-2: Verwachte jaarlijkse productie.



Figuur 6-3: Verwachte jaarlijkse productie met historische productie vanaf 2013.



## 6.6 Duur van de winning

De productie zal worden gestopt als de totale productiekosten de productieopbrengsten zullen overstijgen. Naar verwachting zal de productie uiterlijk tot 31 december 2032 duren (op basis van het hoog scenario). 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 eigengebruik bij winning

Op de locatie Warffum 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 Nm<sup>3</sup> 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 de Warffum locatie 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 afblazen en affakkelen zo veel mogelijk te beperken.

Op de behandelingslocatie Grijskerk GDF wordt op jaarbasis ca. 0,5 miljoen Nm<sup>3</sup> afgeblazen dan wel afgefakkeld. Deze gegevens zijn gebaseerd op de werkelijke waarden uit 2020 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 Warffum voorkomen, op basis van analyses van gasmonsters.

Tabel 6-4: Overzicht gassamenstelling.

| Gaseigenschap                                                            | Warffum |
|--------------------------------------------------------------------------|---------|
| Initiële gas-condensaat ratio (m <sup>3</sup> /miljoen Nm <sup>3</sup> ) | 19      |
| Condensaatdichtheid (kg/m <sup>3</sup> )                                 | 790     |
| Relatieve gasdichtheid (lucht =1)                                        | 0,66    |
| Gros Heating Value (MJ/Nm <sup>3</sup> )                                 | 36,7    |
| Wobbe (MJ/Nm <sup>3</sup> )                                              | 45,0    |
| C <sub>1</sub> (mol%)                                                    | 80,6    |
| CO <sub>2</sub> (mol%)                                                   | 1,13    |
| H <sub>2</sub> S (mol%)                                                  | 0       |
| N <sub>2</sub> (mol%)                                                    | 12,5    |

Sinds 2014 wordt er met het Warffum aardgas ook in toenemende hoeveelheid formatiewater mee geproduceerd. De daadwerkelijke totale hoeveelheid aardgascondensaat en water die wordt mee geproduceerd varieert tussen de 13-15 duizend m<sup>3</sup> per jaar.

## 7 BODEMDALING

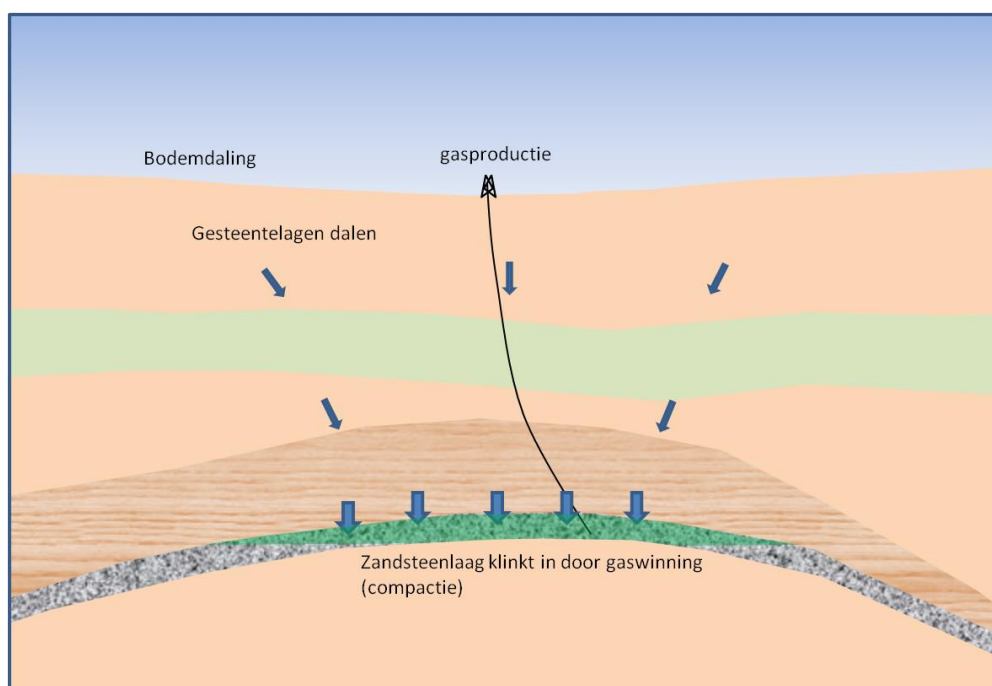
Dit hoofdstuk beschrijft de nog te verwachten bodemdaling door toekomstige productie. De bodemdalingsprognose van dit winningsplan laat zien dat de nog te verwachten bodemdaling boven het Warffum voorkomen door gasproductie minder dan 6 cm bedraagt vanaf 1 januari 2022.

### 7.1 Inleiding: hoe komt bodemdaling tot stand

In het Warffum 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 0,4 % 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 Warffum 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. Hierbij zal de oppervlakte van de kom groter 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.



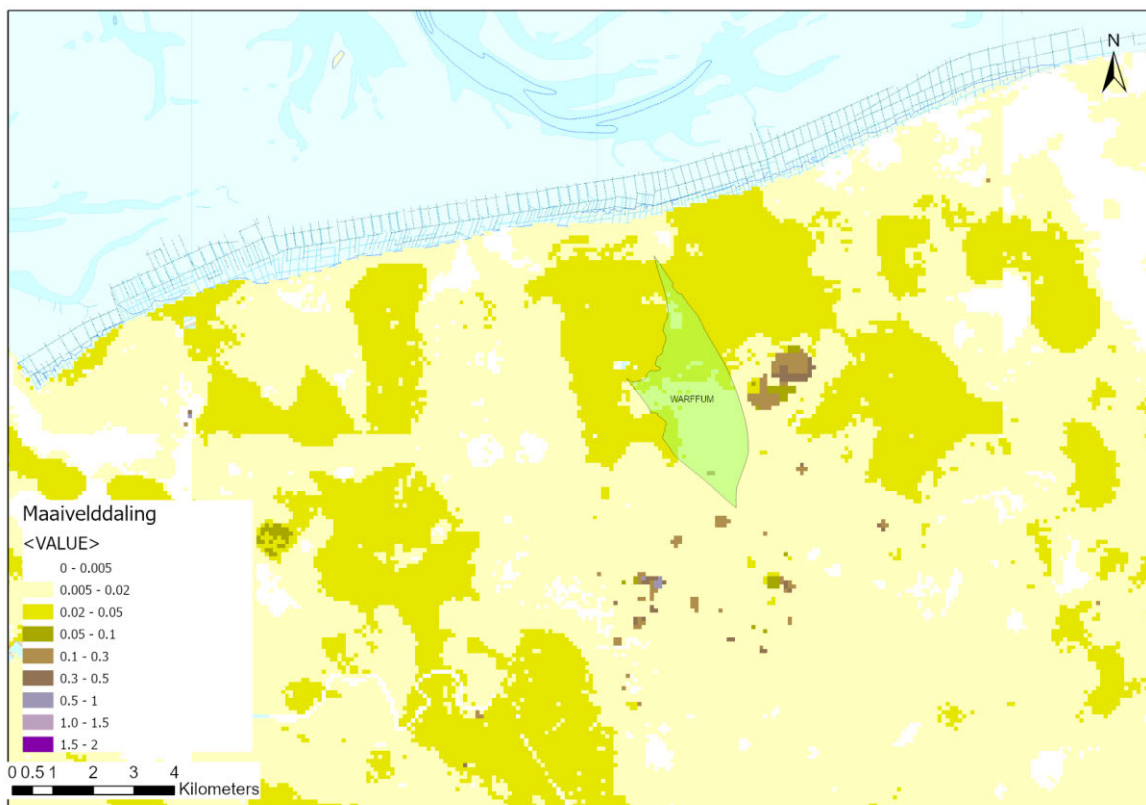
Figuur 7-1: Drukdaling in het reservoir zal leiden tot (beperkte) bodemdaling. (Let op: figuur niet op schaal.)

### **Bodemdaling door natuurlijke processen**

Naast de bodemdaling ten gevolge van gaswinning zijn er ook andere oorzaken die leiden tot bodemdaling, samengevat onder de term autonome bodemdaling. Dit kan natuurlijke bodemdaling zijn of bodemdaling door drainage van veen- en kleigebieden. Veenoxidatie en veen/klei inklinking zijn de twee meest voorkomende oorzaken van autonome bodemdaling. De mate van autonome daling kan worden bepaald aan de hand van metingen en/of modelvoorspellingen. In deze modellen wordt oxidatie en inklinking berekend waarbij gebruik wordt gemaakt van laboratoriumgegevens en het voorkomen van bepaalde grondsoorten in de ondiepe ondergrond. Tegelijkertijd worden deze modellen gevalideerd en gekalibreerd door bodemdalingsmetingen.

Voorspellingen van autonome bodemdaling gaan uit van bepaalde grondwaterscenario's. Dit zijn aannames over het toekomstig waterpeilbeheer door de waterschappen. Figuur 7-2 toont een voorspelling voor de autonome daling in het betreffende gebied voor de periode 2000-2050 (Deltares en PBL<sup>1</sup>, 2011, Hopman et al. 2013<sup>2</sup>). 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 in dit gebied op basis van deze aannames gering is voor de periode 2000-2050 direct boven het gasveld Warffum. Net ten zuiden en ten oosten van het voorkomen liggen gebieden waar een maximale autonome daling tot een halve meter mogelijk is.



Figuur 7-2: Maaiveldaling (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.

## 7.2 Bodemdalingsmodel & historische bodemdaling

### Metten 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, vaak aangevuld met GNSS (GPS)-metingen op specifieke locaties. 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'<sup>3</sup> 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.

De bodemdaling wordt in dit gebied sinds 1972 met een minimale frequentie van 5 jaar gemeten. De meest recente bodemdalingsmeting in dit gebied heeft plaatsgevonden in het jaar 2018. De gemeten daling is weergegeven naast de punten ("peilmerken") in Figuur 7-3. De reden dat er bij veel punten geen waarde staat is dat het punt in één van de jaren (1972 of 2018) niet gemeten is, maar wel in tussenliggende jaren. Bij het kalibreren van het bodemdalingsmodel worden vanzelfsprekend alle metingen gebruikt.

De contourlijnen in Figuur 7-3 tonen de bodemdaling die door het model is berekend. Hierbij wordt geconcludeerd dat het model redelijk past bij de metingen die representatief lijken voor de bodemdaling door gaswinning. Ook buiten de contouren van het veld wordt de bodemdaling gemeten. Voor een aantal punten (bijvoorbeeld 7,9 cm op de dijk t.o.v. 3,7 cm op het punt direct ten westen hiervan) is de gemeten waarde duidelijk hoger dan de gemeten waarde in de naburige punten. Deze relatief hogere waarde duidt op een significante bijdrage van autonome daling.

### Berekenen van bodemdaling

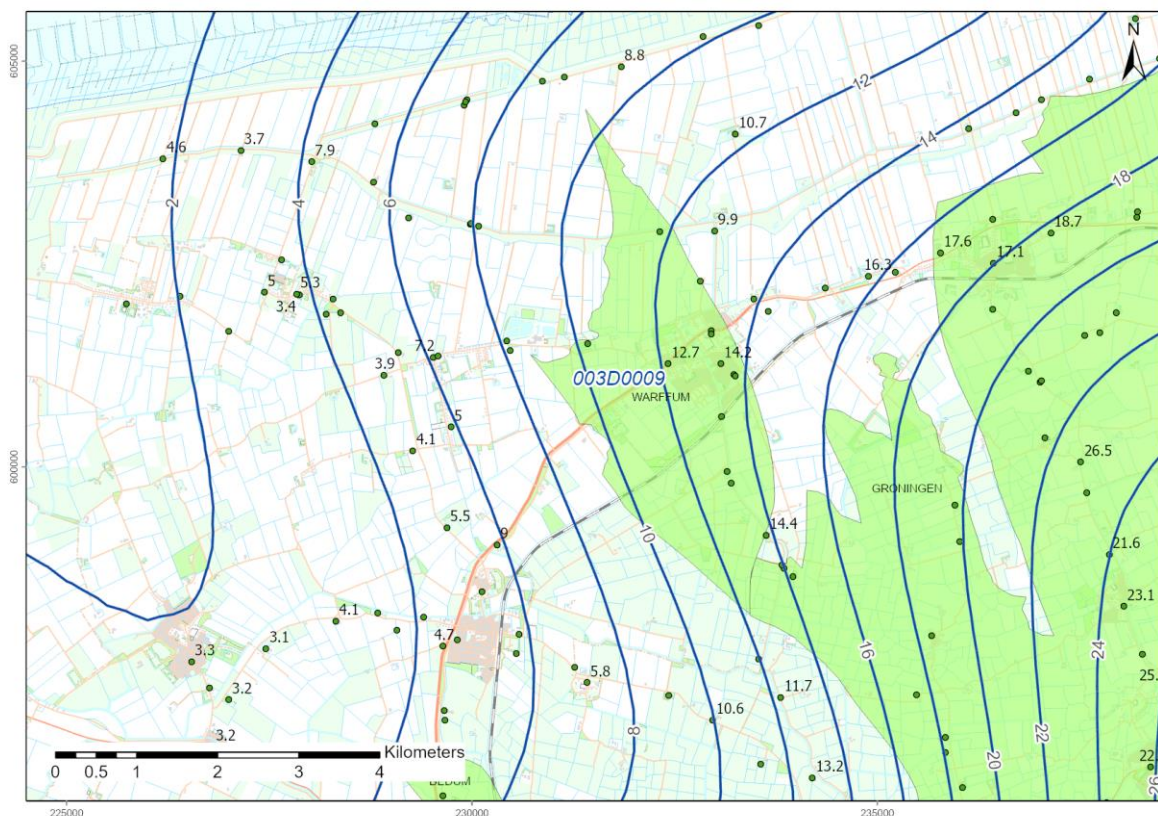
De bodemdaling wordt berekend met behulp van informatie van de ondergrond, zoals dikte, drukdaling, grootte en de compressibiliteit of samendrukbaarheid van het gesteente (zie inleiding). Meer specifiek worden de compactie en bodemdaling voor Warffum berekend volgens het geomechanische model dat ook gebruikt is in het Statusrapport 2020<sup>4</sup>. Een gedetailleerde beschrijving van de toepassing van dit model op het gebied in dit Warffum winningsplan is terug te vinden in Bijlage A. De berekening van de onzekerheid is eveneens terug te vinden in Bijlage A.

De gemodelleerde bodemdaling voor de periode 1972-2018 is boven het Warffum veld maximaal 14 cm, getoond in Figuur 7-3. Deze bodemdaling wordt voornamelijk veroorzaakt door de productie uit het naburige Groningen veld.

<sup>3</sup><https://www.tcbb.nl/file/download/57087366/Industrieleidraad%20Geodetische%20basis%20voor%20mijnbouw%20-%20V1.pdf>

<sup>4</sup> NAM (2020) Bodemdaling door Aardgaswinning, NAM-gasvelden in Groningen, Friesland en het noorden van Drenthe. EP202011201629. <https://nam-onderzoeksrapporten.data-app.nl/reports/download/bodemdaling/nl/aa0e05c7-704a-4f9f-a02c-ea7ece904905>

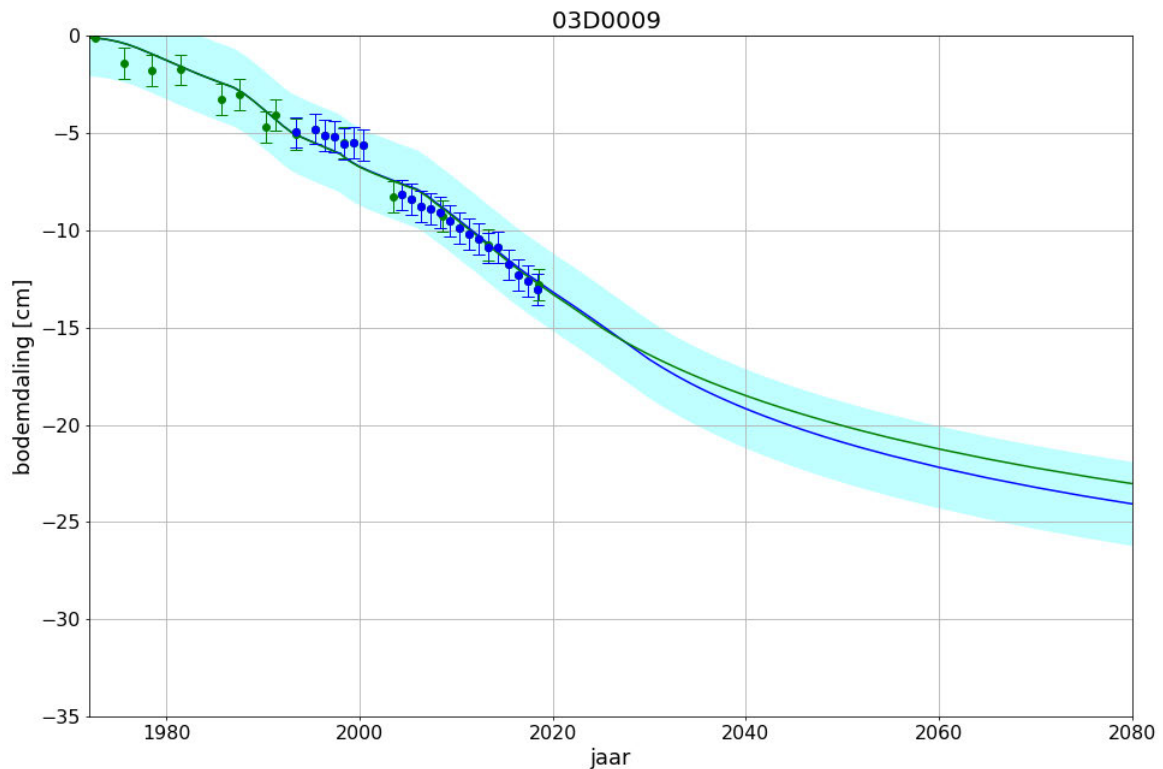




Figuur 7-3: In 2018 gemeten bodemdaling sinds de nulmeting in 1972 weergegeven op de peilmerken (punten). De contouren geven de gemodelleerde bodemdaling in cm. De bodemdaling in tijd voor de het punt 003D0009 wordt getoond in Figuur 7-4.

Om inzicht te verkrijgen over de kwaliteit van het model ten opzichte van historische metingen is boven het Warffum gasveld het meetpunt 003D0009 geselecteerd waar meerdere keren in de tijd bodemdaling is gemeten (Figuur 7-4). Bij deze metingen is (conservatief) aangenomen dat de gemeten waarden alleen verklaard kunnen worden door bodemdaling door gaswinning. Tevens laat Figuur 7-4 de nog te verwachten totale bodemdaling door gasproductie zien. In dit figuur is ook de bodemdaling weergegeven volgens de productie zoals beschreven in het vigerende winningsplan (groene lijn). Hierin is te zien dat de additionele bodemdaling ten gevolge van de nieuwe ontwikkelingen tussen de 1 en 2 cm ligt.

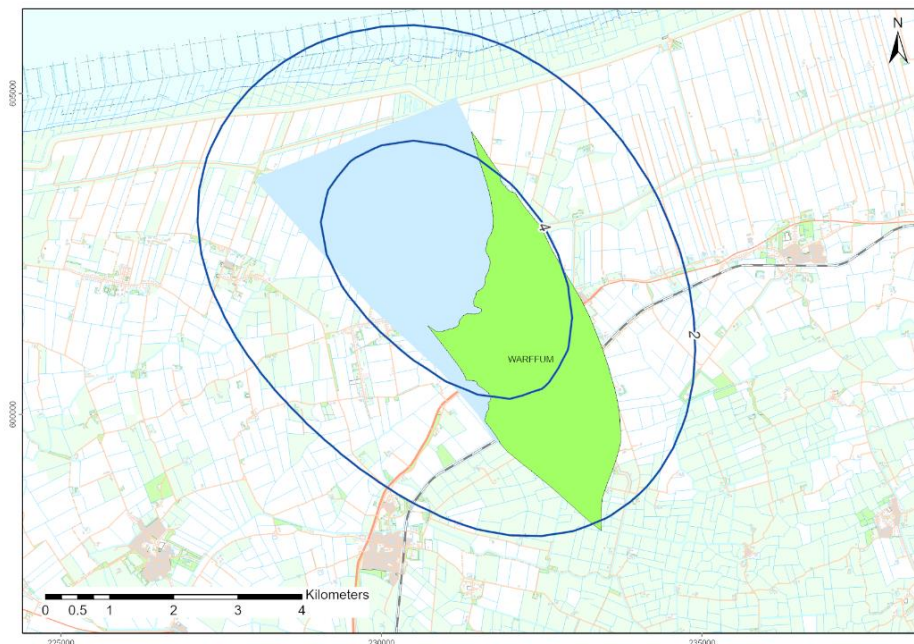




Figuur 7-4: Vergelijking van gemeten met behulp van waterpassing (groen) en Insar (blauw) en berekende bodemdaling (blauwe lijn) voor het peilmerk 03D009 boven het Warffum gasveld. De locatie van het peilmerk 03D009 is aangegeven in Figuur 7-3. De meetonzekerheid in de metingen (gekozen als twee standaarddeviaties) bedraagt 8 mm per meetpunt. De blauwe lijn toont de voorspelde bodemdaling op deze locatie, met de onzekerheid (lichtblauwe gebied) op de uiteindelijke bodemdaling (minimale onzekerheid voor de voorspelling is 2 cm). De groene lijn laat de bodemdaling zien volgens de productie zoals beschreven in het vigerende winningsplan, waarin is uitgegaan dat de productie in 2025 stopt.

### 7.3 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 Warffum voorkomen opgesteld. Naast de drukdaling in het gasveld kan er ook drukdaling ontstaan in de aangrenzende delen van de reservoirlaag die watervoerend zijn, de zogenaamde laterale aquifers, weergegeven in blauw in Figuur 7-5. Ook deze delen van de reservoirlaag zullen bij drukdaling gaan compacteren en daardoor bijdragen aan de bodemdaling. De drukdaling in deze aquifers volgt uit berekeningen met het reservoir-simulatiemodel en is meegenomen in de berekeningen van de bodemdaling. De toekomstige bodemdaling door gaswinning in dit gebied wordt weergegeven in Figuur 7-5. De nog te verwachten bodemdaling als gevolg van gaswinning uit het voorkomen Warffum is minder dan 6 cm aan het einde van de gasproductie.



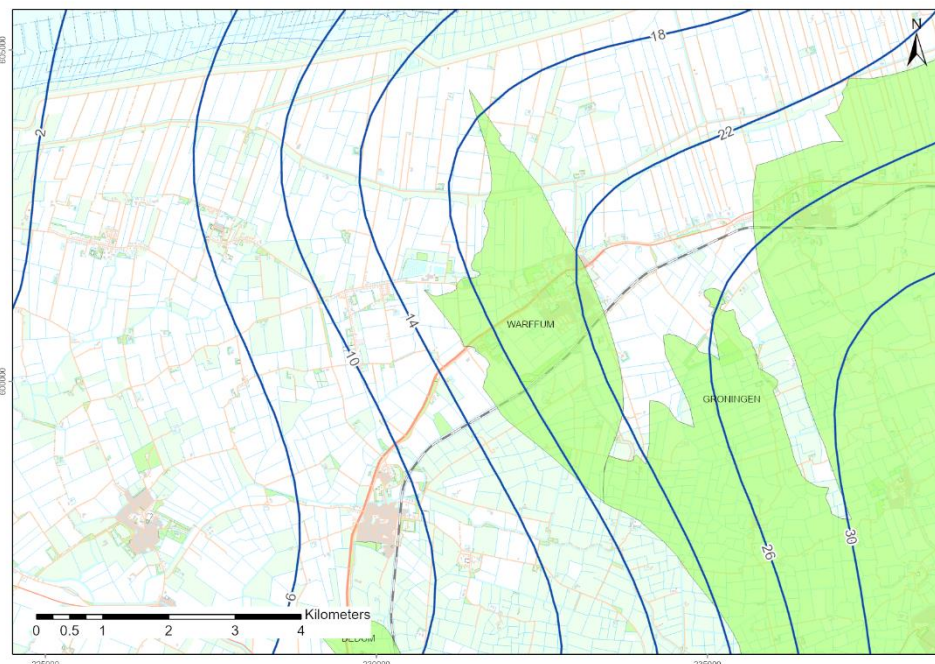
Figuur 7-5: De nog te verwachten bodemdaling (2022 – 2080) veroorzaakt door de gasproductie uit het Warffum voorkomen. In dit figuur zijn de contouren om de 2 cm getoond. Dit betekent dat de bodemdaling in het midden van de bodemdalingsskom door gaswinning uit het Warffum voorkomen minder dan 6 cm bedraagt. Het gasvoerend gedeelte van het veld is aangegeven in groen en het watervoerend gedeelte in blauw.

Figuur 7-6 toont de uiteindelijke *totale* bodemdaling door gaswinning vanaf de start van de gaswinningen in het gebied voor het jaar 2030. Figuur 7-7 en Figuur 7-8 geven de bodemdaling weer na afloop van de gasproductie beschreven in dit winningsplan voor respectievelijk de jaren 2050 en 2080. De totale bodemdaling door gaswinning uit alle velden rond en inclusief het Warffum voorkomen is in 2080 tussen de 18 en 26 cm boven en in de nabijheid van het Warffum voorkomen. Een groot gedeelte van deze bodemdaling wordt veroorzaakt door het Groningenveld.

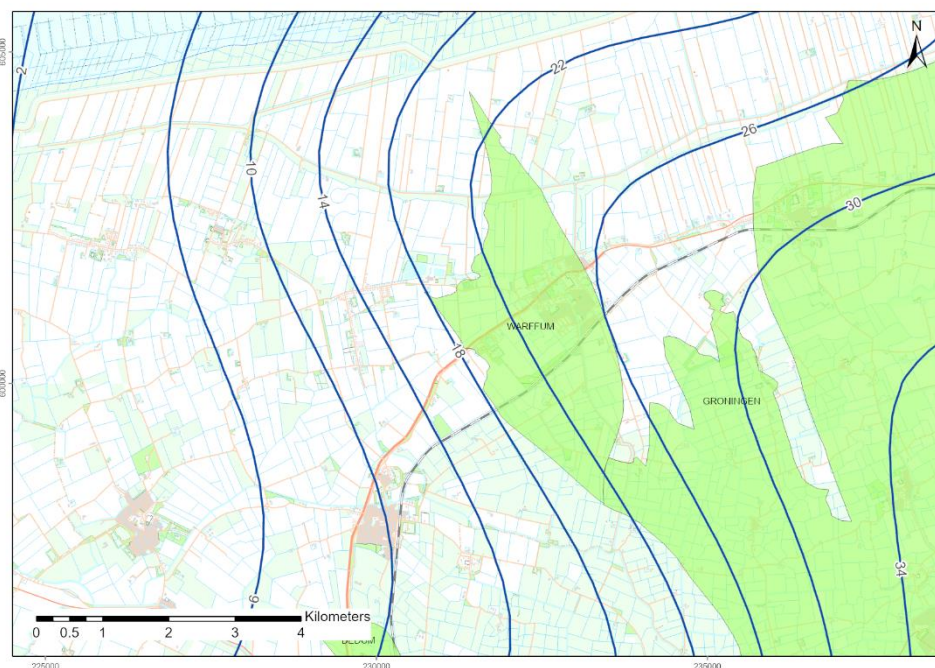


Figuur 7-6: Voorspelling van de totale bodemdaling door gaswinning in 2030. De contourlijnen geven de bodemdaling in cm aan.





Figuur 7-7: Voorspelling van de totale bodemdaling door gaswinning in 2050. De contourlijnen geven de bodemdaling in cm aan.



Figuur 7-8: Voorspelling van de totale bodemdaling door gaswinning in 2080. De contourlijnen geven de bodemdaling in cm aan.

De contouren die gepresenteerd zijn in de voorgaande figuren zijn gelijk aan de contouren van de bodemdaling zoals getoond in het statusrapport 2020<sup>5</sup>. Bij het voorspellen van de bodemdaling in het statusrapport is al rekening gehouden met het productieprofiel zoals beschreven in dit winningsplan.

<sup>5</sup> <https://nam-onderzoeksrapporten.data-app.nl/reports/download/bodemdaling/nl/aa0e05c7-704a-4f9f-a02c-ea7ece904905>

## 7.4 Onzekerheid in verwachte bodemdaling

In winningsplannen wordt in de onzekerheid van de bodemdalingsprognose ook rekening gehouden met de onzekerheid voor de drukdaling als gevolg van de verschillende productiescenario's. Bijlage A van dit winningsplan geeft een overzicht van de kentallen die gebruikt zijn in de berekening van de bodemdaling.

De verwachting is dat de toekomstige bodemdaling kleiner is dan 6 cm. Deze bijlage beschrijft ook de onzekerheidsanalyse voor deze bodemdalingsprognose. Bijlage A laat zien dat de bovengrens van de toekomstige bodemdaling veroorzaakt door de toekomstige productie uit het Warffum voorkomen maximaal 8 cm zal zijn.

## 7.5 Mogelijke gevolgen van de verwachte bodemdaling

Bodemdaling door gaswinning manifesteert zich aan de oppervlakte in de vorm van een platte, zeer gelijkmatige schotel. Die schotel veroorzaakt een zeer geringe helling van maximaal een paar centimeter over een kilometer afstand aan het maaiveld. Zoals in Bijlage A, Tabel A-1 is aangegeven, bedraagt de nog te verwachten bodemdaling door gaswinning uit de in dit winningsplan beschreven gasveld minder dan 6 cm over een periode van ongeveer 60 jaar. Echter de bodemdaling boven Warffum is groter door de nabijheid van het Groningen gasveld. De verwachte cumulatieve bodemdaling boven de contour van het gasveld is maximaal 26 cm in 2080.

Bodemdaling is een geleidelijk en gelijkmatig proces. Hierdoor is de resulterende vervorming (zoals scheefstand, kromming en horizontale rek) van de bovengrond zeer klein. Om deze reden wordt er geen directe schade aan gebouwen/bouwwerken en infrastructuur verwacht. Ter onderbouwing van deze verwachting 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" en meer recente rapporten die mogelijke oorzaken van schade beschrijven boven de Norg UGS en Groningen. Genoemde rapporten bevestigen dit beeld<sup>6</sup>.

Bodemdaling heeft daarentegen gevolgen voor het normale beheer en het onderhoud van waterkeringen en waterlopen. Voor zover waterbeheer onvermijdelijk te maken meerkosten met zich meebrengt die voor vergoeding in aanmerking komen, dan vergoedt de NAM die schade. Voor dergelijke vergoedingen is ruim dertig jaar geleden, in gezamenlijkheid met de Provincie Groningen en het Rijk, een bodemdalingfonds opgezet. Betalingen uit dit fonds worden nader beschreven in paragraaf 7.6 en overzien door de onafhankelijke Commissie Bodemdaling.

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

Om de gevolgen van bodemdaling te beperken zijn maatregelen noodzakelijk die met name (maar niet uitsluitend) worden genomen in verband met waterbeheer. Om een vergoedingsregeling te treffen voor de kosten die voortvloeien uit bodemdaling, werd op 31 augustus 1983 de overeenkomst Provincie Groningen - NAM "inzake de regeling vergoeding kosten bodemdaling aardgaswinning" aangegaan. Deze overeenkomst voorzag ook in de installatie op 9 maart 1984 van de gelijknamige Commissie Bodemdaling door Aardgaswinning. De Commissie heeft tot taak vast te stellen welke maatregelen aan te merken zijn als redelijkerwijs mogelijk of noodzakelijk om nadelige effecten van bodemdaling door aardgaswinning te voorkomen, te beperken of anderszins tegen te gaan. Ook beoordeelt de Commissie welke kosten de NAM

<sup>6</sup> [Rapport diepe bodemdaling en stijging gepubliceerd \(schadedoormijnbouw.nl\)](https://schadedoormijnbouw.nl)

op grond van de overeenkomst dient te vergoeden. Ook particulieren kunnen van deze regeling gebruikmaken, hoewel de mitigatie van schade via een goed waterbeheer de primaire vergoedingslijn is.

### ***Maatregelen binnendijs***

Het binnendijs gebied kent een kunstmatig waterbeheer en de meeste effecten van bodemdaling door gaswinning kunnen dan ook opgevangen worden binnen dat beheer. Ter voorkoming of beperking van de effecten zijn de volgende maatregelen denkbaar: peilverlaging, dijk-, kade- en oeververhoging, inpoldering, verstuwning in de randgebieden en aanpassingen in het afwateringssysteem. Op dit moment zijn tal van bouwkundige en civiele maatregelen genomen waarvan de NAM de kosten heeft vergoed.

Deze maatregelen zijn met name genomen voor de aanpassing en uitvoering van waterstaatkundige werken die schade door bodemdaling als gevolg van gaswinning beperken, voorkomen of herstellen. In het gebied zijn diverse werken uitgevoerd zoals de bouw en aanpassing van gemalen, sluizen, stuwen, waterkeringen en andere voorzieningen die de waterhuishouding reguleren. Eventuele knelpunten in de waterhuishouding en andere waterstaatkundige werken worden nader gesignaleerd en onderzocht door de beheerders en onderhoudsplichtigen van die werken.

### ***Maatregelen buitendijs***

Bodemdaling heeft, tezamen met zeespiegelrijzing, gevolgen voor de instandhouding van kwelders en kwelderwerken langs de noordkust van Groningen. Het beleid van het Rijk is erop gericht de ongeveer 1.250 ha kwelders in stand te houden. Deze kwelderwerken (voorheen landaanwinningswerken) bestaan uit diverse maatregelen waaronder te plaatsen, te verhogen of te handhaven palen en rijshouten dammen en andere vooroeverbeschermingsmaatregelen. Hiermee wordt de verwachte schade aan kwelders en kwelderwerken voorkomen en loopt het areaal niet terug.

De maatregelen worden getroffen door of in opdracht van Rijkswaterstaat. De hiervoor te maken kosten worden aangemerkt als kosten van maatregelen die voortvloeien uit door gaswinning veroorzaakte bodemdaling. De genoemde Commissie Bodemdaling heeft hierover in 1995 reeds een beslissing genomen en fondsen beschikbaar gesteld. Tevens is hiervoor een afzonderlijke Begeleidingscommissie ingesteld.



## 8 BODEMTRILLING

Dit hoofdstuk gaat in op de seismische risicoanalyse. Gaswinning uit Warffum heeft in het verleden geleid tot een lichte aardbeving. Naast mogelijke bevingen door de winning van Warffum kunnen in dit gebied ook trillingen voorkomen die het gevolg zijn van (grotere) aardbevingen uit het Groningen veld. De productie uit het Groningen Gasveld wordt snel afgebouwd. Deze versnelde afbouw maakt dat naar verwachting dat de aardbevingen, zowel in frequentie als magnitude, ook minder worden in de komende jaren.

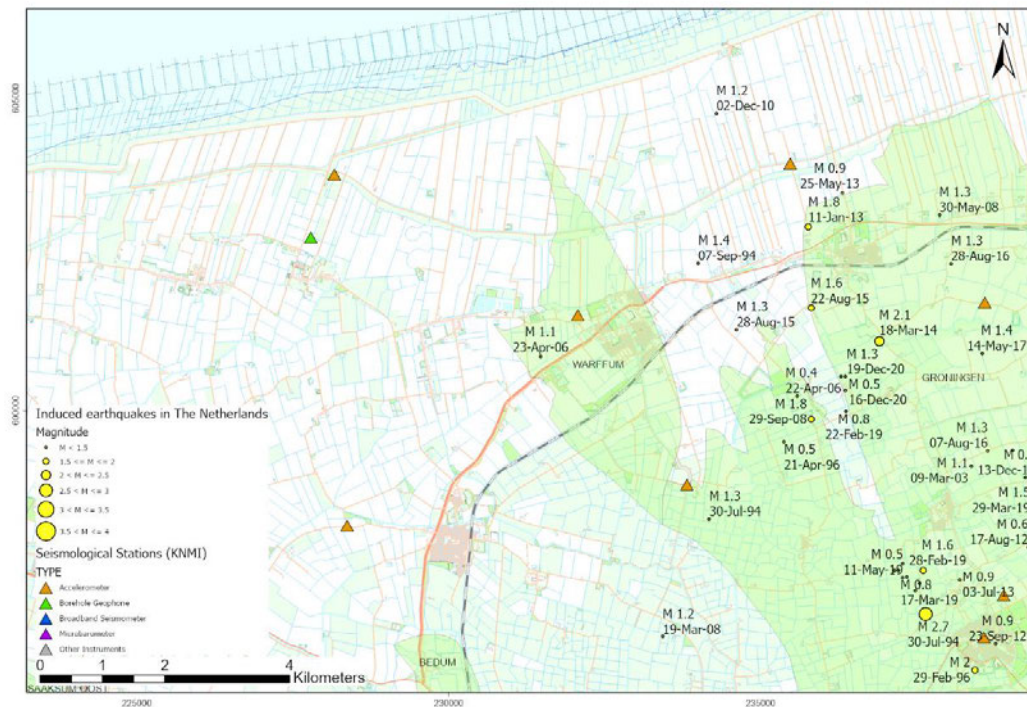
De seismische risicoanalyse laat zien dat het Warffum voorkomen in categorie II valt. Hieronder wordt uiteengezet hoe deze categorisering tot stand is gekomen en wat dit betekent in termen van reëel seismisch risico.

### ***8.1 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 Warffum 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 Warffum veld***

Boven het voorkomen Warffum heeft zich in het verleden één beving plaatsgevonden. Deze had een magnitude 1,1 en heeft plaatsgevonden bij Warffum op 23 april 2006. Figuur 8-1 geeft deze observatie weer op een kaart. De overige bevingen zijn veroorzaakt door de gaswinning uit Groningen. Sommige van deze bevingen liggen buiten de contour van het Groningen gasveld en zijn waarschijnlijk veroorzaakt door de drukdaling in de aangrenzende watervoerende lagen van het Groningen veld.



Figuur 8-1: Historische bevingen boven het Warffum voorkomen en het noordwestelijke deel van het Groningen veld. De getallen naast de markers geven magnitude en datum weer (in het format dd-mmm-jjj).

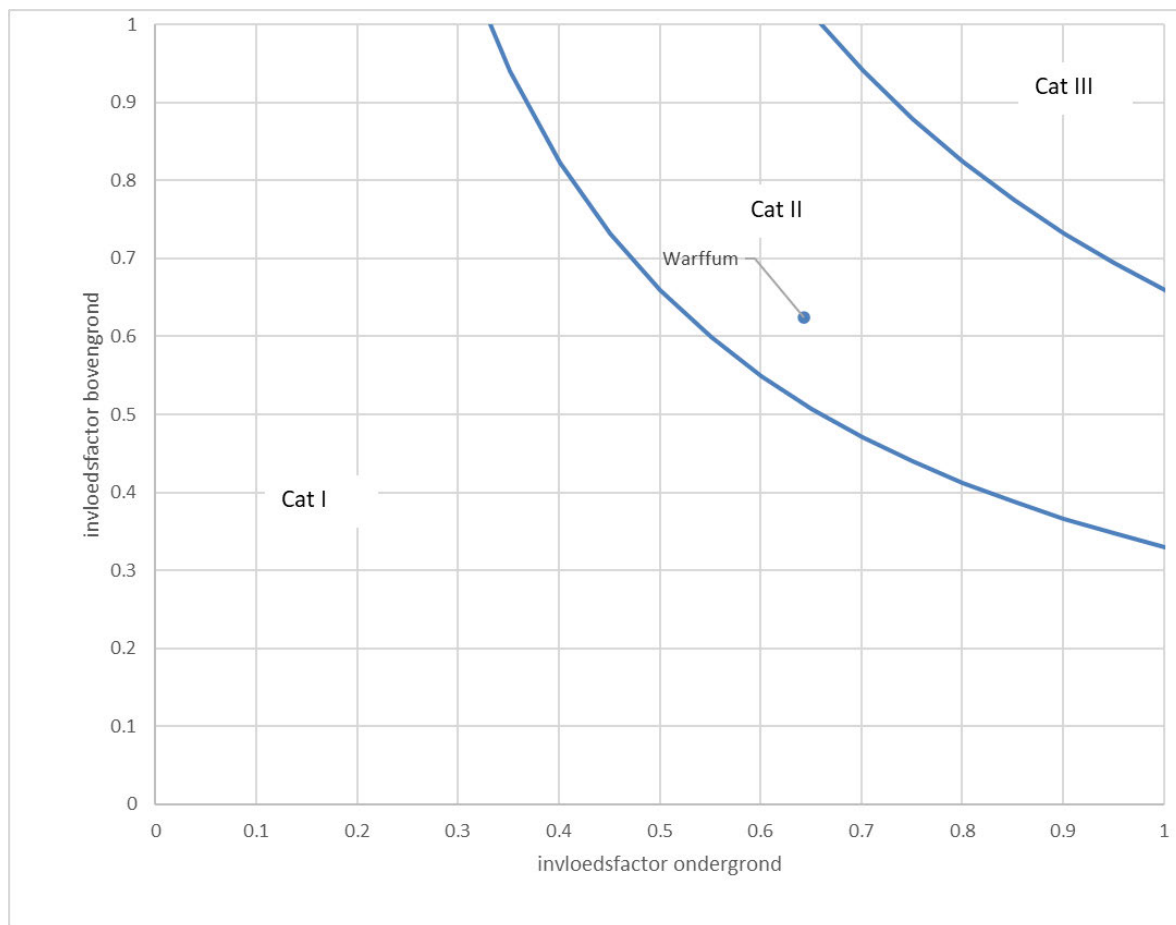
### 8.3 Algemeen kader voor Seismische Risico Analyse

In 2016 heeft SodM een tijdelijke richtlijn voor Seismische Risico Analyse (SRA) gepubliceerd<sup>7</sup>. De SRA gaat uit van het stappenplan zoals getoond in Figuur B-2. Bij het schema zijn twee parameters belangrijk:

- De kans op een beving ( $M \geq 1$ ) door olie- en 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. Figuur 8-2 toont de positie van Warffum in de risicomatrix. Warffum valt volgens de risicomatrix in risicocategorie II.

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



Figuur 8-2: Seismisch risico gepresenteerd in de seismische risicomatrix.

De leidraad van SodM schrijft additionele eisen voor indien voorkomens in categorie 2 vallen:

- Duiding van de uitkomst van de risicomatrix analyse (Mbw 34.g en Mbb. 24.1.q)
- Monitoring met een minimale cataloguscompleteit in de omgeving van het veld van magnitude 1,5
- Monitoring in de omgeving van het veld aanvullen met accelerometers op de geofoonlocaties,
- Implementeren van een generiek seismisch-risicobeheersplan.

De volgende paragrafen geven invulling aan deze eisen.

## 8.4 Mogelijke gevolgen van bevingen ten gevolge van gaswinning uit Warffum

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

Al in 1998 heeft KNMI beschreven wat de te verwachten intensiteit is bij het optreden van een geïnduceerde aardbeving volgens de Europese Macroseismische Schaal. Deze analyse toonde (kwalitatief) aan dat in het ernstigste geval in de nabijheid van het voorkomen lichte, niet constructieve schade kan optreden aan meerdere gebouwen en matige schade (bedoeld wordt scheuren in muren tot constructieve

schade in het uiterste geval) aan enkele gebouwen. Dit laatste wordt bevestigd door de resultaten van de seismische hazard studie van TNO-NITG<sup>8</sup>.

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, 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 TNO<sup>9</sup>.

Meer duiding over de mogelijke gevolgen van een beving wordt gegeven in het seismisch risicobeheersplan voor kleine velden dat te vinden is op de NAM-website<sup>10</sup>.

Onderzoek uitgevoerd naar de mogelijke schade aan buisleidingen door potentiële aardbevingen (Deltares 2010, Schade aan buisleiding door aardbeving) toont aan dat mogelijke schade door geïnduceerde aardbevingen klein zal zijn (zowel in mogelijk aantal als ernst). Meer duiding over mogelijke schade wordt gegeven in het risicobeheersplan van NAM<sup>11</sup> (zie ook paragraaf 8.7)

Hoofdstuk 9 beschrijft de mogelijke effecten van bodemtrillingen op de natuur of het milieu.

## 8.5 Monitoring van bodemtrillingen

Boven en in de nabijheid van gasvelden zijn op verschillende dieptes onder het aardoppervlak zogenaamde seismische monitoringstations (geofoons) geïnstalleerd. Deze geofoons staan via een onlineverbinding in contact met het KNMI. Geregistreerde aardbevingen worden automatisch vermeld op de website van KNMI. Na interpretatie van de gegevens stellen specialisten van het KNMI de sterkte en/of locatie van de beving vast.

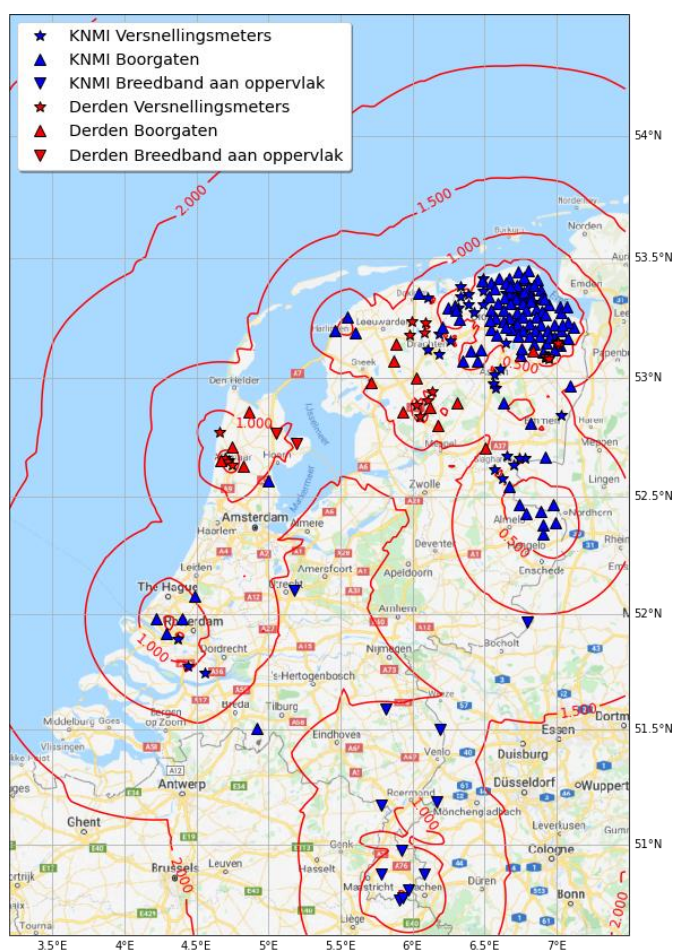
De locatiedrempel is een maat voor de gevoeligheid van het netwerk. Deze drempel geeft de laagste aardbevingsmagnitude waarbij de locatie van de beving nog bepaald kan worden, de beving is dan door ten minste drie monitoringstations waargenomen. Voor het voorkomen Warffum ligt de locatiedrempel lager dan magnitude 0,5. (Figuur 8-3). Hiermee wordt ruim voldaan aan de eis van  $M=1,5$  volgens de leidraad. In Figuur 8-4 zijn ook de locaties van de accelerometers boven Warffum en omgeving te zien. Voor de extra accelerometers boven een categorie 2 veld geldt een straal van 5 km voor elke accelerometer waarmee een netwerk het veld moet afdekken.

<sup>8</sup> Wassing en Dost, 2012, TNO 2012 R11139

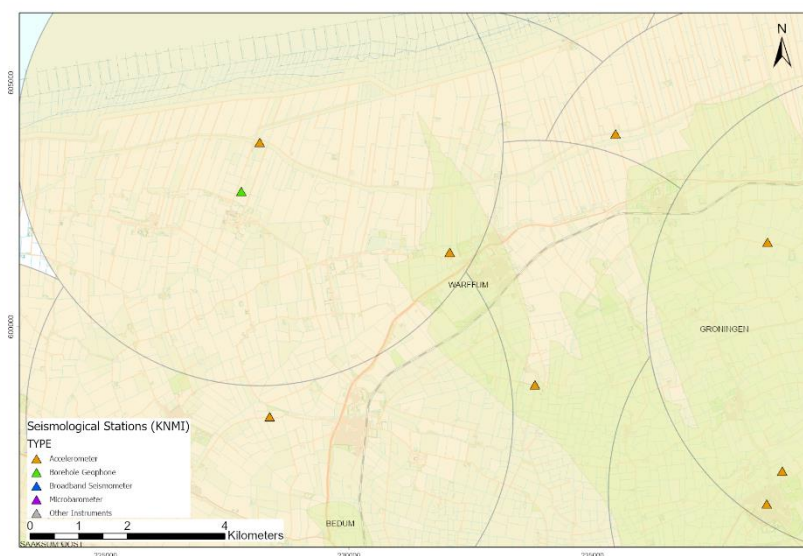
<sup>9</sup> Kalibratiestudie schade door aardbevingen (TNO-rapport, TNO-034-DTM-2009-04435, 11 november 2009).

<sup>10</sup> <https://nam-onderzoeksrapporten.data-app.nl/reports/download/kleine-velden/nl/220febb2-2ff0-413d-9e1a-63bc9f0e3f13>

<sup>11</sup> <https://nam-onderzoeksrapporten.data-app.nl/reports/download/kleine-velden/nl/220febb2-2ff0-413d-9e1a-63bc9f0e3f13>



Figuur 8-3: Overzicht van de locatiedrempel in Nederland (status mei 2021)<sup>12</sup>. De driehoeken geven de locaties aan van de boorgatstations en de sterren van de versnellingsmeters. De omgekeerde driehoeken tonen de breedbandstations.



Figuur 8-4: Versnellingsmeters boven en rondom het Warffum veld.

<sup>12</sup> [KNMI - Seismische meetstations](#)



## 8.6 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. Deze helpt de juiste route te volgen bij het melden van deze mogelijke schades. De Commissie Mijnbouwschade is benoemd door het ministerie van Economische Zaken en Klimaat, en werkt volgens het instellingsbesluit en het schadeprotocol. De commissieleden zijn volledig onafhankelijk en beoordelen de schademeldingen op basis van hun deskundigheid.

De website van de Commissie Mijnbouwschade [www.commissiemijnbouwschade.nl](http://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.

## 8.7 Seismisch risicobeheersplan

Het seismisch risicobeheersplan voor kleine velden is te vinden op de NAM-website<sup>13</sup> en is van toepassing op het voorkomen beschreven in dit winningsplan. Hierin wordt uitgelegd welke acties er worden genomen indien bevingen worden geobserveerd, waarbij gebruik wordt 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 3.

<sup>13</sup> <https://nam-onderzoeksrapporten.data-app.nl/reports/download/kleine-velden/nl/220febb2-2ff0-413d-9e1a-63bc9f0e3f13>

## 9 OVERIGE OMGEVINGSASPECTEN

Dit hoofdstuk beschrijft de effecten van de uitvoering van dit winningsplan op natuur en milieu.

### 9.1 Algemeen

De winning van aardolie en aardgas kan bodembeweging tot gevolg hebben die zich kan uiten als bodemdaling aan het aardoppervlak of bodemtrillingen. Daarnaast kunnen activiteiten op mijnbouwlocaties, zoals boringen of putonderhoud, leiden tot lichtuitstraling, geluidemissies en emissies naar de atmosfeer. De mogelijke gevolgen worden beoordeeld door het bevoegd gezag in het kader van andere vergunningen dan het winningsplan, zoals onderstaand in grote lijnen is weergegeven. In de volgend tabel staat een overzicht van de algemene mogelijke gevolgen en in welke vergunningsprocedure(s) deze worden behandeld.

| Gevolgen m.b.t.                  | Vergunningsprocedure                            |
|----------------------------------|-------------------------------------------------|
| Bodembeweging                    | Winningsplan                                    |
| Bodem-/grondwaterverontreiniging | Omgevingsvergunning milieu                      |
| Luchtverontreiniging (emissies)  | Omgevingsvergunning milieu                      |
| Oppervlaktewaterverontreiniging  | Omgevingsvergunning milieu evt. watervergunning |
| Externe veiligheid               | Omgevingsvergunning milieu                      |
| Natuur                           | Wet natuurbescherming                           |

Het ministerie van Economische Zaken en Klimaat bevordert op grond van artikel 34 lid 7 Mijnbouwwet een doelmatige en samenhangende besluitvorming ten aanzien van het besluit omtrent instemming met het winningsplan en een aantal overige besluiten, waaronder de besluiten zoals genoemd in bovenstaande tabel (coördinatieregeling). De Wet algemene bepalingen omgevingsrecht (Wabo) regelt de omgevingsvergunning. De volgende vergunning is verleend ten behoeve van de uitvoering van het vigerende winningsplan en de verlenging ervan:

| Vergunning         | Wabo omgevingsvergunning                                                                                                                                                                      |
|--------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Verleend           | Revisie; de gehele inrichting omvattend, kenmerk DGKE-WO/21030876 d.d. 5 februari 2021, eerste fase.<br>Bouwen van een bouwwerk, kenmerk DGKE-WO/21034921 d.d. 23 februari 2021, tweede fase. |
| Bodem/grondwater   | ✓                                                                                                                                                                                             |
| Emissies           | ✓                                                                                                                                                                                             |
| Oppervlaktewater   | ✓                                                                                                                                                                                             |
| Externe Veiligheid | ✓                                                                                                                                                                                             |
| Natuur             | n.v.t.                                                                                                                                                                                        |

In het geval van Warffum zijn de benodigde vergunningen al verleend, zodat coördinatie met dit aangepast winningsplan niet meer aan de orde is. De bovengenoemde mogelijke gevolgen zijn al meegenomen in de respectievelijke vergunningsprocedures.

### 9.2 Effecten op natuur en milieu

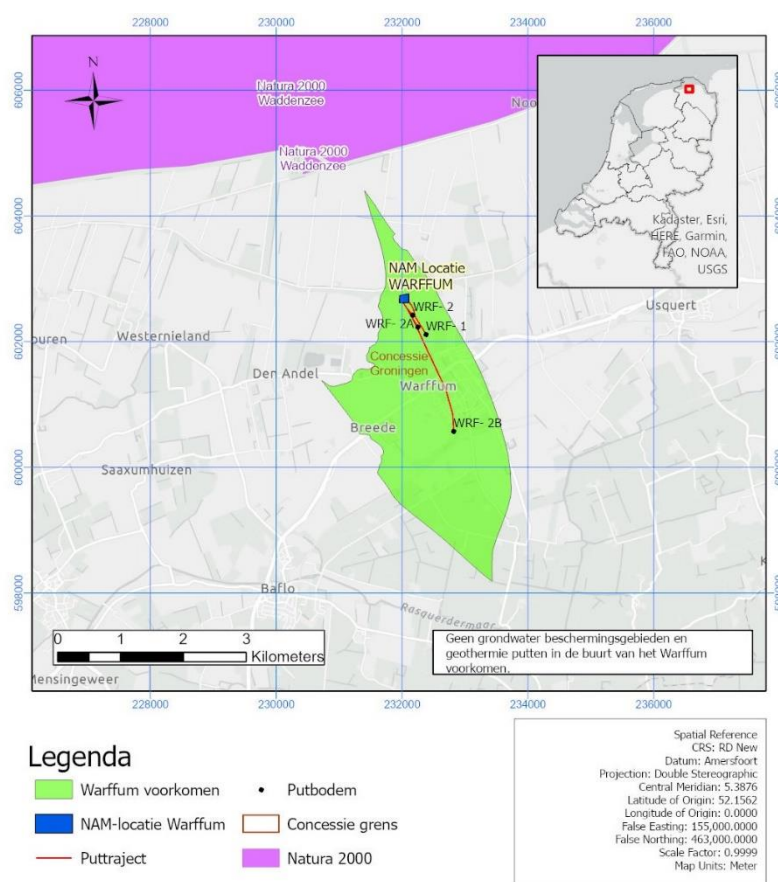
Mijnbouwactiviteiten kunnen effect hebben op beschermde natuurwaarden. Bescherming van natuurgebieden is geregeld in de Wet natuurbescherming (Natura 2000) en provinciale verordeningen

(Natuurnetwerk Nederland, NNN). Indien significante nadelige effecten door mijnbouwactiviteiten op beschermde natuurgebieden niet op voorhand kunnen worden uitgesloten, dienen deze “passend beoordeeld” te worden en dient vaak een vergunning in het kader van de Wet natuurbescherming te worden aangevraagd.

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

### Beschermde natuurgebieden

Het dichtstbijzijnde beschermde natuurgebied is het Natura 2000 gebied ‘Waddenzee’. De Waddenzee is gelegen op ongeveer 2 kilometer afstand van de Warffum locatie. Dit is ook onderdeel van Natuurnetwerk Nederland (NNN).



Figuur 9-1: Regiokaart met plangebied winningsplan Warffum, inclusief dichtstbijzijnde Natura 2000-gebieden (paars). Omringende gasvelden zijn niet getoond.

### Reikwijdte van de effectbeoordeling

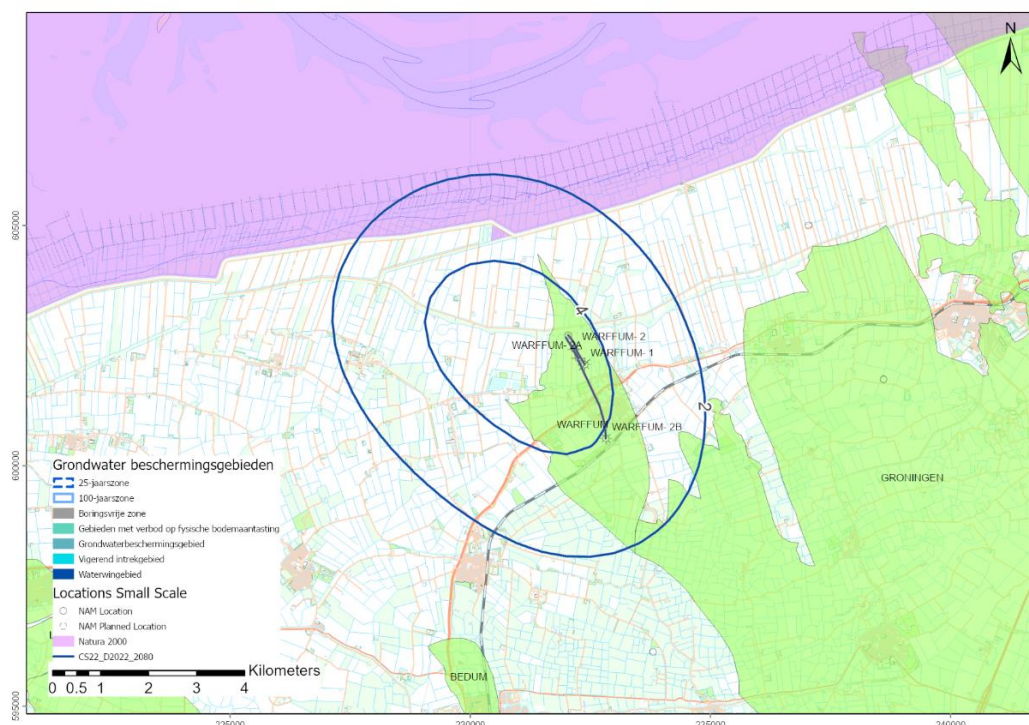
In deze effectbeoordeling wordt gekeken naar mogelijke *indirecte* negatieve effecten op (beschermde) natuurwaarden als gevolg van bodemdaling vanwege gasproductie uit het Warffum voorkomen. Directe effecten van bodemdaling op (beschermde) natuurwaarden zijn niet aan de orde.

Uit de Seismische Risico Analyse die is uitgevoerd voor het Warffum voorkomen volgt dat Warffum een bevend veld is. Effecten van eventuele bodemtrillingen op (beschermde) natuurwaarden zijn niet te verwachten gezien de lage maximale magnitude. Eventuele effecten vanwege bodemtrilling worden derhalve niet nader beschouwd.

Overige mogelijke effecten op (beschermde) natuurwaarden als gevolg van de in dit winningsplan voorgenomen bovengrondse activiteiten zijn beschouwd in het Wabo vergunningentraject en worden in dit hoofdstuk buiten beschouwing gelaten. De formele beoordeling van deze effecten in het kader van de Wet Natuurbescherming vindt plaats voorafgaand aan de uitvoering van deze activiteiten, zodat rekening kan worden gehouden met seizoeninvloed e.d. op de migratie van beschermde soorten en de invloed van bijvoorbeeld stikstofdepositie.

### **Effecten op natuur en milieu vanwege bodemdaling**

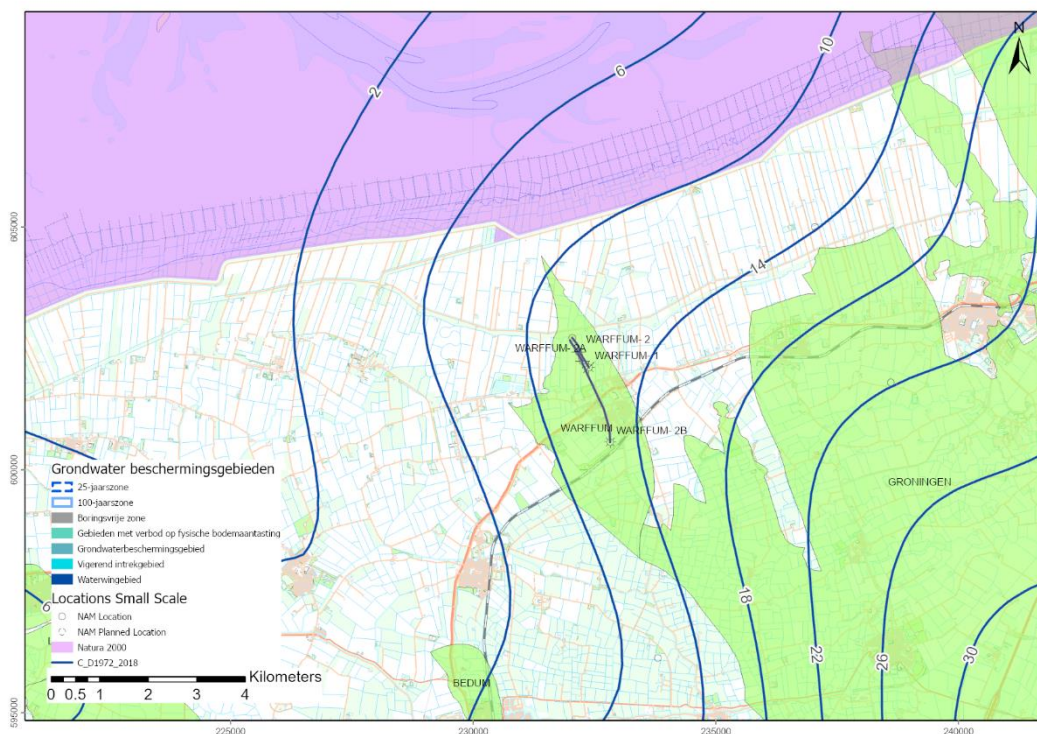
Als gevolg van het winnen van gas uit de ondergrond kan bodemdaling optreden. De voorspelde toekomstige bodemdaling zoals die zal optreden door de gaswinning uit het Warffum gasvoorkomen bedraagt minder dan 6 cm, getoond in Figuur 9-2.



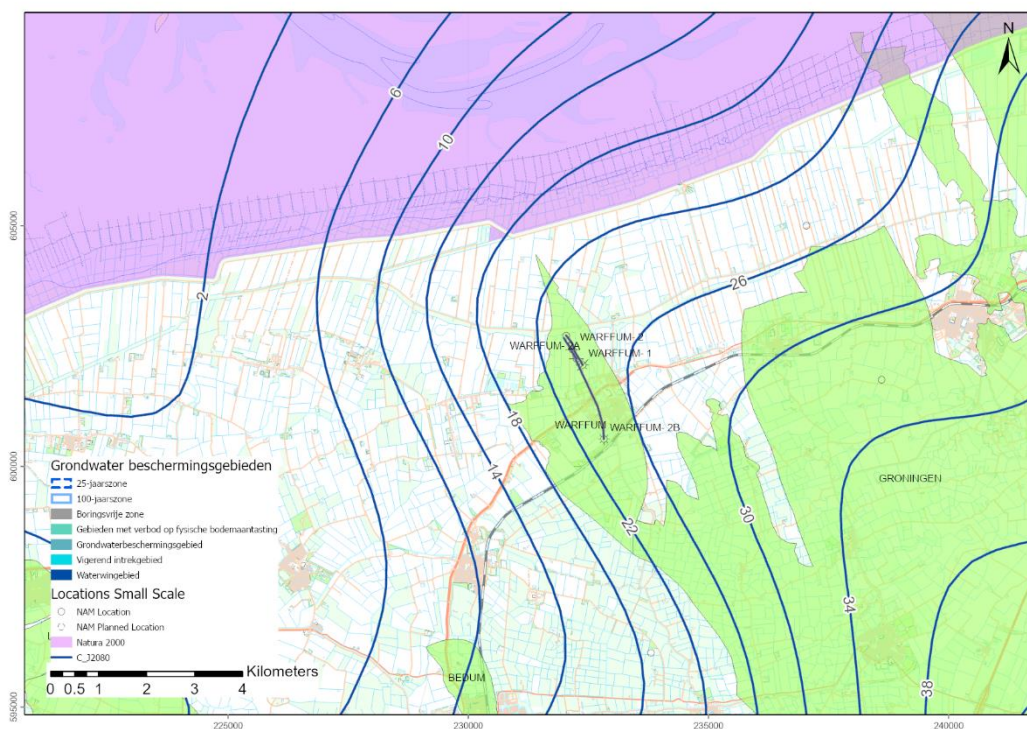
Figuur 9-2: De nog te verwachten bodemdaling (2022 – 2080) veroorzaakt door de gasproductie uit het Warffum voorkomen.

In bovenstaande kaart is de bodemdaling als op zichzelf staand weergegeven, maar in de praktijk treedt de bodemdaling door de gaswinning uit het Warffum voorkomen samen op met de bodemdaling door gaswinningen uit omliggende gasvelden. Figuur 9-3 laat zien welke bodemdaling tot nu toe (peiljaar 2018) heeft plaatsgevonden door alle verschillende gaswinningen samen. De gaswinning uit het Groningen gasveld levert hieraan de grootste bijdrage. De voorspelde toekomstige bodemdaling door alle verschillende gaswinningen samen is opgenomen in Figuur 9-4.





Figuur 9-3: Modellerings van de totale bodemdaling door gaswinning tussen 1972 - 2018. De contourlijnen geven de bodemdaling in cm aan.



Figuur 9-4: Voorspelling van de totale bodemdaling door gaswinning in 2080. De contourlijnen geven de bodemdaling in cm aan.

Er is een analyse uitgevoerd naar de mogelijke effecten van de winning op (beschermde) natuurwaarden. Hierbij is gekeken naar effecten op beschermde gebieden (gebiedsbescherming Wnb en NNN) en



beschermde soorten (soortbescherming Wnb art. 3.5, art. 3.10 en zorgplicht van de Wnb). In de betreffende effectanalyse is de totale toekomstige bodemdaling beschouwd in de omgeving van het Warffum voorkomen.

Uit de analyse blijkt dat er als gevolg van de verlengde wintermijn van het Warffum voorkomen geen effecten op de staat van instandhouding van Natura 2000-gebieden optreden. De bodemdaling als gevolg van de gaswinning wordt buitendijks gecompenseerd door de sedimentatie die optreedt in het gebied. Deze 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. Er hoeft geen NNN-toets/ "nee, tenzij" toets te worden uitgevoerd. Vervolgstappen zijn niet aan de orde.

Uit de analyse blijkt ook dat effecten als gevolg van de gaswinning op binnen het plangebied mogelijk voorkomende, al dan niet vrijgestelde, beschermde soorten op voorhand zijn uit te sluiten. Zodoende zijn geen vervolgstappen in het kader van de Wnb, onderdeel soortbescherming aan de orde en hoeft geen ontheffing aangevraagd te worden.

### ***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 Wet bodembescherming. Gedeputeerde Staten van de provincie zijn hiervoor 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                | Uniaxiale compactie-coëfficiënt; mate van samendrukbaarheid van het gesteente                                                                                                                                          |
| Compactie         | Het samendrukken van het reservoirgesteente als door productie de druk van de vloeistof in de poriën daalt, en onvoldoende tegenwicht geeft aan het gewicht van bovenliggende gesteenten.                              |
| Compressibiliteit | Samendrukbaarheid                                                                                                                                                                                                      |
| Depletie          | Drukdaling door het onttrekken van gas (of olie of water) uit reservoirgesteente                                                                                                                                       |
| EZK               | Ministerie van Economische Zaken en Klimaat                                                                                                                                                                            |
| GIIP              | Volume gas initieel aanwezig in het voorkomen (in Nm <sup>3</sup> )                                                                                                                                                    |
| GPS               | Global Positioning System: systeem voor plaats- en hoogtebepaling met behulp van satellieten                                                                                                                           |
| GWC               | Gas-water contact diepte (in meter onder NAP)                                                                                                                                                                          |
| Kern              | 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 <sup>3</sup>   | Gasvolume in kubieke meter bij 0 °C en 1.01325 bara                                                                                                                                                                    |
| Permeabiliteit    | De mate waarin een (poreuze) vaste stof een andere stof (gas of vloeistof) doorlaat. Indien een materiaal een andere stof niet doorlaat heet het materiaal voor die stof impermeabel.                                  |
| Porositeit        | Verhouding tussen het poriënvolume en het totale volume van het gesteente.                                                                                                                                             |
| RD coördinaat     | Coördinaten in het topografische kaartmateriaal zijn vermeld in het stelsel van de Rijksdriehoeksmeting (RD). De auteursrechten en databankrechten zijn voorbehouden aan de Topografische Dienst Kadaster, Emmen, 2006 |
| SodM              | Staatstoezicht op de Mijnen                                                                                                                                                                                            |
| sm <sup>3</sup>   | Condensaat volume 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                                                                                                                                                |

## BIJLAGE A: BODEMDALING: DETAILS EN ACHTERGRONDEN

Om een inschatting te maken van de onzekerheid over de toekomstige bodemdaling voor de voorkomens in dit winningsplan 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 deze studies wordt gebruikt is het *Rate Type Compaction Model* (RTiCM, waarbij de  $i$  staat voor isotachen) van TNO<sup>14</sup>. 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 2020<sup>15</sup> voor alle gasvelden in Noord-Nederland waaronder het Warffum gasveld.

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  $b$  parameter, 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 gebruikte parameterwaarden voor de Rotliegend velden zijn gelijk aan de waarden die worden beschreven in het Statusrapport 2020 voor Noord-Nederland. De waarden die gebruikt zijn in de bepaling van de onder- en bovengrens voor de toekomstige bodemdaling worden in Tabel A-1, Tabel A-2 en Tabel A-3 weergegeven. De bijbehorende drukprofielen zijn getoond in Tabel A-4. Deze drukprofielen zijn afkomstig van het reservoirsimulatiemodel dat gebruikt is in de bodemdalingsprognoses zoals gedocumenteerd in het Statusrapport 2020. Deze drukken zijn verticaal opgeschaald voor de bodemdalingsberekeningen. Aan deze berekeningen ligt een drukgrid ten grondslag waarbij de druk varieert per gridcel voor zowel het gasgedeelte als het watervoerende gedeelte. Tabel A-4 toont voor de verschillende scenario's één getal wat per jaar het gemiddelde is van de druk over het totale grid. De drukken van het veld zijn berekend met een numeriek reservoirmodel. Dit model laat de grootste depletie bij de putten in het gasveld zien. In het laterale aquifer en bodemaquifer is de depletie minder groot. De bodemdalingsberekeningen maken gebruik van de drukken van het numerieke reservoirmodel. Tabel A-2 toont de drukken in het gasveld en tussen haakjes worden de gemiddelde druk over het hele veld weergegeven. De einddatum in de tabel is 2080, zo'n 50 jaar na het stoppen van de Warffum productie in 2032, zodat ook de drukequilibratie tussen de gas- en watervoerende gedeelten van het reservoir wordt meegenomen. In de berekening van het Seismisch Risico is alleen de gasdruk, die lager is, gebruikt.

De op deze manier berekende bodemdalingsonzekerheid is getabuleerd in Tabel A-1. De onzekerheid in de compressibiliteit is met het RTiCM model berekend door  $C_{mref}$  en  $C_{md}$  met 25% te verhogen. De  $b$  factor is in deze berekening niet veranderd, omdat deze factor alleen het tijdseffect veranderd.

<sup>14</sup> Puijsma, 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.

<sup>15</sup> NAM (2020) Bodemdaling door Aardgaswinning, NAM-gasvelden in Groningen, Friesland en het noorden van Drenthe. EP202011201629. <https://nam-onderzoeksrapporten.data-app.nl/reports/download/bodemdaling/nl/aa0e05c7-704a-4f9f-a02c-ea7ece904905>.

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

| Voorkomen | Verwachte drukdaling [bar] |                         |                         | Compressibiliteit [ $10^{-5}$ bar <sup>-1</sup> ] |                 |       |             | Bodemdaling diepste punt [cm] |            |            |
|-----------|----------------------------|-------------------------|-------------------------|---------------------------------------------------|-----------------|-------|-------------|-------------------------------|------------|------------|
|           | Midden productie scenario  | Laag productie scenario | Hoog productie scenario | C <sub>mref</sub>                                 | C <sub>md</sub> | b [-] | Onzekerheid | Nog te verwachten             | Ondergrens | Bovengrens |
| Warffum   | 31                         | 15                      | 47                      | 1,2                                               | 0,6             | 0,021 | 25%         | < 6                           | < 6        | < 8        |

Tabel A-2: Invoer gebruikt voor de bodemdalingsprognose.

| Voorkomen | Diepte veld [m TVNAP] | Reservoirdikte <sup>16</sup> [m] | Initiële druk [bar] | Huidige druk <sup>17</sup> [bar] | Einddruk [bar] | Rigid basement [m] | Poissons ratio [-] |
|-----------|-----------------------|----------------------------------|---------------------|----------------------------------|----------------|--------------------|--------------------|
| Warffum   | 2875                  | 248                              | 354                 | 123 (235)                        | 92 (203)       | 7000               | 0,2                |

Tabel A-3: Invoer gebruikt voor de bodemdalingsprognoses.

| Parameter                               | Waarde                        |
|-----------------------------------------|-------------------------------|
| Reference Stress Rate                   | $3,16 \cdot 10^{-4}$ bar/jaar |
| Dichtheid gesteente bovenliggende lagen | 2200 kg/m <sup>3</sup>        |
| Effectieve Reference Stress op 2875 m   | 266 bar                       |

De effectieve reference stress wordt berekend met de formule:

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

<sup>16</sup> De gebruikte reservoirdikte voor de bodemdalingsberekening is de depleterende dikte van zowel het gas en het bodemwater gedeelte.

<sup>17</sup> De huidige druk en de einddruk zijn de reservoirdrukken in het gasgedeelte van het reservoir. De getallen tussen haakjes zijn de gemiddelde reservoirdruk waarbij de drukken in het laterale en onderliggende aquifer (die minder depleteren) zijn meegenomen.



Tabel A-4: Drukdata gebruikt voor de bodemdalingsprognoses van 1986 tot 2021 (historisch) en 2022 tot 2080.

| Druk per jaar 1986-2021 |            |  | Gemiddelde druk per scenario 2022-2080 [bar] |       |      |      |
|-------------------------|------------|--|----------------------------------------------|-------|------|------|
| jaar                    | Druk [bar] |  | jaar                                         | basis | hoog | laag |
| 1986                    | 368        |  | 2022                                         | 233   | 232  | 234  |
| 1987                    | 368        |  | 2023                                         | 229   | 227  | 232  |
| 1988                    | 366        |  | 2024                                         | 226   | 223  | 229  |
| 1989                    | 361        |  | 2025                                         | 222   | 218  | 227  |
| 1990                    | 354        |  | 2026                                         | 219   | 213  | 225  |
| 1991                    | 348        |  | 2027                                         | 215   | 208  | 222  |
| 1992                    | 341        |  | 2028                                         | 212   | 204  | 220  |
| 1993                    | 335        |  | 2029                                         | 208   | 199  | 217  |
| 1994                    | 333        |  | 2030                                         | 205   | 195  | 215  |
| 1995                    | 331        |  | 2031                                         | 202   | 191  | 214  |
| 1996                    | 330        |  | 2032                                         | 200   | 188  | 213  |
| 1997                    | 329        |  | 2033                                         | 198   | 184  | 212  |
| 1998                    | 327        |  | 2034                                         | 196   | 181  | 211  |
| 1999                    | 322        |  | 2035                                         | 195   | 179  | 211  |
| 2000                    | 319        |  | 2036                                         | 193   | 177  | 209  |
| 2001                    | 317        |  | 2037                                         | 192   | 176  | 208  |
| 2002                    | 315        |  | 2038                                         | 191   | 175  | 207  |
| 2003                    | 314        |  | 2039                                         | 190   | 174  | 206  |
| 2004                    | 313        |  | 2040                                         | 189   | 173  | 205  |
| 2005                    | 312        |  | 2041                                         | 188   | 172  | 204  |
| 2006                    | 312        |  | 2042                                         | 187   | 171  | 203  |
| 2007                    | 308        |  | 2043                                         | 186   | 170  | 202  |
| 2008                    | 302        |  | 2044                                         | 186   | 170  | 202  |
| 2009                    | 297        |  | 2045                                         | 185   | 169  | 201  |
| 2010                    | 291        |  | 2046                                         | 185   | 169  | 201  |
| 2011                    | 285        |  | 2047                                         | 184   | 168  | 200  |
| 2012                    | 279        |  | 2048                                         | 184   | 168  | 200  |
| 2013                    | 273        |  | 2049                                         | 183   | 167  | 199  |
| 2014                    | 267        |  | 2050                                         | 183   | 167  | 199  |
| 2015                    | 261        |  | 2051                                         | 182   | 166  | 198  |
| 2016                    | 256        |  | 2052                                         | 182   | 166  | 198  |
| 2017                    | 251        |  | 2055                                         | 181   | 165  | 197  |
| 2018                    | 247        |  | 2060                                         | 179   | 163  | 195  |
| 2019                    | 243        |  | 2065                                         | 178   | 162  | 194  |
| 2020                    | 239        |  | 2070                                         | 178   | 162  | 194  |
| 2021                    | 236        |  | 2075                                         | 177   | 161  | 193  |
|                         |            |  | 2080                                         | 177   | 161  | 193  |

## BIJLAGE B: SEISMISCHE RISICO ANALYSE: DETAILS EN ACHTERGRONDEN

### B.1 Seismische Risico Analyse: introductie

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) gepubliceerd<sup>18</sup>. De SRA gaat uit van het stappenschema zoals getoond in Figuur B-2. Bij het schema zijn twee parameters belangrijk:

- De kans op een beving ( $M \geq 1$ ) door olie- en 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*

Stap 1:

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

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

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

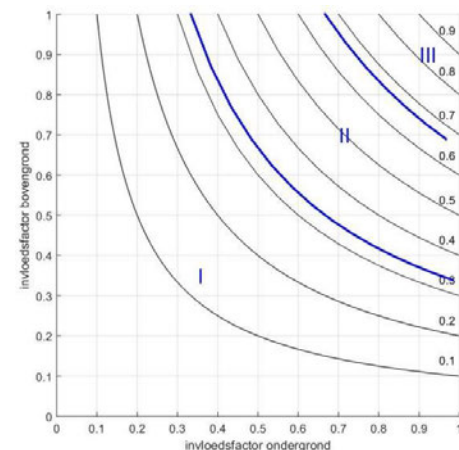
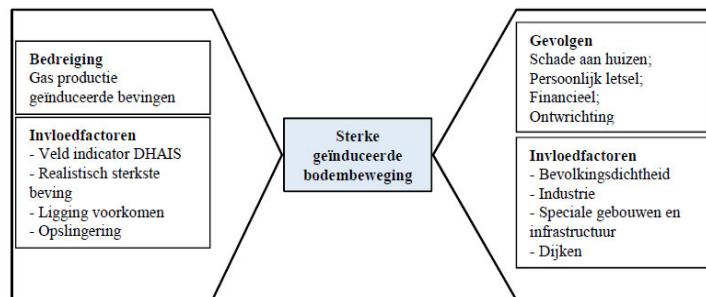
Stap 2:

In deze stap worden alle producerende voorkomens bekeken die

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

In stap 2 wordt op basis van een risicomatrix het risico van geïnduceerde aardbevingen verder gekwalificeerd. Figuur B-1 geeft een schematische weergave van de verschillende factoren die bepalen of een geïnduceerde beving kan resulteren in een sterke grondbeweging (de "invloedsfactoren ondergrond") en de verschillende factoren die invloed hebben op de grootte van de mogelijke gevolgen (de "invloedsfactoren bovengrond").

<sup>18</sup> Methodiek voor risicoanalyse omtrent geïnduceerde bevingen door gaswinning tijdelijke leidraad voor adressering mbb. 24.1.p, versie 1.2, SodM, 1 februari 2016



Figuur B-1: Links: Schematische weergave van de bedreigingen en gevolgen van geïnduceerde bevingen en de verschillende invloedsfactoren 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 invloedsfactoren ondergrond als de invloedsfactoren 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 B-1, rechts).

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

- Veld indicator DHAIS. Deze methode beschrijft hoe de kans op het mogelijk optreden van een beving in een voorkomen kan worden berekend aan de hand van ondergrondse kenmerken. Deze kans moet gezien worden als een indicatie van de kans op een beving<sup>19</sup> gedurende de productietijd van het veld die bepaald is op basis van alle observaties van bevingen boven alle gasvelden in Nederland.
- Realistisch sterkste beving (Mmax). Voor een theoretische inschatting van de sterkste beving zijn twee verschillende benaderingen genomen:
  1. een bepaling van de compactie-energie die beschikbaar is in een producerend gasveld en kan leiden tot een beving
  2. een maat voor de mogelijke bevingsmagnitude als de langste breuk in het producerende veld in zijn geheel in één keer in beweging zou komen.

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

- Ligging van het voorkomen. In de SRA-methodiek (SodM, 2016) wordt er een onderscheid gemaakt tussen velden ten noorden van de lijn Amsterdam-Arnhem en velden ten zuiden van deze lijn. Dit onderscheid is gemaakt op basis van observaties. Er is nog nooit een aardbeving door olie- of gaswinning waargenomen ten zuiden van de lijn Amsterdam-Arnhem.
- 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).

<sup>19</sup> 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.

Het mogelijke gevolg van een beving volgt uit een analyse en score van de invloedsfactoren 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. ([www.risicokaart.nl](http://www.risicokaart.nl))

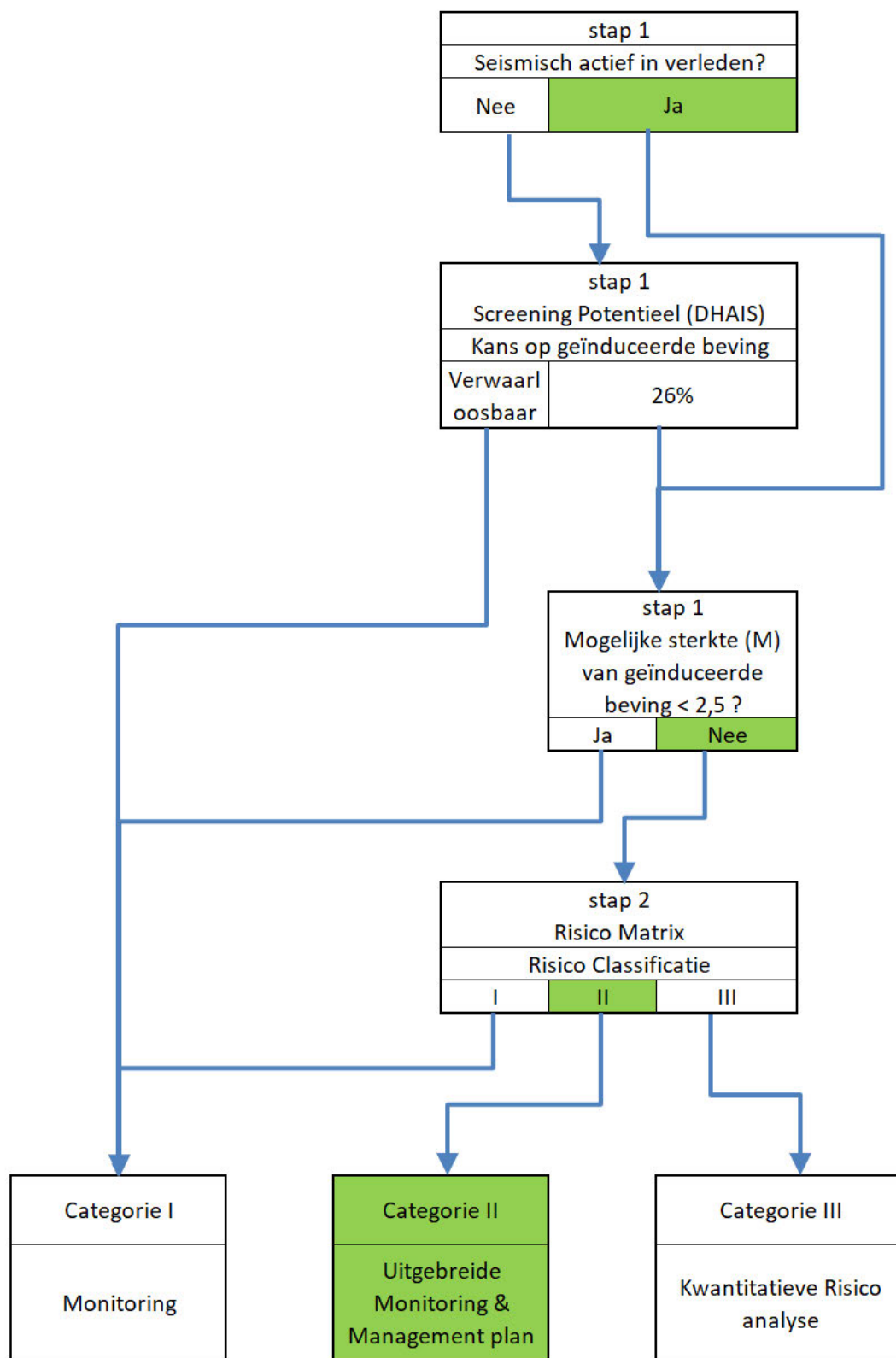
Indien uit het voorgaande blijkt dat voorkomen(s) binnen een Winningsplan in risico categorie III vallen gaan deze door naar Stap 3.

Stap 3:

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

## ***B.2 Seismische Risico Analyse voor het Warffum 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 B-2 staan voor Warffum de uitkomsten in groen voor de verschillende stappen. Details van de berekening staan in bijlage B.



Figuur B-2: De verschillende stappen die doorlopen zijn voor Warffum om de risicocategorie te bepalen.



### Stap 1: Inschatten risicopotentieel voor het Warffum voorkomen

In deze seismische risicoanalyse wordt uitgegaan van de maximale drukdaling volgens het hoog productiescenario.

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

In de studie 'Deterministische Hazard Analyse voor Geïnduceerde Seismiciteit (DHAIS)<sup>20</sup> is onderzocht welke eigenschappen (geologische, productietechnische en geomechanische eigenschappen) van olie- en gasvoorkomens invloed hebben op het wel of niet optreden van aardbevingen. In 2022 is deze studie geactualiseerd met de data tot en met 1 maart 2021<sup>21</sup>. 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 uitgebracht<sup>22</sup> 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<sub>ini</sub>: De ratio van drukval (DP) en initiële druk (P<sub>ini</sub>) in het reservoir;
- $E$ : de verhouding tussen de Young's moduli (stijfheidsmoduli) van de afsluitende laag ("seal") en het reservoirgesteente;

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

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

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

Waarbij:

- $l_b$  = De totale breuklengte van de intra reservoir breuken en de randbreuken van het voorkomen in meters;
- $h$  = De maximale dikte van de 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 <sub>ini</sub> ≥ 20% | B ≥ 0,84 en E ≥ 1,07: Kans op beven           |
|                           | B < 0,84 en/of E < 1,07: Verwaarloosbare kans |
| DP/P <sub>ini</sub> < 20% | Verwaarloosbare kans                          |

De waarden die zijn gebruikt in de bepaling van de DHAIS-kans zijn gegeven in

Tabel B-1.

<sup>20</sup> TNO-rapport NITG 04-171-C. Van Eijs, 2004. Deterministische hazard analyse voor geïnduceerde seismiciteit.

<sup>21</sup> TNO-rapport 2021 R10977, Roholl et al. Deterministische hazard analyse voor geïnduceerde seismiciteit (DHAIS), actualisatie 2021

<sup>22</sup> Advies TNO DHAIS update 2021 en invloed op de leidraad SRA (link)

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

| Reservoir<br>dikte /<br>gaskolom<br>(m) <sup>23</sup> | Initiële<br>druk hoog<br>scenario<br>(bar) | Totale<br>drukvaling<br>volgens het<br>hoog<br>productie-<br>scenario (bar) | Totale<br>breuk-<br>lengte<br>(km) | Reservoir<br>opper-<br>vlakte<br>(km <sup>2</sup> ) | Maximale<br>waargeno-<br>men aard-<br>beving | Aantal<br>aard-<br>bevingen<br>per jaar | DHAIS<br>E <sup>24</sup> | DHAIS<br>B | DHAIS<br>kansen |
|-------------------------------------------------------|--------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------------------------|----------------------------------------------|-----------------------------------------|--------------------------|------------|-----------------|
| 108                                                   | 354                                        | 278                                                                         | 13,6                               | 7,8                                                 | 1,1                                          | < 5 per<br>jaar                         | 1,23                     | 2,11       | bevend veld     |

### 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-2.

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

| Langste<br>breuklengte<br>(km) <sup>25</sup> | Poisson's<br>ratio <sup>26</sup> | Breukhoogte<br>(m) | Mmax<br>energiebalans | Mmax<br>breukslip |
|----------------------------------------------|----------------------------------|--------------------|-----------------------|-------------------|
| 5,7                                          | 0,2                              | 108                | 3,1                   | 3,7               |

### Stap 2: Risico matrix

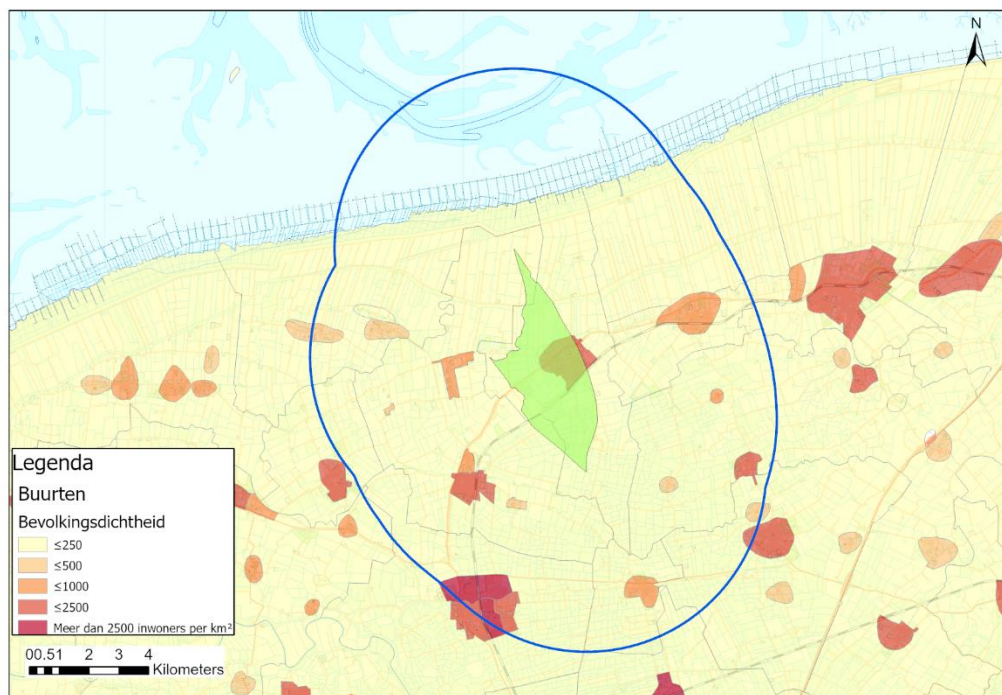
Voor het Warffum voorkomen is het nodig gebleken om de risicomatrix te gebruiken ("Stap 2" van de SRA). Voor elke factor die bepaald is voor de onder- en bovengrond wordt een score gegeven waarbij de som van de scores een positie geeft in de risicomatrix. In dit deel van de bijlage worden de figuren 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. 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 per km<sup>2</sup>. Aangenomen is dat er binnen de buffer appartementen aanwezig zijn. Tabel B-3 A en B tonen de evaluatie en scores voor de invloedsfactoren. De risicomatrix is afgebeeld in Figuur 8-2.

<sup>23</sup> Voor de DHAIS berekening wordt zowel de hoogte van de gaskolom als de totale reservoir dikte beschouwd. Het minimum van deze twee wordt gekozen voor de berekening van de "B" waarde zoals voorgeschreven door de DHAIS methodiek.

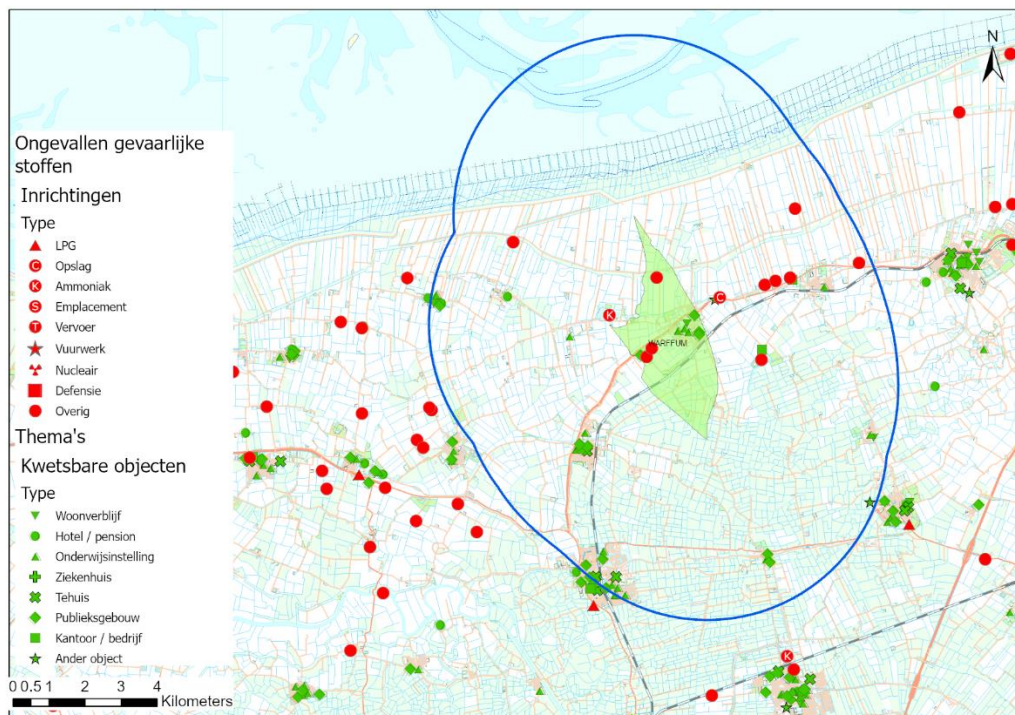
<sup>24</sup> Young's moduli ratio volgens TNO-rapport: Deterministische hazard analyse voor geïnduceerde Seismiciteit, NITG 04-171-C. Voor nieuwe velden wordt de ratio van een analoog veld met dezelfde reservoir seal combinatie gebruikt.

<sup>25</sup> Langste breuklengte is aangegeven op de kaart in bijlage C met blauwe pijl

<sup>26</sup> Poisson's ratio gebaseerd op gemiddelde waarde voor gecementeerde zandsteen op basis van kernplug metingen

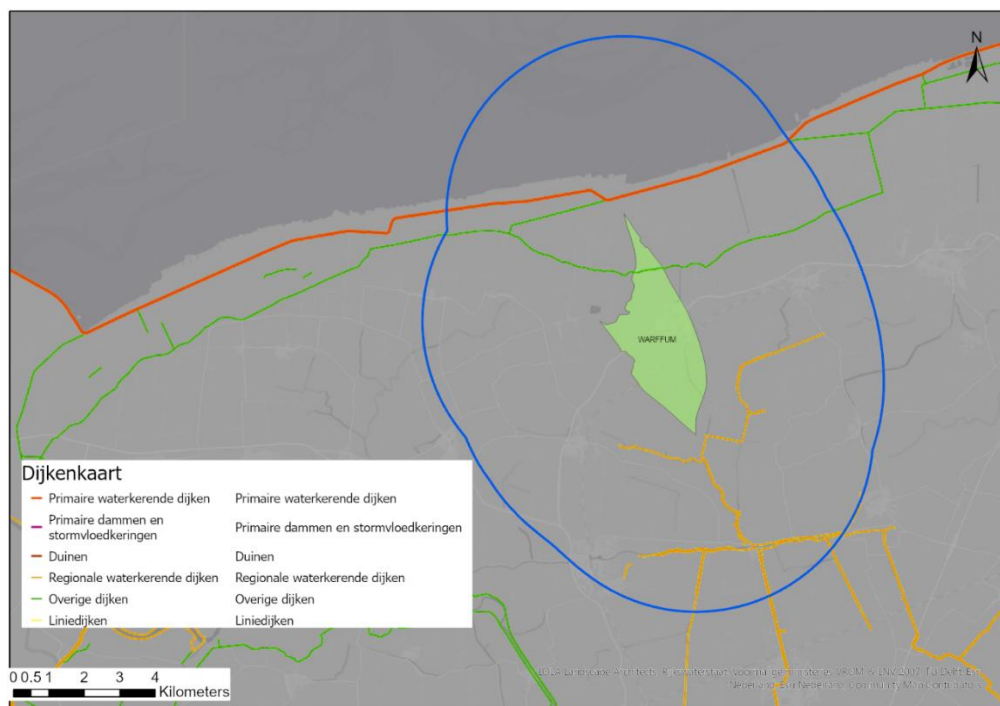


Figuur B-1: Overzicht van de bevolkingsdichtheid boven het Warffum veld. De blauwe omtrek geeft de 5 km straal rond het Warffum veld die relevant is voor de SRA.

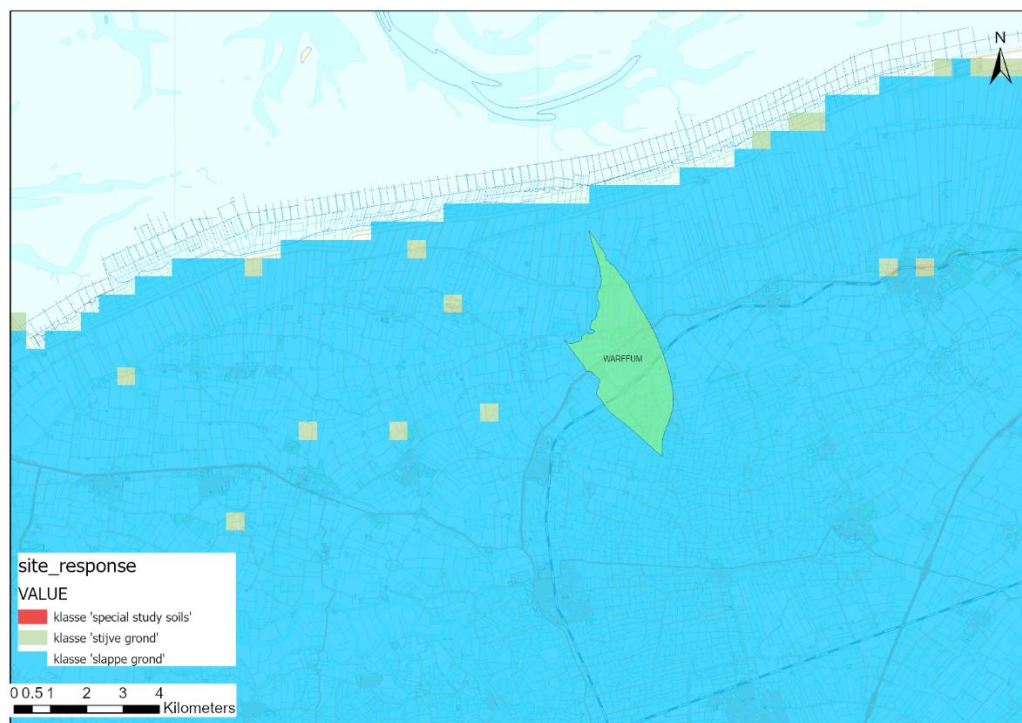


Figuur B-2: Overzicht van de industriële inrichtingen (rode punt), ziekenhuizen (groene plus) onderwijsinstellingen (groene driehoek), tehuizen (groene x) en publieksgebouwen (groene ruit) boven het Warffum veld. De blauwe omtrek geeft de 5 km straal rond het Warffum veld aan die relevant is voor de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





Figuur B-3: Overzicht van de dijken. De blauwe omtrek geeft de 5 km straal rond het Warffum 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-3, inclusief onderbouwing en uitkomst.

Tabel B-3: 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 <sub>z</sub> 1,5 | 1 methode > 4,5 én/of alle methodes 4,1 – 4,5     |                                |                                                                                                                                                                                                                                      |
| 3     | Bevend veld < 5 bevingen per jaar van M <sub>z</sub> 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=42% 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     | P=19%                                                    | 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     |                                                          | 1 methode 2,6 – 3,0 én/of alle methodes ≤ 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

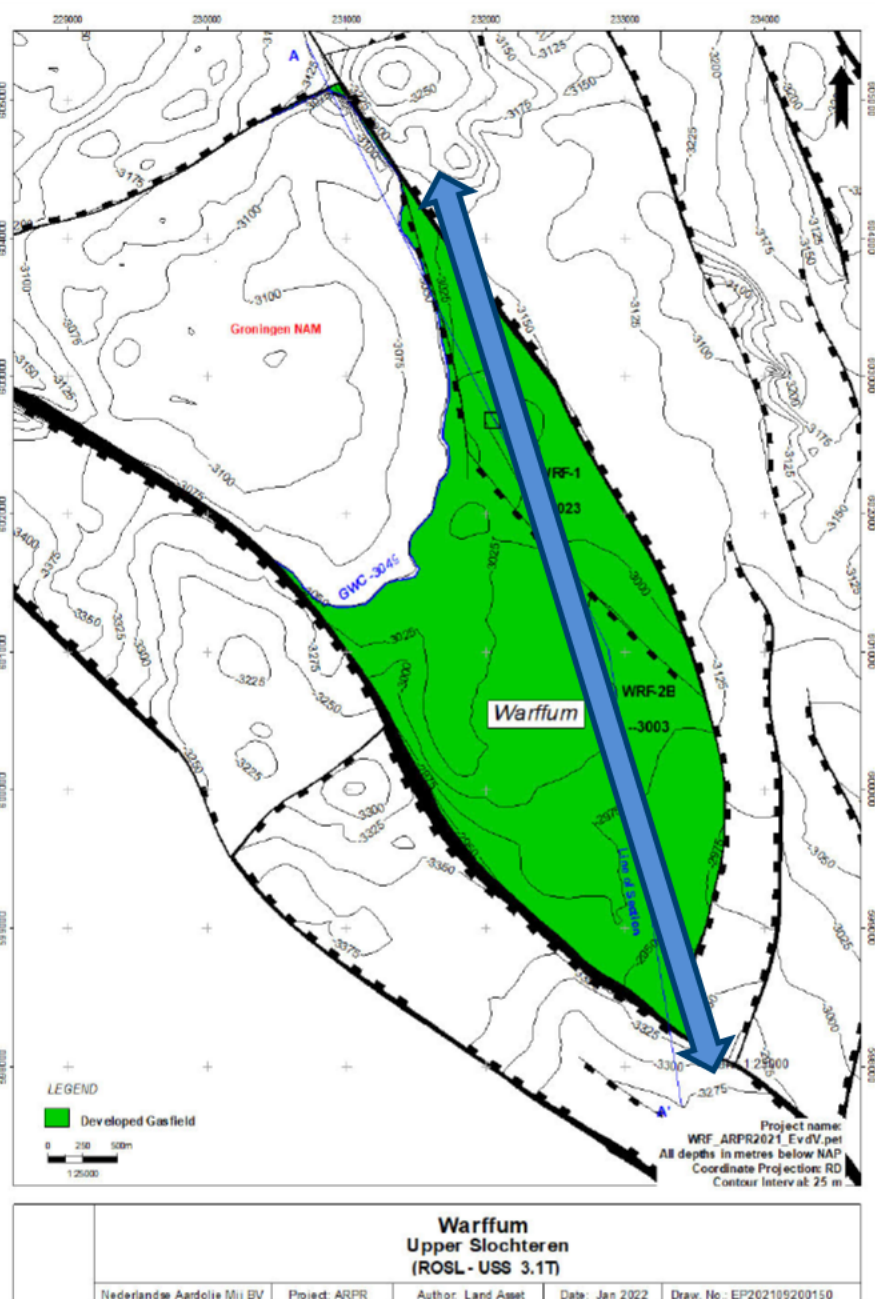
| Score | Bevolkingsdichtheid (aantal inwoners per km <sup>2</sup> )                                               | Industriële inrichtingen                                   | Speciale gebouwen En vitale infrastructuur                                                                                                                                 | 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

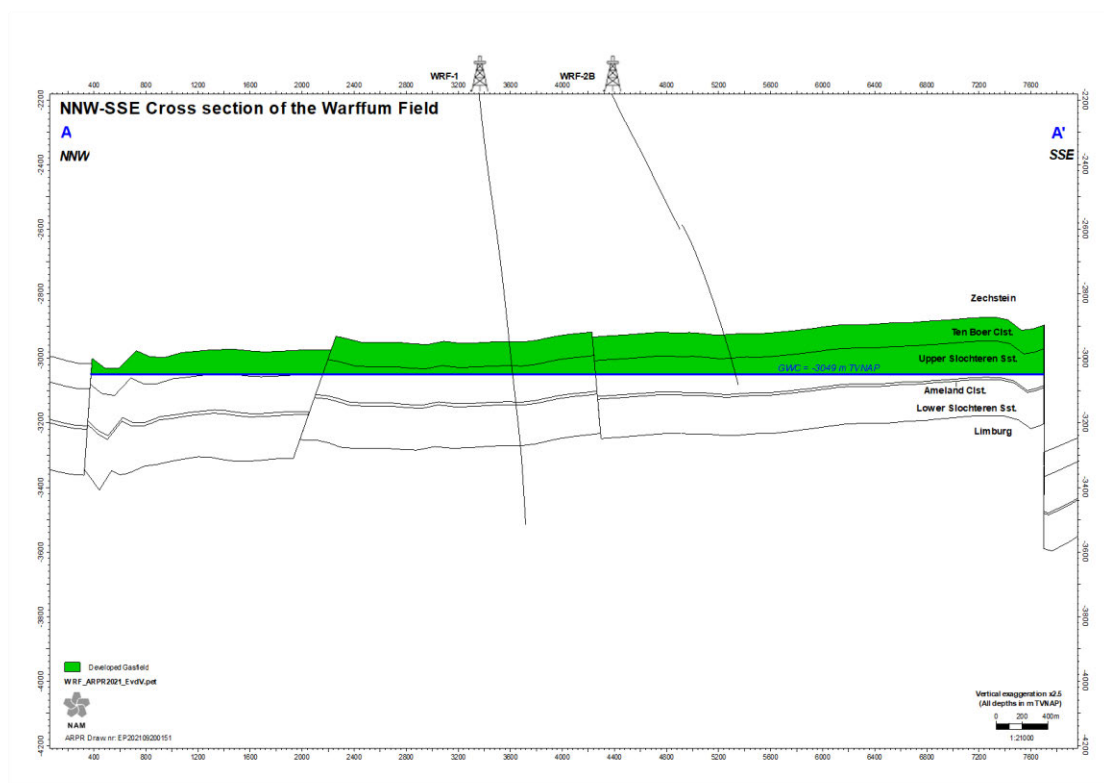
| Kans op beven of waargenomen bevingen | Magnitude | Ligging voorkomen | Opslingering | Genormaliseerde totaalscore ondergrond | Bevolkingsdichtheid | Industriële inrichtingen | Speciale gebouwen en vitale infrastructuur | Dijken | Genormaliseerde totaalscore bovengrond | Categorie |
|---------------------------------------|-----------|-------------------|--------------|----------------------------------------|---------------------|--------------------------|--------------------------------------------|--------|----------------------------------------|-----------|
| 2                                     | 2         | 2                 | 3            | 0,64                                   | 0                   | 4                        | 3                                          | 3      | 0,63                                   | II        |



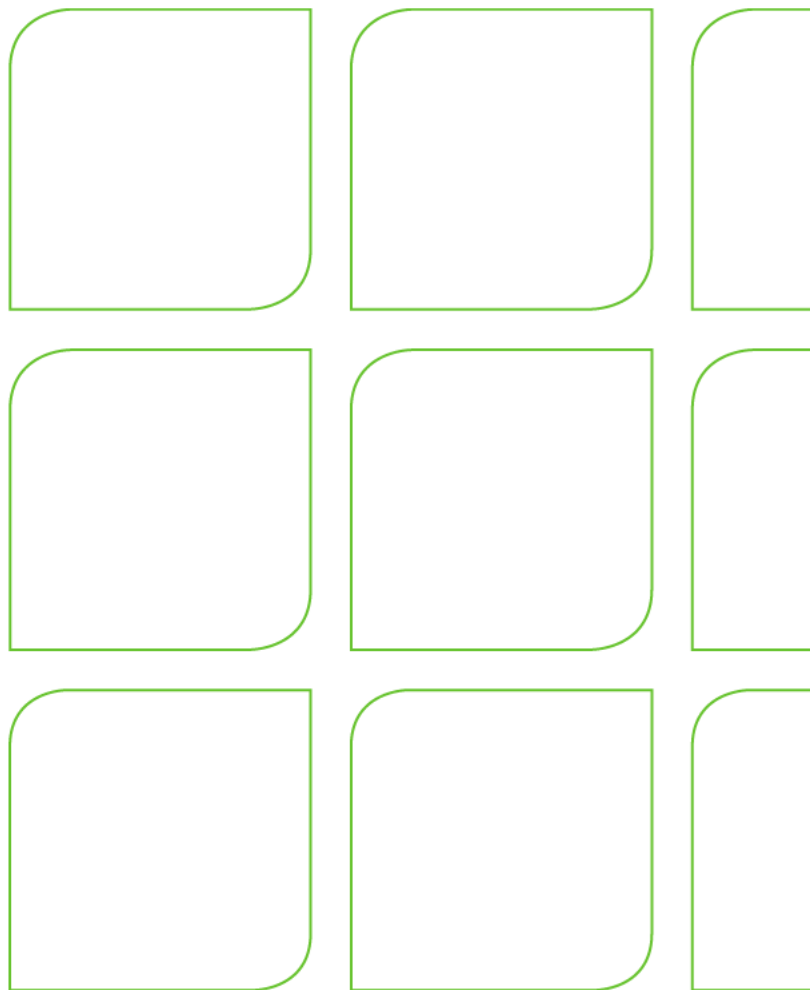
## BIJLAGE C: GEOLOGISCHE KAARTEN VOOR DE VOORKOMENS



C-1: Kaart van de top van het Warffum gasveld, inclusief de breuken. De blauwe pijl geeft de langste breuk aan.



C-2: Geologische dwarsdoorsnede van het Warffum voorkomen.



**BRON VAN ONZE ENERGIE**