

**VERMILION
ENERGY**



Vermilion Energy Netherlands B.V.

Aanvraag Instemming Eernewoude Winningsplan

Versie 3.0

18-Apr-18

Samenvatting

Dit document betreft het winningsplan 'Ernewoude'. Vermilion Energy Netherlands B.V. produceert sinds 2012 uit het voorkomen Ernewoude, door middel van de put ERW-02. Vermilion is van plan die productie voort te zetten, mogelijk deels door een aftakking te boren vanuit een van de bestaande putten ERW-01 of ERW-02 vanaf de bestaande mijnbouwlocatie 'Ernewoude-01/-02/Leeuwarden-08/-11'. De keuze vanuit welke van deze twee bestaande putten de aftakking geboord zal worden hangt af van de productieresultaten van de momenteel producerende put ERW-02.

In dit document wordt ingegaan op de manier waarop het gas gewonnen wordt, de geologie en de eigenschappen van het ondergrondse gasvoorkomen en de voorspelde productiehoeveelheden, mate van bodemdaling en het risico op aardbevingen.

De maximale productie van het gehele voorkomen, de uiterlijke productie datum, de maximaal verwachte bodemdaling en het seismisch risico staan aangegeven in de tabel hieronder.

Ernewoude voorkomen		
Productie tot en met:	2032	
Hoeveelheid productie:	511	miljoen nm ³
(waarvan na 1-1-2018):	352	miljoen nm ³
Seismisch Risico Categorie:	Cat. I	
Verwachte maximale bodemdaling:	< 2	cm
(waarvan na 1-1-2018 verwacht maximaal:	< 1	cm
Samengestelde bodemdaling verwacht maximaal:	< 7	cm
(waarvan na 1-1-2018 verwacht maximaal:	< 2	cm

Er wordt een toekomstige bodemdaling van minder dan 1 cm verwacht op het diepste punt van de bodemdalingsskom door de winning waarop dit winningsplan betrekking heeft. Historische winning uit het Ernewoude voorkomen heeft naar schatting minder dan 1 cm daling opgeleverd. De daling door historische winning uit dit en andere voorkomens (m.n. het Leeuwarden voorkomen) wordt in dit gebied op 5 cm geschat; de toekomstige gecombineerde daling in dit gebied op minder dan 2 cm.

De daadwerkelijke bodemdaling wordt gemonitord via een meetnet van Vermilion op basis van het meetplan Leeuwarden-Oost. Het meetplan wordt beoordeeld door Staatstoezicht op de Mijnen, en de analyse van de meetgegevens wordt met hen gedeeld.

Het seismische risico wordt in de laagste categorie ingeschaald (categorie I). Het daadwerkelijk optreden van bodemtrillingen wordt gemonitord via het KNMI-meetnet.

Het voorkomen is gelegen onder Natura-2000 gebied. De omvang van de effecten voor grondwater, oppervlaktewater, waterberging en waterkwaliteit zijn verwaarloosbaar waardoor geen problemen ontstaan voor landbouw, natuur of in stedelijk gebied. Negatieve effecten op beschermde natuurwaarden zijn op voorhand uit te sluiten.

Voor zowel bodemdaling als bodemtrillingen wordt geen significante impact verwacht. Mochten omwonenden toch een effect of schade ondervinden, dan kan dat gemeld worden bij Vermilion, of bij het Landelijk Loket Mijnbouwschade.

Inhoud

Samenvatting	2
Inhoud	3
Formulier aanvraag instemming winningsplan.....	6
1 Inleiding	9
1.1 Doel van dit het Winningsplan.....	9
1.2 Leeswijzer	9
2 Plaats van winning	11
2.1 Voorkomens in dit winningsplan.....	11
2.2 Overzicht ligging voorkomens en putten	11
2.3 Schematische weergave gas-behandeling en afvoer	13
3 Boringen	15
3.1 Inleiding: Algemene beschrijving van een put.....	15
3.2 Overzicht boringen in voorkomen	16
3.3 Schematische voorstelling putverbuizing(en)	17
3.4 Plaats en wijze waarop koolwaterstoffen in verbuizing treden	18
3.5 Putbehandelingen	18
4 Ondergrond	20
4.1 Inleiding: hoe worden de ondergrond-eigenschappen gemeten.....	20
4.2 Geologie en gesteente-eigenschappen van het voorkomen	20
4.2.1 Reservoir-formaties en afsluitende lagen	20
4.2.2 Structuur	21
4.2.3 Bron koolwaterstoffen	21
4.2.4 Geologische doorsnede van voorkomen	21
4.3 Gesteente-eigenschappen van de bovenliggende lagen.....	22
4.4 Andere gebruiksmogelijkheden van de ondergrond	23
5 Ontwikkelingsvooruitzichten.....	24
5.1 Inleiding	24
5.2 Historische productie en productie-gedrag	24
5.3 Onzekerheden.....	25
5.4 Winningsstrategie & reservoir management	25
5.5 Vooruitzichten voor winningssnelheid (hoeveelheden per voorkomen/per jaar)	26
5.6 Duur van de winning	28
5.7 Jaarlijks eigengebruik bij winning.....	28
5.8 Jaarlijks bij winning afgeblazen/afgefakkelde koolwaterstoffen.....	28
5.9 Gassamenstelling en stoffen die jaarlijks worden mee geproduceerd.....	28
5.10 Jaarlijks bij winning in de ondergrond terug te brengen delfstoffen en andere stoffen	29
6 Bodemdaling	30
6.1 Inleiding: hoe komt bodemdaling tot stand	30
6.1.1 Gaswinning.....	30
6.1.2 De oorzaken van bodemdaling	30
6.1.3 Autonome bodemdaling	31

6.1.4	Metten en voorspellen van bodemdaling	32
6.2	Bodemdalingsmodel & historische bodemdaling	32
6.3	Bodemdalingsvooruitzichten en -onzekerheid	33
6.4	Monitoring van bodemdaling	36
6.5	Mogelijke gevolgen van de verwachte bodemdaling	36
6.5.1	Gevolgen voor gebouwen en infrastructuur	36
6.5.2	Gevolgen voor natuur en milieu	37
6.6	Maatregelen om (gevolgen van) bodemdaling te voorkomen of te beperken	37
7	Bodemtrilling.....	38
7.1	Inleiding: hoe komen bevingen ten gevolge van gaswinning tot stand.....	38
7.2	Historische bevingen in de voorkomens van dit winningsplan.....	38
7.3	Seismische Risico Analyse	38
7.4	Monitoring van bodemtrillingen	39
7.5	Mogelijke gevolgen van bevingen ten gevolge van gaswinning	39
7.5.1	Schade openbare infrastructuur door bodemtrillingen ten gevolge van gaswinning	39
7.5.2	Schade aan bouwwerken door bodemtrillingen ten gevolge van gaswinning	39
7.5.3	Gevolgen voor natuur en milieu door bodemtrillingen ten gevolge van gaswinning.....	40
7.6	Maatregelen om (gevolgen van) bodemtrillingen te voorkomen of te beperken.....	40
8	Overige Omgevingsaspecten.....	41
8.1	Inleiding	41
8.2	Bodem / Grondwaterverontreiniging	41
8.3	Luchtverontreiniging	41
8.4	Oppervlaktewaterverontreiniging	42
8.5	Externe veiligheid	42
8.6	Natuur.....	42
8.7	Locaties	42
8.8	Schade-afhandeling	43
8.9	Gedragscode.....	43
9	Verklarende woordenlijst.....	44
10	Referenties	45
11	Bijlage: Locatie Plattegrond ‘Eenewoude-01/-02/Leeuwarden-08/-11’.....	46
12	Bijlage: Proces-stroomdiagram van ‘Eenewoude-01/-02/ Leeuwarden-08/-11’ aardgaswinningslocatie.....	47
13	Bijlage: Detailschema putverbuizing	48
14	Bijlage: Geologische kaart	49
15	Bijlage: Analyse en Berekening Bodemdaling Meetplan Eenewoude	52
15.1	Historische daling	52
15.2	Modellering toekomstige daling.....	55
16	Bijlage: Meetnet Leeuwarden-Oost.....	58
17	Bijlage: Seismische Risico Analyse: Details en Achtergronden	59
17.1	Algemeen kader voor Seismische Risico Analyse.....	59
17.2	Seismische Risico Analyse voor de voorkomens in dit winningsplan.....	59

17.2.1	Niveau 1: Screening Potentieel.....	59
17.2.2	Niveau 2: Risico Matrix	62
18	Bijlage: Gedetailleerde impactanalyse bodemdaling	64
18.1	Gebiedsbeschrijving	64
18.2	Waterhuishouding	64
18.3	Toekomstige bodemdaling	65
18.4	Reeds opgestreden bodemdaling 1970-2018	66
18.5	Effecten toekomstige bodemdaling	66
18.6	Oppervlaktewater/grondwater: verandering van drooglegging	66
18.6.1	Effect op landbouw.....	66
18.6.2	Effect op bebouwing.....	66
18.6.3	Effect op natuur	66
18.6.4	Effect op Friese Boezem.....	67
18.6.5	Effect op grondwaterberging	67
18.7	Waterkwaliteit	67
18.8	Waterveiligheid – Verandering van opvoerhoogte gemalen en hoogte keringen	67
18.9	Natuur.....	67
18.9.1	Uitwerking toetsing Wet natuurbescherming	67
18.10	Conclusie.....	68
19	Bijlage: Vertrouwelijke Gegevens Eernewoude	70
19.1	Volumeschattingen.....	70
19.2	Bedrijfsvoering.....	72

Formulier aanvraag instemming winningsplan

Artikel 34 lid 1 Mijnbouwwet (Mw) en artikel 24 Mijnbouwbesluit (Mb)

Elektronisch in te dienen bij:

De Minister van Economische Zaken

Directoraat-Generaal voor Energie, Telecom en Mededinging

Directie Energie en Omgeving

mijnbouwaanvragen@minez.nl

<u>Artikel 1)</u>	<u>Onderwerp</u>	<u>Beschrijving</u>
Mw 34 lid 1	Verzoek om instemming voor een wijziging / actualisatie van het winningsplan Ernewoude	☐ een winningsplan voor voorkomens in het continentaal plat vanaf de 12 zeemijlszone ☒ een winningsplan voor voorkomens in Nederlands territorium tot 12 zeemijl uit de kust De wijziging / actualisatie bestaat uit het boren van een aftakking in een bestaande putten
	A) Algemene gegevens	
	A1.1) Naam indiener	Vermilion Energy Netherlands B.V.
	A1.2) Adres	Zuidwalweg 2 8861 NV Harlingen The Netherlands
	A1.3) Contactpersoon	Sven Tummers
	A1.4) E-mail	stummers@vermilionenergy.com
	A1.5) Telefoon	+31 (0) 517 493 333
Mw 34 lid 2 en Mw 22	A1.6) Indiener	☐ is houder van de vergunning ☒ is uitvoerder cf artikel 22 Mw
	A2) Winningsvergunning(s)gebied(en)	Leeuwarden
Mw 34 lid 1 Mb 24 lid 1a	A2.1) Voorkomen(s) koolwaterstoffen	Ernewoude
Mb 24 lid 1a	A2.2) Soort koolwaterstof die wordt gewonnen	☐ olie ☐ hoog calorisch gas ☐ Groningen kwaliteit gas ☒ laag calorisch gas ☐ zwavelhoudend gas ☐ aardgascondensaat
Mr 1.2.1 lid 3	A3) Bestaande of nieuwe winning	☒ winningsplan voor reeds bestaande winning, (inclusief voorziene uitbreiding) ☐ winningsplan voor nieuwe winning
Mw 38	A4) Samenloop vergunningen Wet milieubeheer	☒ nee, productie vindt plaats op bestaande locatie ☐ ja: te weten:

	Bedrijfs- en productiegegevens	Paragraaf
Mw 35 lid 1	Beknopte beschrijving van het winningsplan	1
Mw 35 lid 1c Mb 24 lid 1c,d	Beknopte beschrijving van wijze van winning alsmede daarmee verband houdende activiteiten	2, 3.3, 3.4, 3.5
Mb 24 lid 1a	Geologische beschrijving van voorkomen(s)	4.2
Mb 24 lid 1a Mb 24 lid 1b	Geologische doorsnede van voorkomen(s)	4.2
Mw 35 lid 1a Mb 24 lid 1d,e	Overzicht ligging voorkomens en putten	2.2
Mb 24 lid 1d,e,g	Situering mijnbouwwerken situatietekening /eventueel foto	2.2
Mb 24 lid 1e,f	Overzicht boringen in voorkomen(s)	3.2
Mb 24 lid 1g	Schematische voorstelling putverbuizing(en)	3.3
Mb 24 lid 1h	Plaats en wijze waarop koolwaterstoffen in verbuizing treden	3.4
Mb 24 lid 2	Productieontwikkeling strategie	5.4
Mb 24 lid 2	Productie filosofie	5.4
Mb 24 lid 2	Reservoir management	5.4
Mw 35 lid 1a,d Mb 24 lid 1a	Omvang winning (hoeveelheden per voorkomen/per jaar)	5.5
Mw 35 lid 1b	Duur van de winning (per voorkomen)	5.5
Mb 24 lid 1i	Stoffen die jaarlijks worden mee geproduceerd	5.9
Mb 24 lid 1j	Jaarlijks eigengebruik bij winning	5.7
Mb 24 lid 1j	Jaarlijks bij winning afgeblazen/afgefakkelde koolwaterstoffen	5.8
Mb 24 lid 1k	Jaarlijks bij winning in de ondergrond terug te brengen delfstoffen en andere stoffen	5.10
Mw 36 lid 1 sub b	Planmatig gebruik of beheer van delfstoffen, aardwarmte, andere natuurlijke rijkdommen, waaronder grondwater met het oog op de winning van drinkwater, of mogelijkheden tot het opslaan van stoffen	4.4
Mw 35 lid 1e, Mb 24 lid 1l	Jaarlijkse kosten onderverdeeld in investeringen, onderhoud, bedrijfsvoering	19.2 (confidentieel)
Mw 24 lid 1a	Verwachte samenstelling van de aanwezige koolwaterstoffen	5.9

	Gegevens inzake bodemdaling als gevolg van de winning van koolwaterstoffen.	Paragraaf
Mw 35 lid 1f	Aard van de bodemdaling als gevolg van de winning alsmede de daarmee verband houdende activiteiten	6.1
Mb 24 lid 1m Mb 24 lid 1n Mb 24 lid 1o	Gekalibreerde bodemdaling en bodemdalingsprognoses (uiteindelijk verwachte mate van bodemdaling)	6.2
Mb 24 lid 1q	Omvang en aard van de schade	6.5
Mb 24 lid 1r Mw 35 lid 1d,1f	Maatregelen om bodemdaling te voorkomen / te beperken	6.6
Mb 24 lid 1s Mw 35 lid 1f	Maatregelen die gevolgen van schade door bodemdaling beperken of voorkomen	6.6
	Gegevens inzake bodemtrilling als gevolg van de winning van koolwaterstoffen.	Paragraaf
Mw 35 lid 1f	Aard van de (kans op) bodemtrillingen als gevolg van de winning alsmede de daarmee verband houdende activiteiten	7.1
Mb 24 lid 1p	Risicoanalyse bodemtrilling	7.3, 17.2
Mb 24 lid 1q	Omvang en aard van de schade	7.5.1, 7.5.2, 7.5.3
Mb 24 lid 1r	Maatregelen om bodemtrillingen te voorkomen / te beperken	7.6
Mb 24 lid 1s Mw 35 lid 1f	Maatregelen die gevolgen van schade door bodemtrillingen beperken of voorkomen	7.6
	Overige veiligheidsaspecten	Paragraaf
Mw 35 lid 1g	De risico's voor omwonenden, gebouwen of infrastructurele werken of de functionaliteit daarvan met een risicobeoordeling, voor zover het winnen van delfstoffen niet geschiedt in het continentaal plat	8
Ondertekening Naam:  Functie: Commercial Manager		Datum: 18-Apr-18 Plaats: Amsterdam

Ondertekening



1 Inleiding

Dit document betreft het winningsplan 'Eernewoude'. Vermilion Energy Netherlands B.V. produceert sinds 2012 uit het voorkomen Eernewoude, door middel van de put ERW-02. Vermilion is van plan die productie voort te zetten, deels door een aftakking te boren vanuit een van de bestaande putten ERW-01 of ERW-02 vanaf de bestaande mijnbouwlocatie 'Eernewoude-01/-02/Leeuwarden-08/-11'. De keuze vanuit welke van deze twee bestaande putten de aftakking geboord zal worden hangt af van de productieresultaten van de momenteel producerende put ERW-02.

1.1 Doel van dit het Winningsplan

Vermilion Energy Netherlands B.V. (Vermilion, VEN) is houder van de winningsvergunning Leeuwarden. Conform artikel 34 Mijnbouwwet (Mw) dient de winning van koolwaterstoffen te gebeuren overeenkomstig een winningsplan. In het Mijnbouwbesluit (Mb) is in artikel 24 aangegeven welke informatie het winningsplan moet bevatten.

Dit winningsplan omvat het gasvoorkomen Eernewoude.

De reden voor de indiening van het winningsplan voor het Eernewoude voorkomen is verlenging van de productieduur, en vergroting van de productie-hoeveelheid. Mogelijk wordt dit bereikt door middel van een aftakking van een bestaande boring. De aftakking zal geboord worden vanuit ERW-01 of ERW-02, afhankelijk van de toekomstige productieresultaten van de momenteel producerende put ERW-02. Bij succesvolle boorresultaten wordt de aftakking gecompleteerd in de doellaag waarna gaswinning plaats kan vinden.

De voortzetting van de winning vereist een actualisatie van productie- en bodemdalingsvoorspellingen, en een seismische risico analyse.

Tabel 1-1 Geschiedenis Winningsplan Eernewoude

Datum	Versie	Versie
Jun-2012	1.0	Concept winningsplan Eernewoude (voor boring ERW-02)
Dec-2012	2.0	Winningsplan Eernewoude (na boring ERW-02)
Apr-2018	3.0	Actualisatie (dit document)

1.2 Leeswijzer

In dit document wordt ingegaan op de manier waarop het gas gewonnen wordt, de geologie en de eigenschappen van het ondergrondse gasvoorkomen en de voorspelde productiehoeveelheden, mate van bodemdaling en het risico op aardbevingen. De cursief gedrukte stukken in de diverse hoofdstukken geven wat meer specialistische informatie.

Het gasvoorkomen Eernewoude produceert gas vanaf de locatie 'Eernewoude-01/-02/Leeuwarden-08/-11' dat vervolgens via een pijpleiding naar het Garijp gasbehandelings-station (GTC) wordt getransporteerd. Paragrafen 2.2 en 2.3 geven aan waar de productielocatie, het voorkomen en de producerende/geplande putten zich bevinden.

Uit hoofdstuk 6 blijkt dat een toekomstige bodemdaling van maximaal 0.7 cm wordt verwacht op het diepste punt van de bodemdalingsschicht door de winning waarop dit winningsplan betrekking heeft. Historische winning uit het Eernewoude voorkomen heeft naar schatting 0.5 cm daling opgeleverd. De daling door historische winning uit dit en andere voorkomens wordt in dit gebied samen op 5.1 cm geschat; de toekomstige gecombineerde daling in dit gebied op maximaal 1.1 cm.

Het voorkomen is gelegen onder Natura-2000 gebied. De bodemdaling is zo gering dat er geen gevolgen zijn voor natuurwaarden. Dit wordt onderbouwd in de bijlage, hoofdstuk 18.

De bodemdaling wordt regelmatig gemonitord volgens het meetplan Leeuwarden-Oost conform de geldende normen, onder toezicht van Staatstoezicht op de Mijnen (SodM).

De seismische risicoanalyse laat zien dat het Eernewoude voorkomen in de laagste seismische risicocategorie valt (categorie I). Hoofdstuk 7 gaat verder in op de seismische risico analyse.

De berekeningen en inschattingen worden gecontroleerd door Staatstoezicht op de Mijnen (SodM) en de Technische Commissie Bodembeweging (TCBB). Betrokken overheden (provincie, gemeente(n), waterschap(pen)) brengen advies uit aan de Minister. Als laatste brengt de Mijnraad advies uit, gebaseerd op alle eerdere adviezen.

Het winningsplan heeft de instemming van de Minister van Economische Zaken en Klimaat (EZK). Op de voorbereiding van dit instemmingsbesluit is de uniforme openbare voorbereidingsprocedure van toepassing. Dat betekent onder andere dat iedereen zienswijzen naar voren kan brengen op het ontwerpbesluit van de minister. Op het definitieve besluit van de minister is beroep mogelijk bij de afdeling bestuursrechtspraak van de Raad van State

Het winningsplan zal aangepast worden als de gemeten bodemdaling de prognose zoals in dit winningsplan beschreven overschrijdt, of als nieuwe inzichten tot een wijziging van de dalingsvoorspelling of seismische risicoanalyse leiden. Een dergelijke actualisatie vereist opnieuw de instemming van de minister van Economische Zaken, waarvoor weer de uniforme openbare voorbereidingsprocedure wordt gevolgd, met advies van de eerdergenoemde adviseurs.

Als voorzien wordt dat de cumulatieve productie uit het voorkomen gaat uitkomen boven de prognose van de uiteindelijke cumulatieve productie zoals in dit winningsplan beschreven, zal dit besproken worden met de minister van Economische Zaken en Klimaat, en SodM.

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

Een klein onderdeel van het winningsplan wordt apart toegezonden aan het Ministerie van Economische Zaken. Dit vertrouwelijke deel bevat bedrijfsgevoelige informatie en openbaarmaking kan VEN's concurrentie-positie in gevaar brengen. Dit onderdeel is daarom niet openbaar. Het onderdeel bevat informatie over de verwachte productiekosten en investeringskosten, alsmede concurrentiegevoelige details over de geplande put en gasvolume berekeningen.

2 Plaats van winning

2.1 Voorkomens in dit winningsplan

Dit winningsplan beschrijft de productie uit het Ernewoude voorkomen. Dit voorkomen is aangetoond door de put ERW-01, die in 1965 geboord is. Een tweede put (ERW-02) is geboord in 2012.

2.2 Overzicht ligging voorkomens en putten

Het Ernewoude gasvoorkomen ligt onder de provincie Fryslân, zie Figuur 2-1. Figuur 2-2 is een topografische kaart met de locatie van het voorkomen, de oppervlakte locaties, de putten, en pijpleidingen. De kadastrale informatie van de aardgasproductie locatie is gegeven in de onderstaande tabel.

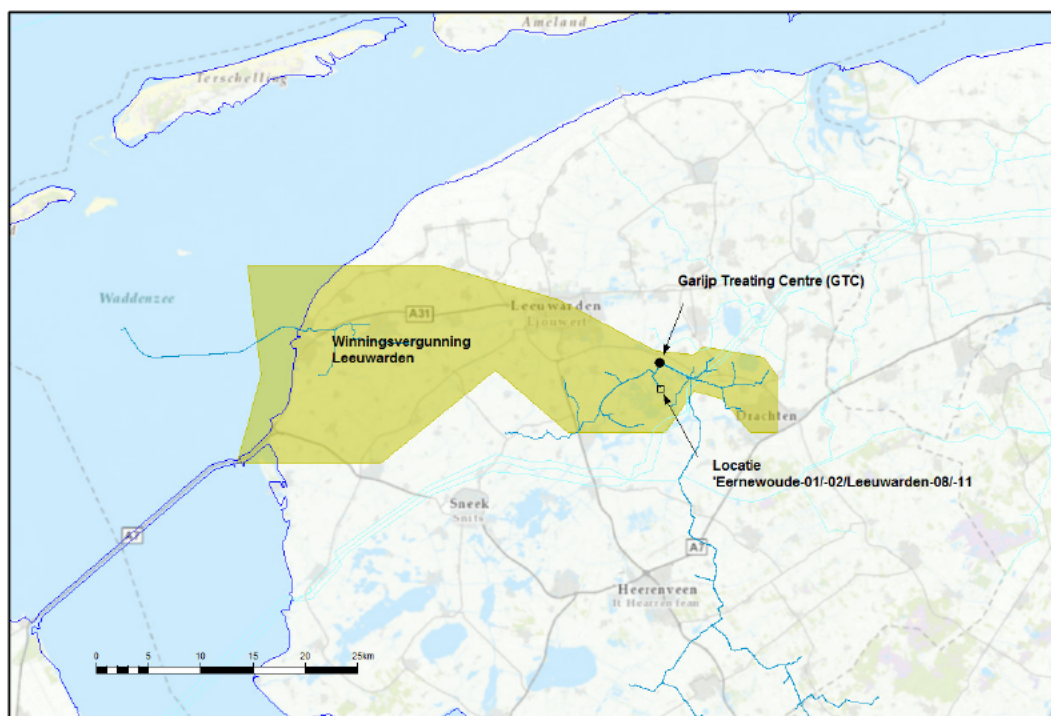
Tabel 2-1 Kadastrale informatie winningslocaties

Mijnbouwlocatie	'Ernewoude-1/-2 / Leeuwarden-08/-11'
Gemeente	Tytsjerksteradiel
Sectie	sectie H
Nummer	1905
Adres	Dominee Bolleman v.d. Veenweg 7A 9264 TA Earnewald
Naam	'Ernewoude-01/-02/Leeuwarden-08/-11'

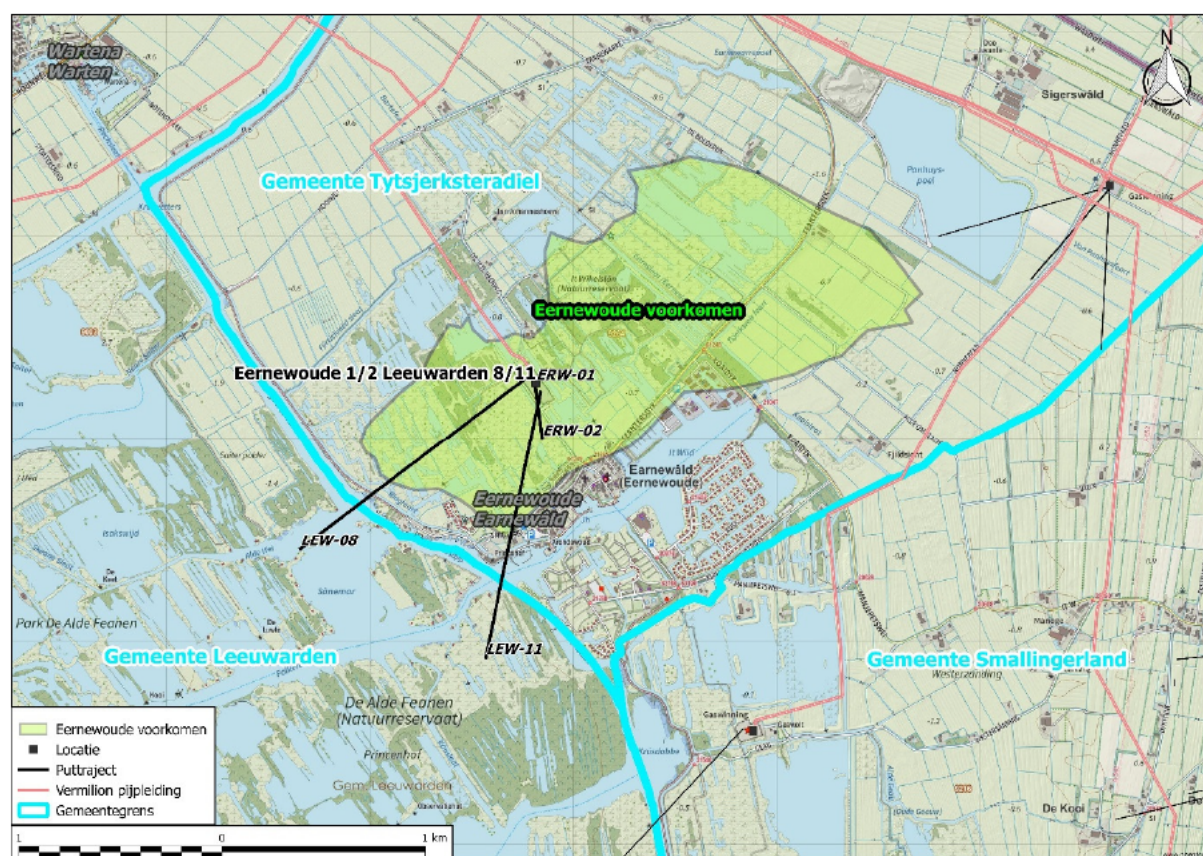
Tabel 2-2 Ligging van het voorkomen ten opzichte van gemeenten, provincies en waterschappen

Voorkomen	Provincie	Waterschap	Gemeente(s)
Ernewoude	Friesland	Wetterskip Fryslân	Tytsjerksteradiel
			Leeuwarden

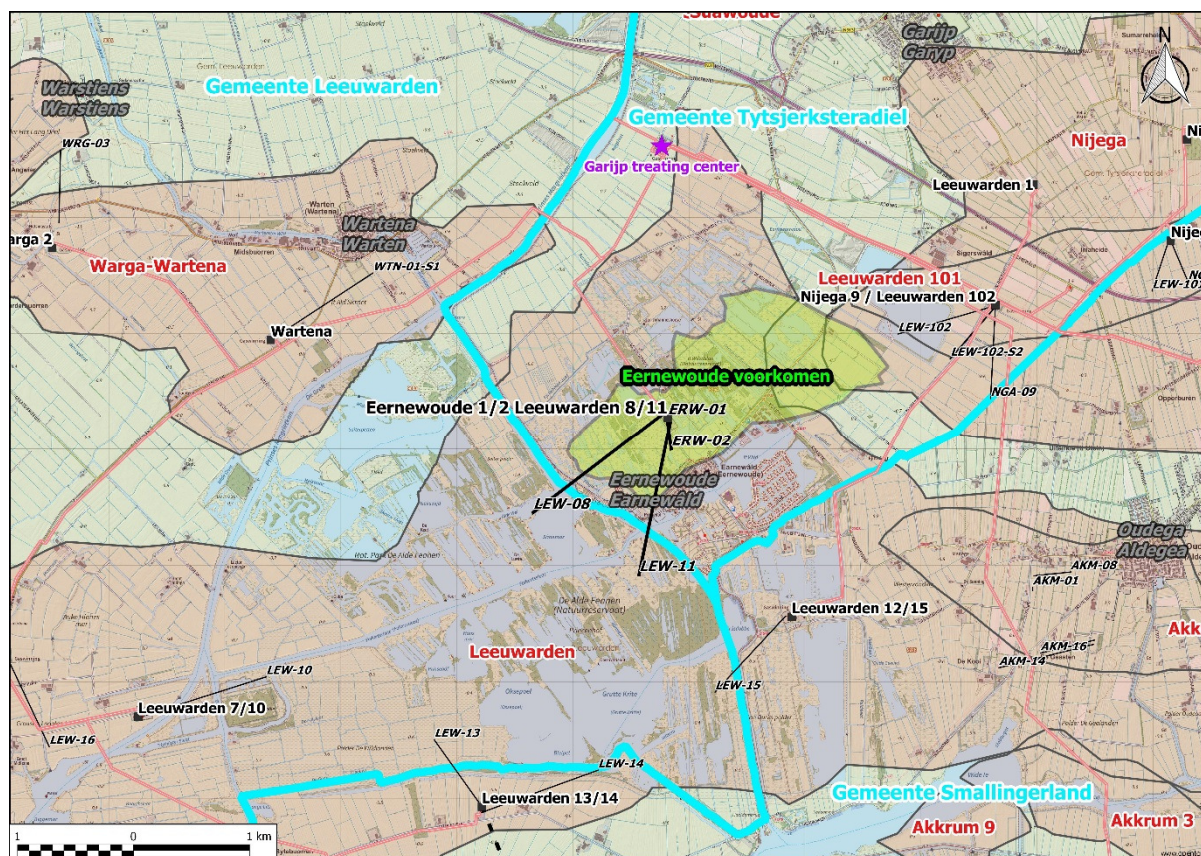
In de bijlage, hoofdstuk 11, is de plattegrond van de locatie 'Ernewoude-01/-02/Leeuwarden-08/-11' opgenomen.



Figuur 2-1: Topografische kaart van provincie Friesland met locaties 'Ernewoude-01/-02/Leeuwarden-08/-11' en Garijp gasbehandelingsstation (GTC), winningsvergunning Leeuwarden (groen) en pijpleidingen (blauw).



Figuur 2-2: Topografische kaart Ernewoude voorkomen, met relevante putten, mijnbouwlocatie 'Ernewoude-01/-02/Leeuwarden-08/-11'. De putten Ernewoude-01, en Leeuwarden-08 en -11 produceren uit een ander voorkomen ('Leeuwarden-Nijega', zie Tabel 3-1 en ref. 20).



Figuur 2-3: Topografische kaart Ernewoude voorkomen met om- en bovenliggende voorkomens, mijnbouwlocaties, putten en pijpleidingen. Boven het Ernewoude voorkomen (Rotliegend), ligt het Leeuwarden voorkomen (Vlieland formatie, zie ref. 20). [De namen van voorkomens in rood, putten in zwart, gemeentes in blauw, plaatsen in grijs.]

2.3 Schematische weergave gas-behandeling en afvoer

Op de locatie 'Ernewoude-01/-02/Leeuwarden-08/-11' wordt het gas van de mee geproduceerde vloeistoffen gescheiden. Water wordt via vrachtwagens afgevoerd en op een externe locatie teruggevoerd in de diepe ondergrond.

In de bijlage, hoofdstuk 12, is het proces-stroomdiagram van aardgaswinningslocaties weergegeven.

Het voorbehandelde aardgas wordt, samen met het condensaat, via een ondergrondse transportleiding getransporteerd naar aardgasbehandelingsstation Garijp (GTC – Garijp Treating Centre). Hier wordt het gas na behandeling en meting via een ondergrondse transportleiding aan de afnemer geleverd.

De aardgaswinningslocatie 'Ernewoude-01/-02/Leeuwarden-08/-11' wordt op afstand gecontroleerd en gemonitord vanuit een permanent bemande controlekamer te GTC. Operators bezoeken regelmatig de locatie voor controles en onderhoud.



Figuur 2-4: Luchtfoto van het Garijp Gasbehandeling Station (GTC).

3 Boringen

3.1 Inleiding: Algemene beschrijving van een put

Figuur 3-1 is een schematische weergave van een gasproductie-put. De belangrijkste onderdelen worden hier besproken.

Een boorgat bestaat uit een telescopisch gevormd gat, waarvan de diameter afneemt met de diepte. Het boorgat wordt verstevigd door middel van een metalen buis: een *casing*. De casing wordt in het boorgat vast gecementeerd. Hierdoor ontstaat een sterk en stabiel boorgat. Door het cement tussen het boorgat en de metalen verbuizing wordt voorkomen dat stroming van vloeistoffen optreedt tussen verschillende aardlagen via de ruimte tussen boorgatwand en verbuizingen. Tijdens het boorproces wordt de sterkte van het cement steeds geverifieerd alvorens naar het volgende stadium van het boorproces te gaan. Over het algemeen zijn er meerdere *casings* binnen elkaar. Het laatste deel van de put bestaat meestal uit een zgn. *liner*: een metalen verbuizing die niet helemaal tot aan de oppervlakte gaat maar eindigt in de laatste casing. Ook de liner wordt vast gecementeerd in zowel de laatste metalen verbuizing als de boorgat-wand.

De bovenste verbuizing (*conductor*) is extra zwaar uitgevoerd en dient behalve voor de stabiliteit ook als fundering voor de putafsluiters.

De diepte waarop een nieuwe buizenserie wordt aangebracht, hangt af van de diepte van het gat, de eigenschappen en de dikte van de aardlagen, hun eigenschappen, en van de druk van de vloeistoffen in de aardlagen. Nadat de laatste verbuizing is gecementeerd wordt de put afgewerkt (*gecompleteerd*). Bij het completeren worden er gaten gemaakt in de metalen verbuizing ter hoogte van het gasreservoir. Dit worden *perforaties* genoemd. Door deze perforaties stroomt het gas van het reservoir de productieput in.

Binnenin de put wordt een productie-stijgbuis, ook wel *tubing* genoemd, gemonteerd. Het gas stroomt door de tubing naar boven. In geval van meerdere reservoirs, wordt een schuifdeur (*sliding sleeve door*) geplaatst waardoor het gas de tubing binnen kan stromen. De productie-stijgbuis zit onderin de put vast met een productie *packer* aan de metalen verbuizing. De ruimte tussen de productie-stijgbuis en de metalen verbuizing wordt *A-annulus* genoemd. De packer sluit de annulus af van de reservoir druk. De druk in deze annulus wordt voortdurend gemonitord om de goede staat, de *integriteit*, van de put te kunnen waarborgen.

Bovenop de put wordt een zogenaamd spuitkruis geplaatst om de put af te sluiten. Het spuitkruis wordt ook wel de *X-mas tree* genoemd. Het bevat de diverse kleppen die nodig zijn om de put te bedienen.

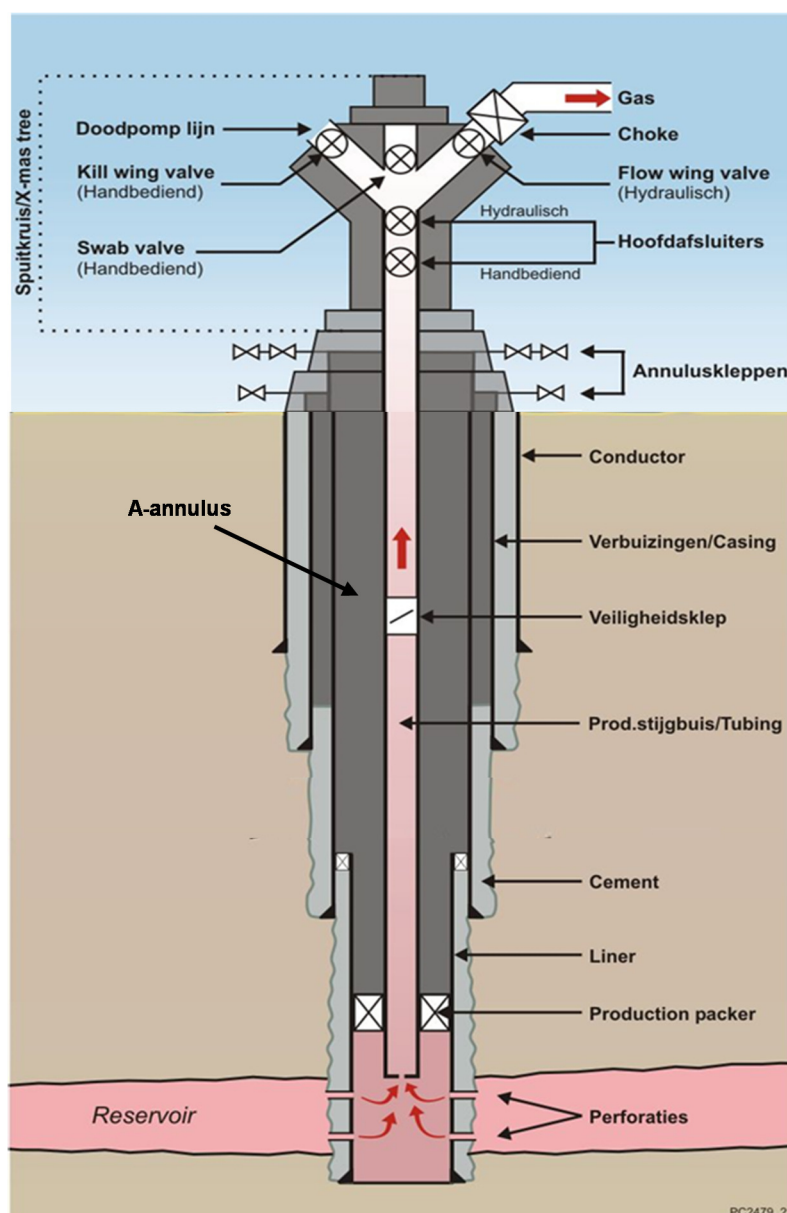
De put is voorzien van beveiligingskleppen. Die kunnen met behulp van hydraulische druk worden geopend, opengehouden en dicht gezet. In de put zijn de volgende beveiligingskleppen aanwezig:

- een ondergrondse veiligheidsklep in de stijgbuis van de put;
- twee hoofdafsluiters op het spuitkruis van de put; de bovenste hoofdafsluiter wordt hydraulisch aangestuurd, de onderste hoofdafsluiter is handbediend.

De put heeft een aansluiting voor het doodpompen van de put, ook wel *Kill Wing Valve* genoemd. Dit doodpompen kan in uitzonderingsgevallen nodig zijn om een reparatie uit te voeren bij een storing aan de put.

Tenslotte is een put voorzien van een *choke* (of knijpstuk) waarmee de productie verhoogd en verlaagd kan worden.

In het algemeen zullen in het spuitkruis, en in de installatie op de put-locatie, meters aanwezig zijn waarmee druk, temperatuur, en gas-stroomsnelheid gemeten kunnen worden.



Figuur 3-1: Schematische weergave van een generieke gasproductie-put. De tekening is *niet* op schaal, bovengronds is de X-mas tree sterk uitvergroot en ondergronds is de diepte sterk ingekort. Zie Figuur 4-2 voor een 1:1 schaal van de doorsnede.

3.2 Overzicht boringen in voorkomen

Tabel 3-1 geeft een overzicht van de geboorde en nog actieve putten in het Eernewoude voorkomen. De geologische formaties worden later in dit document nader besproken (Paragraaf 4.2).

Enkel put ERW-02 produceert uit het Eernewoude voorkomen. De put ERW-01 heeft wel het Eernewoude voorkomen doorboord (ontdekkingsput), maar heeft nooit gas geproduceerd hieruit.

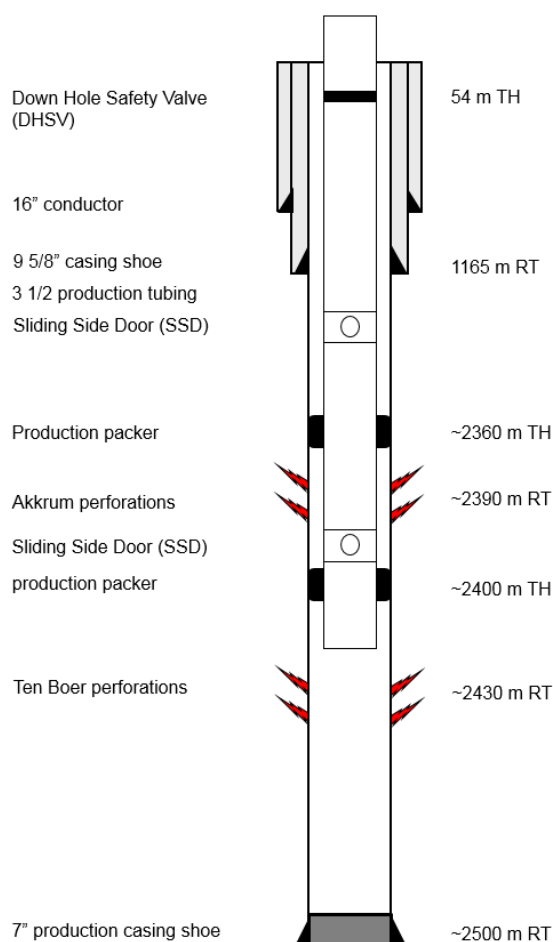
Naast de putten die het Eernewoude voorkomen doorboren zijn vanaf de locatie 'Eernewoude-01/-02/Leeuwarden-08/-11' zijn ook de putten Leeuwarden-08 (LEW-08) en Leeuwarden-11 (LEW-11) geboord naar een ander doel. Deze putten produceren uit het voorkomen Leeuwarden-Nijega (ref. 20).

Tabel 3-1: Status putten vanaf de 'Ernewoude-01/-02/ Leeuwarden-08/-11' locatie. Het Ernewoude voorkomen wordt doorboord door ERW-01 en ERW-02. 'Gedevieerd' betekent dat het boortraject niet recht naar beneden is maar gebogen. De cumulatieve productie die vermeld is, betreft alleen het Ernewoude voorkomen.

Locatie	Put	Jaar boring	Vorm	Formatie in ERW voorkomen	Cumulatieve gas-productie per 1/Jan/2018 [x10 ⁶ nm ³]	Status (1-Jan-2018)
'Ernewoude-01/-02/ Leeuwarden-08/-11'	ERW-01	1965	Verticaal	Ten Boer/ Slochteren	0	Producterend <u>uit</u> <u>ander voorkomen</u> (ref. 20)
'Ernewoude-01/-02/ Leeuwarden-08/-11'	ERW-02	2012	Gedevieerd	Ten Boer	59.3	Producterend
				Slochteren	95.5	Uitgewaterd
'Ernewoude-01/-02/ Leeuwarden-08/-11'	LEW-08	1970	Gedevieerd	-	-	Producterend <u>uit</u> <u>ander</u> <u>voorkomen</u>
'Ernewoude-01/-02/ Leeuwarden-08/-11'	LEW-11	1970	Gedevieerd	-	-	Producterend <u>uit</u> <u>ander</u> <u>voorkomen</u>

3.3 Schematische voorstelling putverbuizing(en)

In de onderstaande figuur is schematisch de verbuizing van de geplande putaftakking weergegeven. De afstanden zijn indicatief, en gemeten door de put ten opzichte van een referentiepunt aan het oppervlak. De geplande put zal gedeeltelijk gedevieerd geboord worden, d.w.z. onder een hoek ten opzichte van verticaal. Het definitieve putontwerp is er nog niet. Het ontwerp van de aftakking zal lijken op dat van de bestaande put ERW-02, afgezien van de perforaties in de Slochteren (zie bijlage, hoofdstuk 13).



Figuur 3-2: Schematische weergave putverbuizing en -completering van de Ernewoude putaftakking met completering in de Ten Boer cyclus 5 (Akkrum) en Ten Boer cyclus 3. De tekening is niet op schaal (sterk verticaal gekrompen). Een gedetailleerdere tekening is in bijlage hoofdstuk 13 te vinden.

3.4 Plaats en wijze waarop koolwaterstoffen in verbuizing treden

De completering van de put bestaat uit perforaties door de 7" casing die de formatie in verbinding stellen met de productie-verbuizing. Via de productie-verbuizing worden de koolwaterstoffen naar het oppervlak geproduceerd.

3.5 Putbehandelingen

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

Daarnaast kan het voorkomen dat er nieuwe perforaties gemaakt worden om een iets groter deel van de formatie met de put in communicatie brengen. Dit duurt ongeveer een dag of twee, en wordt uitgevoerd door een kleine onderhoudsploeg (er is geen boortoren nodig).

Tijdens het leven van de put kan het nodig zijn de diameter van de verbuizing aan te passen, groter als de productiviteit van de formatie beter is dan verwacht, kleiner tegen het eind van het leven als de hoeveelheid condenswater toeneemt. Deze operatie gebeurt met een kleine installatie (een zgn. *workover unit*, geen boortoren).

Tenslotte zullen er gedurende de levensduur van een put diverse andere onderhoudshandelingen plaatsvinden aan verbuizingen, kleppen, etc.

Het met behulp van overdruk stimuleren van de put (*fracken*) wordt niet verwacht omdat de doorlatendheid van het gesteente in het Eernewoude voorkomen voldoende is. Mocht dit inzicht veranderen, dan wordt een gewijzigd winningsplan ter goedkeuring voorgelegd.

Later in het leven van het veld is het mogelijk dat de put opnieuw geperforeerd wordt om de connectie tussen de put en de doel-formaties te verbeteren.

Alle operationele handelingen, waaronder de genoemde, staan onder toezicht van SodM, en worden uitgevoerd overeenkomstig de daarvoor geldende regelgeving.

4 Ondergrond

4.1 Inleiding: hoe worden de ondergrond-eigenschappen gemeten

Aardgas bevindt zich op ongeveer 2 kilometer diepte onder druk in een poreuze gesteentelaag, zoals zandsteen. Doordat de vorm van het voorkomen alleen uit indirecte metingen kan worden vastgesteld, en doordat gesteente-eigenschappen alleen worden gemeten in en vlakbij de putten, bestaat er een onzekerheid over de grootte en de andere eigenschappen van het voorkomen. Voorspellingen zullen daardoor altijd door een onzekerheidsmarge omgeven zijn. De grootte van de onzekerheidsmarge verschilt van parameter tot parameter, en zal dus een verschillende impact op verschillende voorspellingen hebben. In de volgende hoofdstukken worden deze onzekerheidsmarges nader besproken.

De vorm van het voorkomen wordt bepaald uit de analyse van geluidsgolven (zgn. seismiek). De seismiek heeft altijd een zekere mate van ruis. Bovendien zijn de voortplantingssnelheden in de lagen boven het Ernewoude voorkomen onzeker. De exacte diepte van het voorkomen is alleen bekend waar een put het reservoir binnengaat, op een heel klein aantal plaatsen dus. Het gevolg daarvan is dat er een beperkte mate van zekerheid is over de vorm van het voorkomen. De dikte is vaak wat beter bepaald, omdat de dikte van de geologische lagen over het algemeen relatief weinig varieert.

De fysische eigenschappen van gesteente, zoals dichtheid en geluidssnelheid, zijn belangrijke parameters voor het bepalen van gesteente-eigenschappen als porositeit, saturatie en doorlaatbaarheid (permeabiliteit). Deze fysische eigenschappen worden gemeten door middel van boorgatmetingen die verkregen zijn door na het boren van de putten in het Ernewoude voorkomen, meetinstrumenten in de boorgaten te laten zakken.

Uit deze boorgatmetingen worden de eigenschappen berekend van het gesteente rond de boorgaten. De eigenschappen van de gesteenten verder weg van de boorgaten worden verkregen door correlatie tussen de verschillende boorgaten, met behulp van een model van de ondergrond. Inherent hieraan zijn onzekerheden, omdat de eigenschappen van de gesteenten niet overal hetzelfde zijn, en metingen op een klein aantal locaties over een heel voorkomen geëxtrapoleerd moeten worden.

Het Ernewoude voorkomen heeft een lengte van 2-3 km en een breedte van ongeveer 1-2 km. Een boorgat heeft een diameter van gemiddeld 8½ inch of 22 cm, van waaruit de instrumenten ongeveer een decimeter ver kunnen meten. In totaal zijn er 2 putten geboord in het Ernewoude voorkomen, en in het verleden zijn er enkele in de omgeving geboord. Omdat de eigenschappen van maar een heel klein deel van het gesteente echt gemeten zijn, moge duidelijk zijn dat de inschatting van de eigenschappen van het voorkomen als geheel deels op extrapolerende schattingen gebaseerd zijn.

Het gevolg van deze omstandigheden is dat er onzekerheden bestaan over de diverse aspecten van het voorkomen, zoals de hoeveelheid gas, de mogelijke productiesnelheid, het verloop daarvan in de tijd, maar ook over de uiteindelijke bodemdaling. Dat leidt ertoe dat voorspellingen aangaande deze zaken van onzekerheidsmarges voorzien zullen zijn.

4.2 Geologie en gesteente-eigenschappen van het voorkomen

Hieronder staat een beschrijving van de geologische opbouw van het gesteente in het gebied van het voorkomen. Een algemene beschrijving, met nadere uitwerking van de gebruikte begrippen kan bijvoorbeeld gevonden worden in Ref. 14.

4.2.1 Reservoir-formaties en afsluitende lagen

In het Ernewoude voorkomen zit het gas in de *Rotliegend (RO)* gesteente-groep, welke onderverdeeld kan worden in verschillende formaties. Hier zit het gas in de *Ten Boer* en *Slochteren* formaties.

De *Ten Boer (ROCLT)* formatie bestaat uit afwisselende lagen van zand- en kleistenen. Het gas wordt voornamelijk geproduceerd uit de zandsteen-intervallen. De *Ten Boer* formatie is afgezet in vier cycli, en lokaal (en ook in het Ernewoude voorkomen) komt een vijfde cyclus voor. Deze dunne zandsteen bovenop de *Ten Boer* formatie wordt ook wel de *Akkrum* genoemd.

Uit de dieper gelegen zandstenen van de *Slochteren (ROSL)* formatie is reeds gas geproduceerd. Deze formatie is uitgewaterd op hoge druk.

Het voorkomen wordt afgedekt, en afgesloten, door de *Zechstein* anhydriet. De formaties zijn afgezet in het Perm, dat is 250-300 miljoen jaar geleden.

Het doel van de putaftakking is het aanboren van de Ten Boer formatie in het Ernewoude voorkomen. Deze formatie bestaat uit een afwisseling van door wind gevormde duin-afzettingen uit een woestijn-omgeving, en droogvallende meren/stromen in zo'n zelfde omgeving, nabij een zout meer. Deze woestijn was gelegen in een groot oost-west georiënteerd bekken dat het grootste gedeelte van Europa besloeg.

De Ten Boer duinafzettingen hebben fijne tot middelgrote korrels en ze bestaan uit schone kwartzanden. Ze zijn een meter tot enkele meters dik met kleilagen ertussen. De zandlagen nemen ongeveer een derde van de totale hoogte in. Het bovenste gedeelte van de Ten Boer (Akkrum) bestaat uit een pakket fijne zandsteen van enkele meters dik.

De Rotliegend (waarvan de Ten Boer deel uitmaakt) formatie is afgezet op de Limburg groep van het Carboon; de helling van de lagen in het Carboon wijkt af van die in het Rotliegend (discordant). Er wordt niet vanuit gegaan dat het Carboon deel uitmaakt van het Ernewoude gasvoorkomen.

Na afzetting van de Rotliegend heeft er een grote transgressie in het bekken gedurende het boven Perm plaatsgevonden: het gebied werd overspoeld door een zee. Die zee droogde periodiek op, wat leidde tot afzettingen van evaporieten, die daarna weer overspoeld werden. Deze lagen vormen de Zechstein carbonaat-cycli. De evaporieten, anhydriet om precies te zijn, vormen de afsluitende laag van het Ernewoude voorkomen. Die Zechstein 1 is een bewezen afsluitende laag ook in andere voorkomens.

4.2.2 Structuur

De lagen zijn in het algemeen over grote afstanden aanwezig. Door bewegingen van en botsingen tussen de aardplaten in de geologische geschiedenis zijn er golvingen ontstaan in de lagen. Omdat gesteente niet zo buigzaam is leidt dit tot breuken. In dit gebied is het resultaat dat het gesteente uit licht schuin-liggende *breukblokken* bestaat. Het gas zal, omdat het lichter dan water is, zich verzamelen in de hoogste plaatsen; boringen zullen dan ook op zulke plaatsen gericht zijn.

Tijdens het late Trias opende de proto-Atlantische Oceaan tijdens een extensioneel spanningsveld wat het grote afgesloten bekken van het Perm veranderde in kleine afzonderlijke bekkens en hogen begrensd door breuken.

Deze tektonische bewegingen hadden tot gevolg dat het gebied omhoogkwam en daarmee startte een lange periode van erosie. Aanzienlijke hoeveelheden van de Zechstein en Trias afzettingen zijn weg ge-erodeerd. De Jura is niet aangetoond in de omringende putten. Na deze periode van omhoogkomen en erosie, volgde een daling, en een zee-overspoeling (transgressie) in het Krijt. De vorming van de Alpen aan het einde van het Krijt veranderde het spanningsveld naar een compressioneel regime. Dit had invloed op de structuren en het verzet van de breuken in dit gebied.

Het Ernewoude veld is aan drie zijden begrensd door breukvlakken en aan een zijde door de helling van het breukblok. De verticale verplaatsing van de breuken is 10 tot 50 meter waardoor formaties aan weerszijden naast elkaar zijn komen te liggen en zo het reservoir afsluiten. Ook de breuken zelf sluiten het reservoir af zodat koolwaterstoffen niet weglekken.

4.2.3 Bron koolwaterstoffen

Tijdens de geologische geschiedenis worden lagen die organische bestanddelen bevatten soms diep begraven. Dat kan leiden tot het genereren van gas of olie. Hier gebeurde het genereren van gas in het Carboon pakket dat onder de Rotliegend ligt. Van daaruit is het gas naar boven gestroomd en in de Slochteren en Ten Boer lagen van het Ernewoude voorkomen terechtgekomen.

Zoals hierboven besproken, is de Rotliegend formatie afgezet op een Carboon platform. De sedimenten zijn snel begraven onder de laat Perm Zechstein transgressie en het gebied is gaan zakken en is blijven zakken tot aan het Krijt en het Tertiair. Door het snelle begraven, warmde het pakket enorm op, tot aan wel 170 °C tijdens de Jura. Hierdoor konden vloeistoffen uit het gesteente van het Carboon wegvloeien, diagenetische processen zoals mineralisatie kwamen op gang waarbij initiële porositeit en permeabiliteit verminderde. Tegelijkertijd konden koolwaterstoffen naar de Rotliegend zanden migreren, om zo het Ernewoude voorkomen te vullen. Dat proces is waarschijnlijk nog steeds aan de gang.

4.2.4 Geologische doorsnede van voorkomen

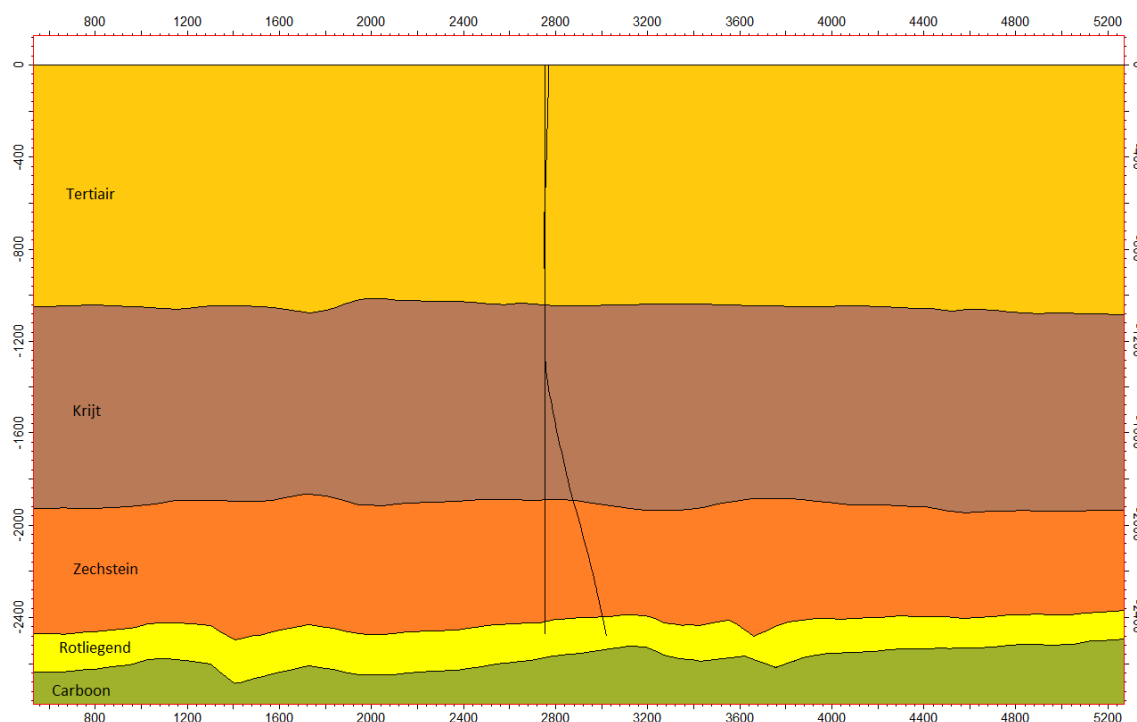
In Figuur 4-1 is een schematische doorsnede van het Ernewoude voorkomen weergegeven. Het gas bevindt zich voornamelijk in de Ten Boer en Rotliegend formaties, welke beide onder de Rotliegend vallen. De Ten Boer kan verder nog verdeeld worden in meerdere cycli zoals ook schematisch is weergegeven in de figuur.

Boven de Rotliegend is de Vlieland formatie aangeduid, die het gas bevat van het Nijega voorkomen.

Deze formatie bestaat uit niet-doorlatende (*impermeabele*) kleilagen afgewisseld met zandlagen en beslaat de bovenste 400 m. Eventueel grondwater bevindt zich hier.

- Onder-Noordzee
Deze formatie bestaat uit impermeabele kleilagen afgewisseld met zandlagen.
- Krijt
 - Ommelanden
 - Texel
Deze formaties bestaan uit krijtsteen
 - Holland
Deze formatie bestaat uit impermeabele kleilagen en mergel.
 - Vlieland
Dit is hier grotendeels een klei formatie die impermeabel is en ongeveer 500 meter dik. Aan de onderkant bevindt zich de Vlieland zandsteen laag waarin gas voorkomt (Leeuwarden-Nijega voorkomen)
- Zechstein: De Zechstein groep bestaat uit afwisselende lagen van impermeabele evaporieten (zoutlagen), carbonaten (kalksteen) en enkele dunne kleistenen.

Het voorkomen is dus op grote diepte gelegen, en er bevindt zich een groot aantal impermeabele lagen tussen het voorkomen en het oppervlak.



Figuur 4-3 Schematische weergave van de lagen boven het Eernewoude voorkomen, inclusief de puttrajecten (ERW-01 en ERW-02). De figuur is op schaal, i.e. niet verticaal uitvergroot.

4.4 Andere gebruiksmogelijkheden van de ondergrond

Er is momenteel geen geothermie project in de directe omgeving van het Eernewoude gasvoorkomen. Gezien de dikte en doorlatendheid van de Ten Boer formaties in deze omgeving, is de geschiktheid van de formatie voor geothermische projecten gering. De toekomstige Ten Boer winning heeft naar verwachting geen effect op de Slochteren laag.

Grondwaterwinning vindt plaats op ongeveer 3 km afstand van de Eernewoude locatie (Figuur 8-1), op 30-70m diepte. Er is geen interactie.

Gasopslag en zoutwinning zijn niet voorzien.

5 Ontwikkelingsvooruitzichten

5.1 Inleiding

Het Ernewoude voorkomen ligt in het oostelijke deel van de Leeuwarden winningsvergunning. Het voorkomen is in 1965 aangetoond met de put ERW-01. ERW-01 werd echter gecompliceerd in de Vlieland formatie, zijnde het primaire doel. Productie uit het Ernewoude voorkomen vond plaats met de put ERW-02 (Tabel 5-1).

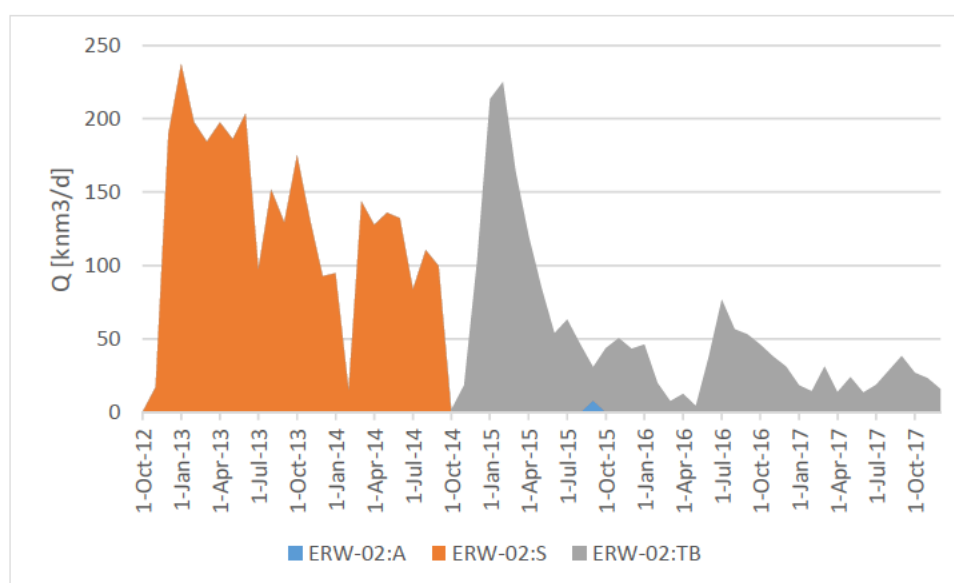
5.2 Historische productie en productie-gedrag

Gasproductie uit het Ernewoude voorkomen vindt plaats sinds 2012 met put ERW-02 (Tabel 5-1). De totale productie tot 1-Januari-2018 bedraagt 155 MMnm³.

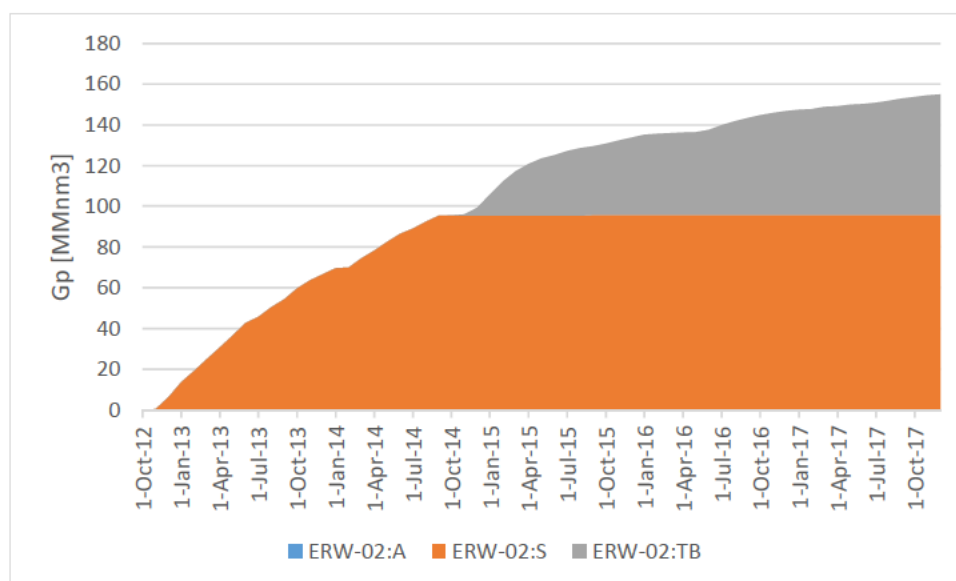
Tabel 5-1 Belangrijkste gebeurtenissen in de geschiedenis van het Ernewoude voorkomen

Datum	Gebeurtenis
1-dec-65	Put ERW-01 toont gas aan in het Ernewoude voorkomen. De put wordt geperforeerd in de (bovengelegen) Vlieland.
1-sep-12	Put ERW-02 wordt geboord.
27-nov-12	ERW-02 start productie uit Rotliegend Slochteren.
21-okt-14	ERW-02 watert uit in Rotliegend Slochteren, perforaties worden afgesloten door middel van een plug.
22-okt-14	ERW-02 start productie uit Ten Boer (Cyclus 1)
16-sep-15	ERW-02: wissel van Ten Boer Cyclus 1 naar Cyclus 5 (Akkrum)
2-okt-15	ERW-02: wissel terug naar de Ten Boer Cyclus 1. (Cyclus 5 [Akkrum] = klein compartiment)
1-mrt-16	ERW-02: additionele perforaties in de Ten Boer Cyclus 3

Figuur 5-1 laat de productie-snelheid van het Ernewoude voorkomen zien. Figuur 5-2 laat de cumulatieve productie zien.



Figuur 5-1: Productie-snelheid historie Ernewoude gasvoorkomen (put ERW-02)



Figuur 5-2: Cumulatieve gasproductie historie Ernewoude gasvoorkomen (put ERW-02)

5.3 Onzekerheden

Ondanks het feit dat er lang gas geproduceerd is uit het Ernewoude voorkomen, zijn er nog steeds onzekerheden:

1. De gasproductie-snelheid van de geplande putaftakking.
2. De hoeveelheid gas die met de putten verbonden is.
3. De mate waarin de aanpalende breukblokken ook gas-gevuld zijn.
4. De mate waarin waterproductie de gasproductie zal hinderen of uiteindelijk stoppen.

Deze onzekerheden zullen afnemen door monitoring van reservoir gedrag naarmate er meer geproduceerd wordt, en door gegevens uit de boring van de aftakking en eventuele toekomstige boringen of hercompletering, mochten die nodig zijn.

5.4 Winningsstrategie & reservoir management

De winning vindt plaats door middel van natuurlijke stroming door de aanwezige reservoirdruk (zgn. 'depletion drive'). Er wordt geen injectie toegepast.

Het gas in het Ernewoude voorkomen zal zodanig worden gewonnen dat de faciliteiten optimaal worden benut.

Op het moment van schrijven produceert ERW-02 uit de Ernewoude Ten Boer (Cyclus 3), met een totale productie uit de Ten Boer van 59 miljoen nm³ op 1-1-2018. De toekomstige productie vanaf 1-1-2018 uit Ten Boer cyclus 3 door ERW-02 wordt geschat op 7 – 22 miljoen nm³, resulterend in een totale productie van 66 – 81 miljoen nm³. Dit correspondeert met een winningsfactor (geproduceerd gas als percentage van het aanwezige gas) van het Ernewoude Ten Boer deelvoorkomen van 15% tot 30%, gebaseerd op een totale hoeveelheid gas van 200-700 miljoen nm³ gas in de Ten Boer formatie. De verwachte uiteindelijke winningsfactor van dit volume ligt rond de 40% (range 15%-70%). Dit is relatief laag, maar gezien de geringe dikte van de zandlaagjes in de Ten Boer cycli is een beperkte *drainage radius* te verwachten.

De reservoir-prestaties worden gemonitord door:

- Voortdurende drukmeting in het spuitkruis (kan van afstand uitgelezen worden).
- Water-, condensaat- en gas-productiemetingen (kunnen van afstand uitgelezen worden).
- Regelmatige drukmetingen beneden in de verbuizing.
- Als nodig, gas-verzadigings-logs (*saturatie-logs*) om veranderingen in het gas water contact rond de put te monitoren.

Indien het reservoir verder uitgeput raakt, zou eventueel compressie op de locatie 'Ernewoude-01/-02/Leeuwarden-08/-11' toegepast kunnen worden. Compressie maakt het mogelijk het gas uit een voorkomen dat zelf niet genoeg druk meer heeft, toch naar GTC te pompen.

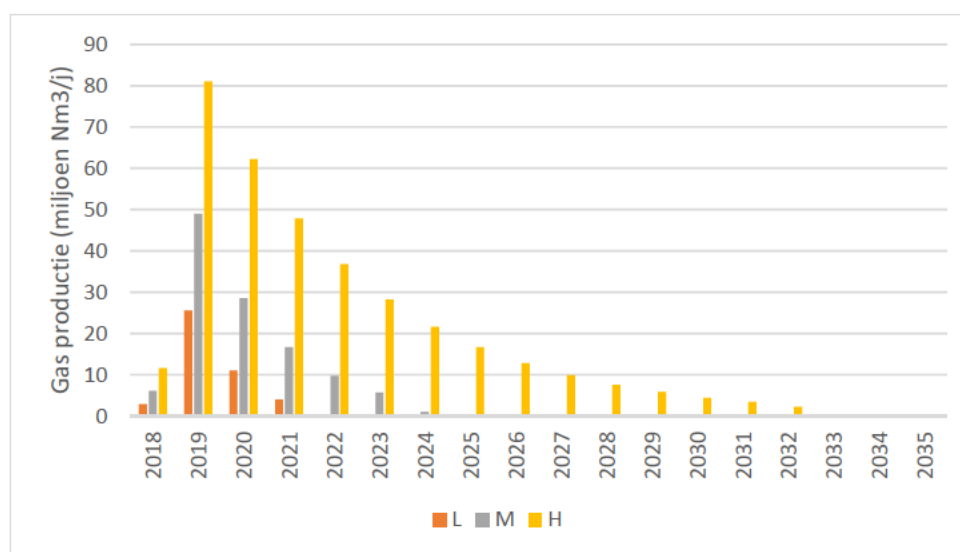
5.5 Vooruitzichten voor winningssnelheid (hoeveelheden per voorkomen/per jaar)

De te verwachten productieprofielen van het Ernewoude voorkomen, uit de aftakking van put ERW-01 of ERW-02, zijn in deze paragraaf weergegeven. Er zijn drie productieprofielen gegeven (Laag, Midden, Hoog) om de onzekerheid in tijd en volume aan te geven.

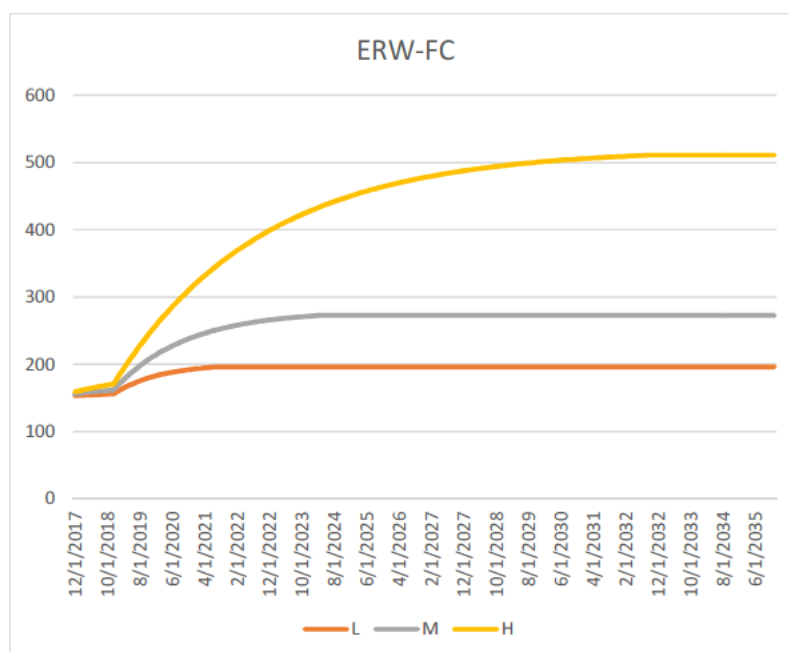
De werkelijk gerealiseerde productie zal niet precies overeenkomen met (één van) de hieronder geschetste profielen (Figuur 5-3, Figuur 5-4, Tabel 5-2). Hier is aangenomen dat de productie d.m.v. de putaftakking zal starten op 1-1-2019. De daadwerkelijke start kan echter eerder of later zijn, afhankelijk van wanneer precies geboord wordt, en van de productieresultaten van de bestaande putten. Daarenboven kan bijvoorbeeld ook het gedrag van andere putten die in dezelfde pijpleiding produceren, de druk in die pijpleiding beïnvloeden, en dus ook de precieze productiesnelheid te Ernewoude. Hetzelfde geldt voor onderhoudshandelingen op de putlocatie, in GTC, of aan de pijpleiding. De weergegeven profielen zijn dus indicatief.

De gegeven getallen in Figuur 5-3 zijn jaartotalen. Op een dag-basis zullen er variaties optreden, en kunnen dus andere waarden voorkomen.

De totale productie op de 'Ernewoude-01/-02/Leeuwarden-08/-11' locatie zal binnen de grenzen blijven die door de relevante vergunning gesteld is aan die locatie. Zo begrenst de Omgevingsvergunning de maximaal toegestane dagproductie (Hoofdstuk 8).



Figuur 5-3: Productie-snelheid voorspellingen voor de productie uit de geplande aftakking, en uit de voortgaande productie uit de bestaande put ERW-02. Zie tekst voor een beschrijving van de redenen voor onzekerheid in productie-snelheid.



Figuur 5-4: Ernewoude productie-hoeveelheid voorspellingen. Zie tekst voor een beschrijving van de redenen voor onzekerheid in productie-hoeveelheid.

Tabel 5-2 Productiegetallen, conform Figuur 5-3, in miljoen nm³. De verwachting is dat uit het Ernewoude voorkomen door middel van extensie van de huidige ERW-02 productie en een putaftakking nog 43-352 miljoen nm³ geproduceerd kan worden.

Voorspelling jaarlijkse productie Ernewoude voorkomen, miljoen nm³			
Jaar	L	M	H
2018	3	6	12
2019	26	49	81
2020	11	29	62
2021	4	17	48
2022	0	10	37
2023	0	6	28
2024	0	1	22
2025	0	0	17
2026	0	0	13
2027	0	0	10
2028	0	0	8
2029	0	0	6
2030	0	0	4
2031	0	0	3
2032	0	0	2
2033	0	0	0
2034	0	0	0
2035	0	0	0
Total	43	117	352

5.6 Duur van de winning

De productie zal worden gestopt als de totale productiekosten de productie opbrengsten zullen overstijgen. Verwacht wordt dat dit uiterlijk 13 jaar na de start van productie zal gebeuren. Bij goedkeuring van dit winningsplan in 2019 zal dat dus 2032 zijn.

Einde van de productie zou eerder of later kunnen plaatsvinden als gevolg van onverwachte technische of andere oorzaken. In het bijzonder kan de productie uit andere, toekomstige, voorkomens in de pijpleiding naar GTC de gasstroom van 'Eernewoude-01/-02/Leeuwarden-08/-11' naar GTC hinderen, waardoor de jaarlijkse productie lager wordt, en waardoor de uiteindelijke productie-beëindiging vertraagd wordt.

De einddatum van productie is dus onzeker, niet alleen vanwege onzekerheden in de analyse van de ondergrond, maar ook doordat toekomstige operationele ontwikkelingen niet allemaal voorspeld kunnen worden. Bovendien kan de termijn voor de afronding van de wettelijke procedures niet geheel voorspeld worden.

5.7 Jaarlijks eigengebruik bij winning

Er zal geen eigen gebruik zijn van koolwaterstoffen op locatie.

5.8 Jaarlijks bij winning afgeblazen/afgefakkelde koolwaterstoffen

De hoeveelheid afgefakkeld en afgeblazen aardgas is marginaal en beperkt zich tot hoeveelheden die verloren gaan bij het druk-vrij maken van het systeem in verband met geplande onderhouds- en inspectiewerkzaamheden.

5.9 Gassamenstelling en stoffen die jaarlijks worden mee geproduceerd

Tabel 5-3 geeft een gedetailleerde analyse van het Eernewoude gas.

Tabel 5-3: Gedetailleerde analyse van het Eernewoude gas, en analogen.

Component	ERW-1 1965 FIT, Akkrum	ERW-2 Akkrum (bottle A01424)	ERW-2 Ten Boer (bottle A01447)	ERW-2 Slochteren (bottle A01439)
He	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%
H ₂ S	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%
CO ₂	1,470%	1,570%	1,620%	1,640%
N ₂	18,840%	18,550%	19,160%	19,840%
C ₁	75,140%	76,120%	75,320%	74,730%
C ₂	3,490%	2,830%	2,870%	2,810%
C ₃	0,640%	0,530%	0,590%	0,560%
i-C ₄	0,090%	0,080%	0,090%	0,090%
n-C ₄	0,150%	0,110%	0,130%	0,120%
i-C ₅	0,000%	0,030%	0,030%	0,030%
n-C ₅	0,180%	0,050%	0,050%	0,050%
C ₆	0,000%	0,040%	0,050%	0,040%
C ₇₊	0,000%	0,001%	0,001%	0,001%

Met het aardgas worden water (condenswater en formatiewater) en aardgascondensaat mee geproduceerd. In de tabel hieronder is een schatting gemaakt van de maximaal meegeproduceerde hoeveelheden. De gegeven waterproductie wordt mogelijk verwacht ten tijde van lage gasproductie tegen het einde van het leven van de put.

Tabel 5-4: Maximum water- en condensaat productie-verwachtingen voor het Eernewoude voorkomen. Het is mogelijk dat op het eind van het veld-leven meer formatie water meegeproduceerd wordt.

Max. mee-geproduceerde stoffen	
Water productie	10 m ³ /MNm ³
Aardgascondensaat	5 m ³ /MNm ³

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

Op de locatie 'Eernewoude-01/-02/Leeuwarden-08/-11' worden geen stoffen in de ondergrond teruggebracht.

Het geproduceerde water wordt via vrachtwagens naar een externe locatie getransporteerd, en daar in de diepe ondergrond teruggebracht. Het transport zal binnen de grenzen blijven die door de relevante vergunningen gesteld zijn.

Het condensaat wordt, samen met het aardgas, via een ondergrondse transportleiding getransporteerd naar aardgasbehandelingsstation Garijp (GTC).

6 Bodemdaling

De bodemdalingsprognose laat zien dat de bodemdaling door verdere winning uit het Eernewoude voorkomen onder de 0.7 cm zal uitkomen.

De reeds opgetreden bodemdaling ten gevolge van winning uit het Eernewoude voorkomen wordt geschat op 0.5 cm. De winning uit de Slochteren, die van 2012 tot 2014 plaatsvond, levert naar schatting een bijdrage hieraan van 0.4 cm. De overige 0.1 cm is de bijdrage van de historische Ten Boer winning.

De gecombineerde bodemdaling t.g.v. winning in het verleden, uit dit en andere voorkomens (met name het Leeuwarden-Nijega voorkomen) is op dit moment ongeveer 5 cm. De bijdrage van de andere voorkomens zal naar verwachting minder dan 0.5 cm toenemen, omdat het overgrote deel van deze productie in het verleden ligt (Ref. 15, 18).

De gecombineerde uiteindelijke bodemdaling is naar schatting maximaal 6.2 cm. De totale toekomstige daling is minder dan 2 cm (zie par. 6.3).

6.1 Inleiding: hoe komt bodemdaling tot stand

6.1.1 Gaswinning

Aardgas zit op ongeveer 2 kilometer diepte onder druk in een poreuze gesteentelaag, zoals zandsteen- of kalksteen-lagen. Het reservoir wordt afgesloten door een niet-doorlatend gesteente, bijvoorbeeld een kleisteen, anhydriet, of steenzout. Hier zit, zoals besproken, het gas in de Rotliegend laag, afgesloten door Zechstein anhydrieten.

De lagen zijn in het algemeen over grote afstanden aanwezig. Door bewegingen van en botsingen tussen de aardplaten in de geologische geschiedenis is er reliëf ontstaan in de lagen. Het gas zal, omdat het lichter dan water is, zich verzamelen in de hoogste plaatsen; boringen zullen dan ook op zulke plaatsen gericht zijn.

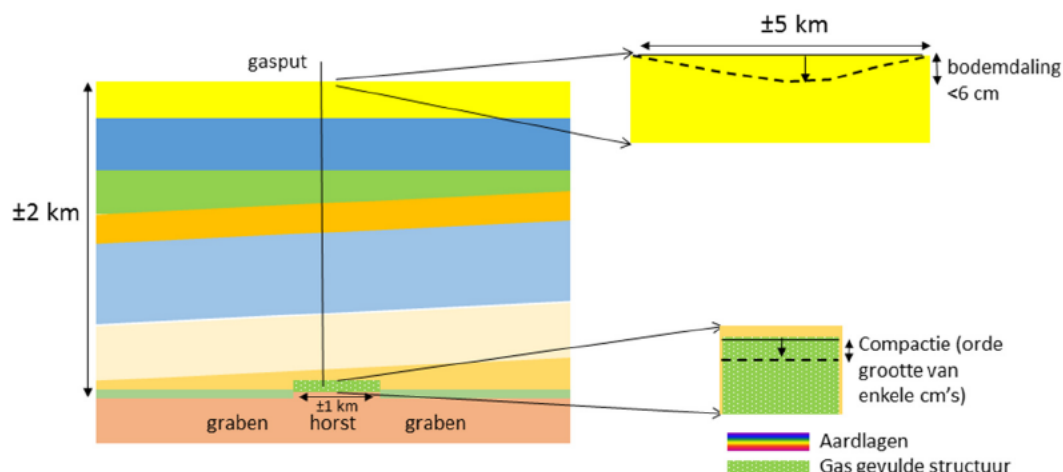
Bij gaswinning laat men het gas ontsnappen door een put die in het hoogste punt van het reservoir geplaatst wordt. Als gevolg van het ontsnappen van het gas zal de druk in het reservoir dalen. De winning stopt als de druk zo laag is dat er onvoldoende gas door de put naar boven stroomt, of als de drukdaling ertoe leidt dat het reservoir gesteente rond de put volloopt met water.

6.1.2 De oorzaken van bodemdaling

Het gevolg van de drukdaling in het reservoir is dat het reservoir compacteert, d.w.z. dat de poriën een klein beetje inzakken als gevolg van het gewicht van de bovenliggende aardlagen doordat de tegendruk van het gas vermindert.

De mate van compactie hangt af van de gesteente-eigenschappen, en van de hoeveelheid drukdaling. Een vuistregel is dat de compactie 0,1% tot 0,2% van de hoogte van het reservoir bedraagt bij maximale drukdaling in het reservoir, aan het einde van de levensduur van het voorkomen.

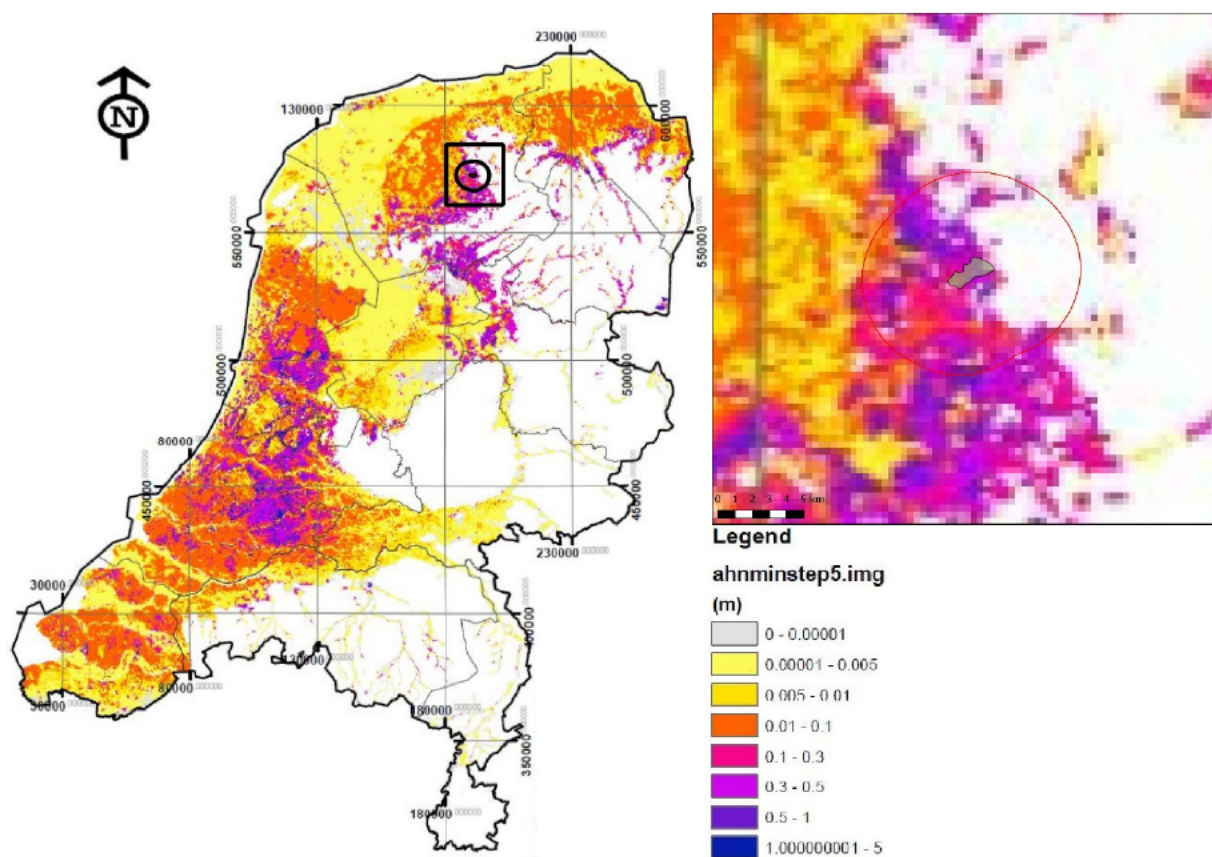
Als het reservoir compacteert op ± 2 km diepte, zullen ook de lagen erboven een beetje inzakken. Bij dat dalingsproces verdeelt het volume van de compactie zich, zodat aan de oppervlakte een bodemdalingskom ontstaat. De dalingskom heeft de vorm van een heel platte schotel. Aan de randen gaat de daling geleidelijk naar nul, in het midden vindt de grootste daling plaats. Het volume van de kom is ongeveer even groot als de volumeverandering van het reservoir. Het oppervlak van de kom is groter dan het oppervlak van het reservoir; aan alle kanten komt er een afstand bij ongeveer gelijk aan de diepte van het reservoir. Hierdoor is de bodemdaling op het diepste punt van de kom aan de oppervlakte minder dan de compactie op ± 2 km diepte in het reservoir. Figuur 6-1 geeft dit schematisch weer voor een reservoir op 2 km diepte met een doorsnede van 1 km.



Figuur 6-1: Schetsmatige, generieke, doorsnede van een gasreservoir.

6.1.3 Autonome bodemdaling

Naast bodemdaling door mijnbouwactiviteiten, vindt er ook zogenaamde *autonome* bodemdaling plaats. Die is onafhankelijk van de gaswinning. Dat gebeurt door verschillende mechanismes, waar veen- en klei-inklinking er een van is. Door Deltares is de autonome maaivelddaling in heel Nederland in kaart gebracht (ref. 1). Die bodemdaling is gerelateerd aan de samenstelling van de ondiepere ondergrond (bijvoorbeeld aan de aanwezigheid van veen en klei). Rond het Eernewoude voorkomen komen waarden van rond de 30 cm over een periode van 50 jaar voor (Figuur 6-2).



Figuur 6-2: Maaiveld daling 50 jaar na 2011 (Deltares, ref. 1), schaal in m. De locatie van Eernewoude is aangegeven, de inzet geeft een uitvergroting. De cirkel geeft een straal van 5 km rond het voorkomen.

6.1.4 Meten en voorspellen van bodemdaling

In het kader van de gaswinning moet er een *meetplan* opgesteld worden. Hierbij wordt de bodemdaling in een ruim gebied rondom het gasvoorkomen gemeten. Dat gebeurt door waterpassing op een reeks punten in een *meetnet*, boven en rondom het voorkomen, vaak aangevuld met GPS metingen op specifieke locaties. Voor het opstellen van een meetplan bestaan wettelijke regels en de zogenaamde 'Industrieleidraad – Geodetische basis voor Mijnbouw' (Ref. 2). 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 goedkeuring van de minister van Economische Zaken.

De nauwkeurigheid van deze metingen hangt af van de specifieke vorm van het meetnet, en van de mogelijkheid goed gefundeerde peilmerken te plaatsen. In het algemeen zullen de metingen een onnauwkeurigheid van 2-5 mm hebben. Bij de analyse van de metingen moet dan nog bekeken worden in welke mate ze door autonome bodemdaling beïnvloed worden. In dit gebied zijn er verschillende zulke effecten zichtbaar (Ref. 18).

Als bodemdalingsgebieden van verschillende voorkomens overlappen, dan zullen ook de meetplannen overlappen. In sommige gevallen zal er dan voor gekozen worden de meetplannen samen te voegen, ook weer in overleg met SodM. Dat is hier het geval, en de daling wordt gemonitord door een meetplan voor het hele oostelijk deel van de Leeuwarden concessie (Ref. 15).

Voorafgaand aan de winning wordt er een model gemaakt om de bodemdaling te voorspellen. De complexiteit van het model zal afhangen van de complexiteit van de ondergrond-situatie. De parameters in het model zijn gebaseerd op ervaringen in eerdere, soortgelijke, voorkomens. De voorspelde bodemdaling wordt vastgelegd in dit document.

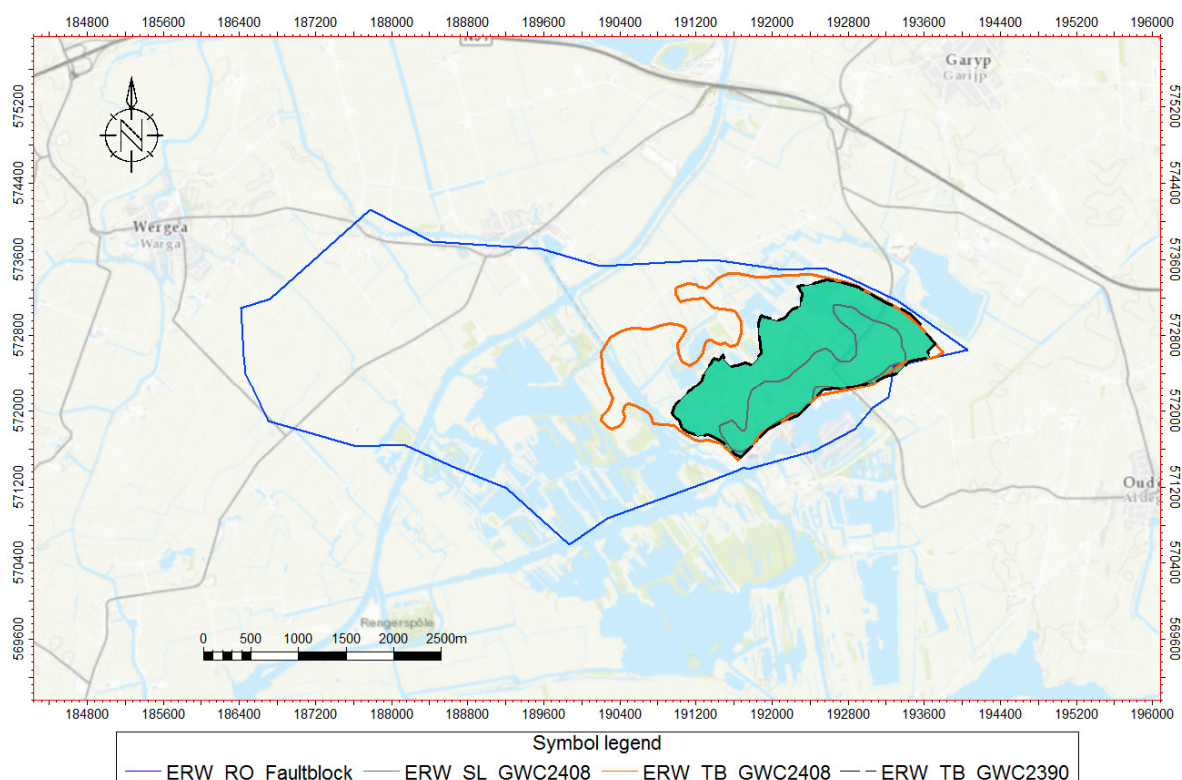
Omdat het diepte-verloop van de lagen alleen indirect gemeten kan worden, en de eigenschappen van de gesteentelagen maar op enkele punten bekend zijn (uit eerdere boringen), zijn er onzekerheden in de voorspellingen voor de grootte van een gasvoorkomen. In veel gevallen zal het voorafgaand aan de boring niet zeker zijn of er wel gas aanwezig is. Daarnaast zal er enige onzekerheid zijn over specifieke parameters (zoals samendrukbaarheid) van het gesteente. Het gevolg is dat de dalingsvoorspelling door onzekerheidsmarges omgeven is. Deze onzekerheidsmarges worden ook in dit winningsplan besproken.

Mocht de gemeten bodemdaling onverhoopt niet verlopen overeenkomstig de in het winningsplan aangegeven voorspellingen, dan zal Vermilion de bodemdalingsmodellen en de parameters van het model evalueren om te achterhalen waarom de gemeten waarden niet overeenkomen met de voorspellingen. Vermilion zal SodM als toezichthouder hierover informeren. Wanneer wordt geconcludeerd dat de maximale verwachte bodemdaling zoals in het winningsplan aangegeven zal worden overschreden, zal Vermilion een aangepast winningsplan indienen. Dit aangepaste winningsplan behoeft de instemming van de Minister.

6.2 Bodemdalingsmodel & historische bodemdaling

De te verwachten bodemdaling is berekend aan de hand van de publicatie van G.H.C. van Opstal (ref. 12). Deze methode is verwerkt in het computer programma MATLAB, volgens een methode die door TNO opgezet is, en door SodM goedgekeurd. Voor de diverse parameters die van belang zijn in de bodemdaling, zoals de compactie-coëfficiënt en de voorkomenscontouren zijn onzekerheidsmarges aangenomen. De resultaten worden door SodM en TNO gecontroleerd.

De contouren van het voorkomen die gebruikt zijn voor de bodemdaling berekeningen zijn gebaseerd op het gas water contact (GWC). Daarnaast is een uitgebreide versie van de contour van het voorkomen gebruikt om het effect van een mogelijke aquifer mee te nemen, waarbij het hele breukblok, inclusief water, is betrokken (Figuur 6-3). De gaswinning in de Slochteren formatie van het Eernewoude voorkomen in ERW-02 is uiteindelijk door water-instroming beëindigd bij geringe (30 bar) drukval. Dit gedrag wordt niet zonder meer verwacht in de Ten Boer formatie omdat de reservoir-lagen hierin dunner zijn en een kleinere fractie permeabel gesteente bevatten dan de Slochteren formatie. Daarnaast zijn de gesteente-eigenschappen in het watervoerende deel onbekender dan die in het gasvoerende deel (de meeste putten zijn immers in gas-lagen geboord). Bijgevolg is de uitgebreidheid van het gebied waarin de druk daalt als een onzekerheid meegenomen.



Figuur 6-3: Contouren van het depletiegebied die zijn meegenomen in de bodemdalingsberekening. Zie tabel 14-1 voor de uitleg welke contouren voor welke berekening gebruikt zijn.

Ook voor de andere parameters in de bodemdaling, zoals de compactie-coëfficiënt, zijn onzekerheidsmarges aangenomen.

De bodemdaling ijlt over het algemeen na bij de drukdaling. Dit wordt gemodelleerd door middel van een zogenaamde 'eerste orde' (of 'time decay') correctie. Een analyse van NAM (ref.13) laat een vertraging (τ) van ongeveer 3 jaar zien. Dat is in overeenstemming met de ervaringen van Vermilion. Ook deze parameter is met een onzekerheidsmarge meegenomen.

De bodemdalingsberekeningen vormen een combinatie van al deze effecten en onzekerheden. Meer specifiek, is voor een groot aantal parametercombinaties de bodemdaling uitgerekend. Dit geeft een scala aan mogelijke uitkomsten, die tezamen een gemodelleerde waarschijnlijkheidsverdeling vormen. De waarschijnlijkheidsverdeling representeert de onzekerheid in de voorspelling. In de bijlage, Hoofdstuk 15, is de dalingsberekening in meer detail gerapporteerd.

In 2013 is een bodemdalingsmeting gedaan (zie bijlage, hoofdstuk 16). Het invloedsgebied van Eernewoude is helemaal afgedekt door het Leeuwarden-Oost meetplan. In dit gebied is er een sterke overlap van de verschillende bodemdalingskommen. Dit maakt het onmogelijk om uit de bodemdalingsmetingen rechtstreeks (i.e. zonder modelberekeningen) de individuele bijdragen te isoleren. Op basis van de modellering en de metingen wordt een totale gezamenlijke daling van 4-5 cm tot nu geschat in deze regio (Ref. 15, 18).

6.3 Bodemdalingsvooruitzichten en -onzekerheid

De historische en toekomstige maximale bodemdaling in het diepste punt van de dalingskom boven het Eernewoude voorkomen is samengevat in Tabel 6-1. De bodemdaling ten gevolge van winning uit het Eernewoude voorkomen is weergegeven in Figuur 6-5 voor de Ten Boer, waar de toekomstige winning zal plaatsvinden. De samengestelde bodemdaling inclusief andere voorkomens, en inclusief de historische Slochteren productie, is gegeven in Figuur 6-6. Figuur 6-7 geeft weer hoe de modelberekening van de bodemdaling op het diepste punt boven het Eernewoude voorkomen gekalibreerd is aan de gemeten bodemdaling.

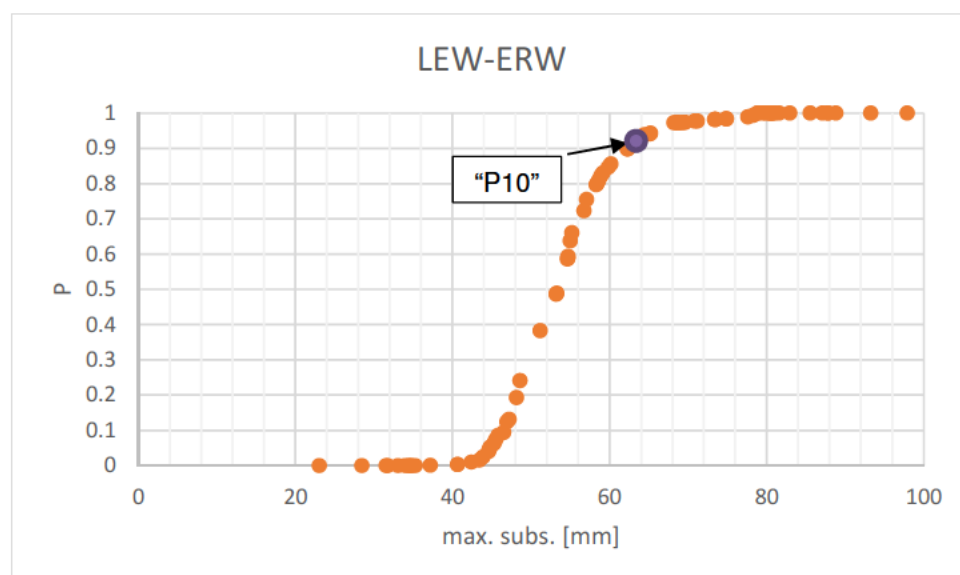
Tabel 6-1: *Historische en toekomstige bodemdaling op het diepste punt van dalingskom boven het Ernewoude voorkomen*

Bodemdaling in cm	Historisch	Toekomstig (P10)	Totaal
t.g.v. winning uit Ernewoude voorkomen	0.5	0.7	1.2
t.g.v. winning uit andere voorkomens	4.7	0.3	5.0
Totaal	5.1	1.1	6.2

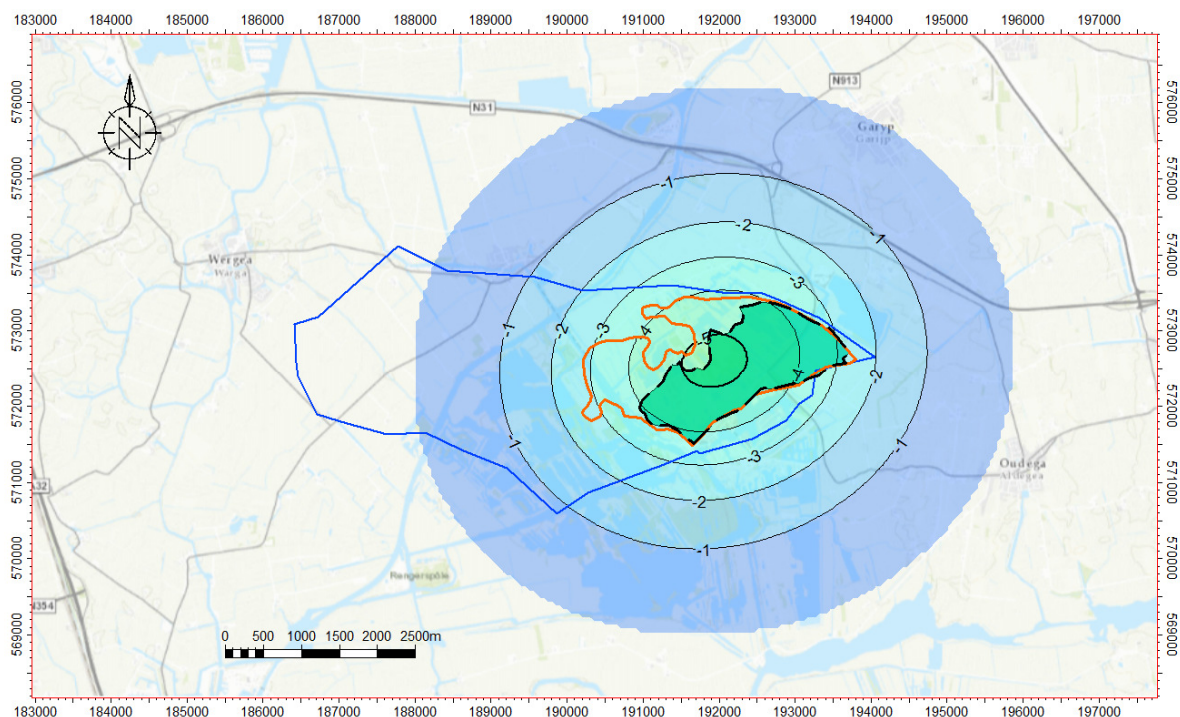
Met de onzekerheidsmarge wordt als volgt omgegaan: om een conservatieve (ongunstige) schatting te geven, is het gebruikelijk de zogenaamde *P10* waarde te gebruiken. Dat is de waarde die met een 90% zekerheid niet overschreden wordt.

De *P10* waarde voor de toekomstige bodemdaling ten gevolge van verdere winning uit het Ernewoude voorkomen is 0.7 cm op het diepste punt. Zoals besproken, heeft de winning uit alle voorkomens in Leeuwarden-Oost ter plaatse 'Ernewoude-01/-02/Leeuwarden-08/-11' tot nu toe ongeveer 5 cm daling veroorzaakt. De daling door verdere winning in Ernewoude is dus klein t.o.v. de bestaande dalingskom.

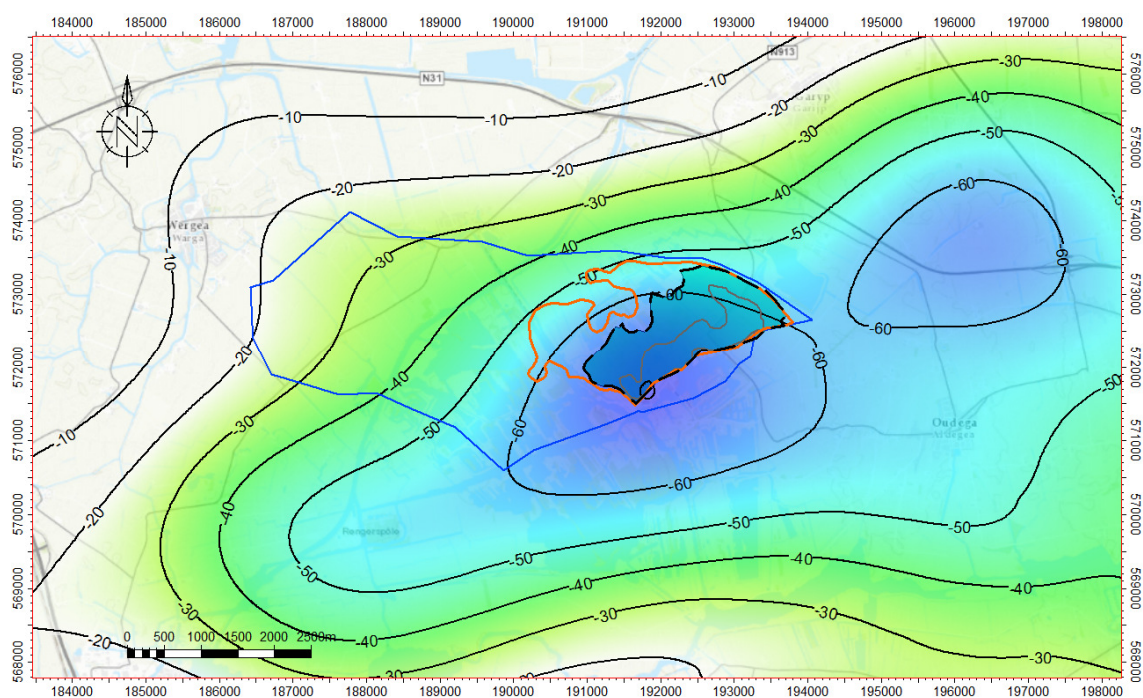
Gezien de kleine daling, en de overlappen tussen de kommen (en vanwege de ruis en meetonzekerheden in dit meetplan, (zie Hoofdstuk 15), is het niet te verwachten dat de daling ten gevolge van de winning uit Ernewoude op zichzelf waarneembaar is.



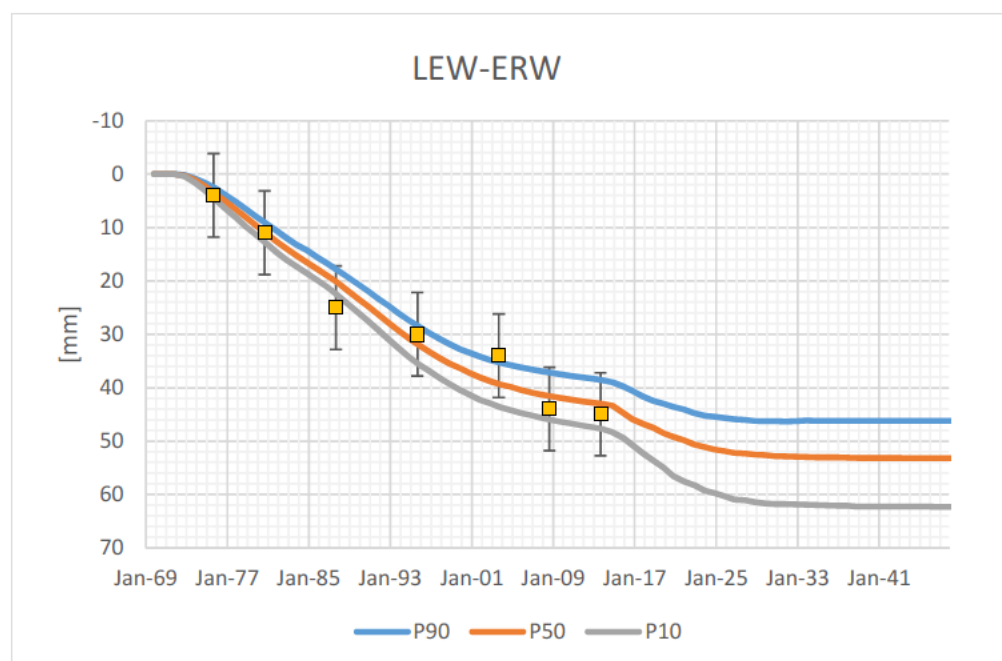
Figuur 6-4: *Cumulatieve kansverdeling voor de uiteindelijke gecombineerde bodemdaling op de Ernewoude locatie. De daling blijft met 90% zekerheid onder de 64 mm. Die waarde wordt ook "P10" genoemd. Bij de berekening zijn zowel de Ernewoude productie (historisch en toekomstig) als de Vlieland productie uit het Leeuwarden-Nijega voorkomen meegenomen (Ref. 18). Dat is nodig omdat de metingen het totaal van beide dalingskommen zien (Figuur 6-7).*



Figuur 6-5 Uiteindelijke (toekomstige) bijdrage aan de totale bodemdaling, van de Ernewoude Ten Boer formatie in mm.



Figuur 6-6 Samengestelde dalingskom ter plaatse van het Ernewoude voorkomen in millimeters. De kaart is een modelberekening, gekalibreerd aan de metingen. Het grootste gedeelte (zo'n 5 cm) van de bodemdaling op het diepste punt is ten gevolge van winning uit het Leeuwarden-Nijega voorkomen (Ref. 18). De geschetste situatie is die aan het eind van de winning. In deze kaart is daling door de Rotliegend voorkomens ten noordoosten niet meegenomen (zie bijlage, Hoofdstuk 15, met name Figuur 15-5).



Figuur 6-7 Gemeten en berekende bodemdaling op het diepste punt van de bodemdalingskom, voor de situatie met putaftakking. De gemeten data komt uit een combinatie van de Vermilion meetregisters (ref. 15) en de RWS/Geodata database (ref. 17), en is niet gecorrigeerd voor autonome daling (i.e. de aanname is gemaakt dat de autonome daling nul is; dat leidt tot een hoge schatting voor de gas-gerelateerde bodemdaling).

6.4 Monitoring van bodemdaling

Het monitoren van bodemdaling gebeurt door een vlakdekkende waterpasmeting uit te voeren. Het meetplan Leeuwarden-Oost doet dit voor het hele gebied (Ref. 15).

De resultaten van de meetplannen, de meetregisters, worden gedeeld en besproken met SodM, en dat geldt ook voor de analyses die Vermilion van de resultaten maakt.

De laatste meting is verricht in 2013, en gedeeld met SodM. De volgende meting wordt in 2018 uitgevoerd.

Gezien de geringe daling (ten gevolge van de geringe netto dikte) is niet te verwachten dat de daling ten gevolge van de geplande winning in Eernewoude op zichzelf waarneembaar is.

6.5 Mogelijke gevolgen van de verwachte bodemdaling

6.5.1 Gevolgen voor gebouwen en infrastructuur

Of een gebouw, of infrastructuur, schade oploopt door bodemdaling wordt vooral bepaald door de afstands-schaal waarop die daling plaatsvindt. Bodemdaling heeft nauwelijks invloed als ze gelijk is over het hele funderingsoppervlak. Ook een beperkte scheefstand heeft meestal geen gevolgen. Schade aan gebouwen door bodemdaling ontstaat wanneer er verschilzakking optreedt, i.e. als de zakking ongelijkmatig is, en daardoor leidt tot kromming van een gebouw.

Volgens de huidige kennis is de bodemdalingskom door aardgaswinning regelmatig. De dalingen verlopen geleidelijk, over meerdere kilometers. Er treden dus aan het terreinoppervlak uiterst geringe hellingen op, en nog veel geringere ongelijkmatigheden.

De daling komt bovendien zeer langzaam tot stand, over een periode van jaren.

Daarom is het uitgesloten dat een gebouw schade oploopt, of het nu midden in de dalingskom staat of meer naar de rand. Uit tot op heden uitgevoerd onderzoek is dan ook steeds geconstateerd dat er geen gebouwschade te verwachten is door bodemdaling als gevolg van gaswinning (Ref. 22, Ref. 23).

6.5.2 *Gevolgen voor natuur en milieu*

De bodemdaling verloopt zeer geleidelijk, met een uiterst geringe hellingshoek, en de opbouw duurt jaren zodat er geen plotselinge veranderingen plaatsvinden. Zo'n helling is niet merkbaar, en heeft geen effecten op natuur of milieu.

Het relatieve waterpeil wordt beïnvloed door de bodemdaling, en het is mogelijk dat er op zeker moment aanpassingen nodig zijn om vernatting te voorkomen.

Bij de beoordeling van bodemdalingsgevolgen hanteert Wetterskip Fryslân een kritische grens van vijf centimeter. Bij bodemdaling tot 5 centimeter is geen compensatie voor het watersysteem noodzakelijk, tenzij de veiligheid in het geding is. De gevolgen van de bodemdaling op het water peil zullen besproken worden met het Wetterskip Fryslân.

Het Eernewoude voorkomen en de door gaswinning veroorzaakte dalingskom zijn gesitueerd in een Natura-2000 gebied (Figuur 8-1). Maar omdat de daling t.g.v. de winning van Eernewoude zo gering is (waarschijnlijk niet meetbaar) worden desalniettemin geen nadelige gevolgen verwacht.

Een gedetailleerde onderbouwing kan in de 18 Bijlage: Gedetailleerde impactanalyse bodemdaling (Hoofdstuk 18) gevonden worden.

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

Vanwege de geringe maximale bodemdaling, worden er geen nadelige gevolgen voorzien, en wordt er niet voorzien in (extra) maatregelen om (gevolgen van) bodemdaling te voorkomen of te beperken, anders dan het periodiek monitoren van de bodemdaling volgens het meetplan.

De afhandeling van eventuele schade wordt besproken in paragraaf 8.8.

7 Bodemtrilling

De seismische risicoanalyse laat zien dat het Eernewoude voorkomen in de laagste seismische risicocategorie valt.

7.1 Inleiding: hoe komen bevingen ten gevolge van gaswinning tot stand

Als gevolg van de compactie, het inzakken van het reservoir-gesteente door druk-daling, ontstaan er kleine verplaatsingen (zettingen) in de diepe ondergrond. Als deze bij een breuk plaatsvinden, kunnen er zettingsverschillen aan weerszijden van de breuk optreden. Door de zettingsverschillen gebeurt het soms dat het gesteente aan weerszijden van de breuk t.o.v. elkaar beweegt. Dit veroorzaakt een trilling. Zo'n trilling wordt een geïnduceerde beving genoemd om aan te geven dat hij door menselijk handelen is veroorzaakt. Als gevolg van het feit dat deze trillingen ontstaan door bewegingen langs de breukvlakken in of nabij aardgasreservoirs, zal het bronpunt van de beving, het zogeheten *hypocentrum*, op enkele kilometers diepte liggen. Natuurlijke bevingen hebben over het algemeen een veel dieper hypocentrum.

Voor de kans op bevingen is het dus van belang of en wat voor breuken in de gesteentelagen in (de buurt van) het reservoir aanwezig zijn. Tevens geldt: hoe groter de compactie van het reservoir, hoe groter de kans dat er significante zettingsverschillen over een breuk plaatsvinden.

Bij de afschatting van de kans op bevingen wordt dan ook naar de drukdaling en de daaropvolgende compactie gekeken. Daarnaast wordt de breuk-configuratie geanalyseerd, en de stijfheid van het gesteente. Hierbij wordt gebruik gemaakt van een analyse-protocol dat door SodM in samenwerking met TNO ontwikkeld is (ref. 5).

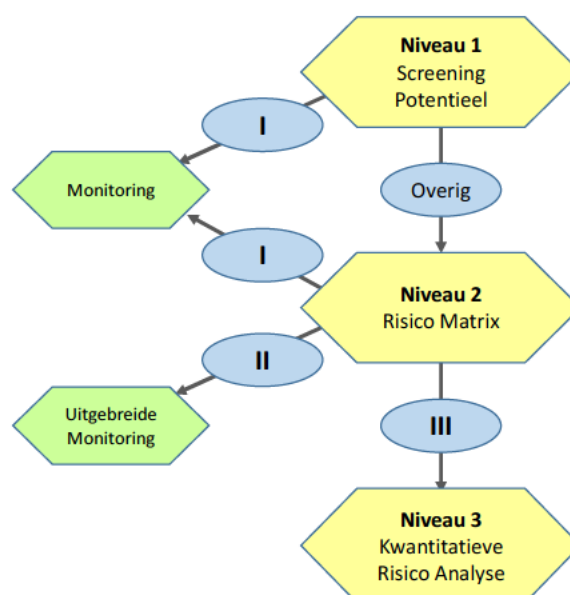
Naast de ondergrond-situatie, wordt in dat protocol ook de situatie aan het oppervlak bekeken. De aard van de bebouwing en infrastructuur in de omgeving van het voorkomen wordt meegewogen. Bij de effecten die aan de oppervlakte merkbaar zijn, speelt niet alleen de sterkte en de diepte van de beving een rol, maar ook de samenstelling van de ondiepe ondergrond. Met name bepaalde zand/veen combinaties kunnen extra gevoeligheid veroorzaken. Als de kans op significante bevingen aanwezig is, dan wordt dus ook met de grondsamenstelling rekening gehouden bij de afschatting van aardbevingsrisico's.

7.2 Historische bevingen in de voorkomens van dit winningsplan

Er zijn geen bevingen boven of in het Eernewoude voorkomen geweest. Nabije bevingen zijn veroorzaakt door andere winningen (Ureterp-Rotliegend, zie ref. 7).

7.3 Seismische Risico Analyse

Het kader en de hier beschreven methodiek is gebaseerd op: *Methodiek Voor Risicoanalyse Omtrent Geïnduceerde Bevingen Door Gaswinning*; Tijdelijke Leidraad Voor Adressering Mbb. 24.1.p, Versie 1.2, 1 februari 2016, Staatstoezicht op de Mijnen (SodM) (ref. 5).



Figuur 7-1: Weergave van de verschillende stappen in de seismische risico analyse (SRA).

In de eerste stap (Niveau 1) wordt eerst gekeken naar de kans op een trilling (met een magnitude groter dan 1.5 op de schaal van Richter). Daarbij wordt gekeken naar de breuk-configuratie in het voorkomen, en naar de stijfheidsverhouding tussen de reservoir-lagen en het afdekkende gesteente. Als er meer breuken zijn, neemt de kans toe. Hetzelfde geldt als het afdekkende gesteente stijver is ten opzichte van het reservoir.

Tenzij de resulterende kans verwaarloosbaar is, wordt vervolgens de maximale magnitude uitgerekend. Daarbij speelt de lengte van de breuken waarlangs differentiële zettingen kunnen optreden, de breukhoogte, en de hoeveelheid compactie een rol. Als de maximale magnitude onder de 2.5 ligt, is een analyse op Niveau 2 niet nodig, en volgt een indeling in Categorie I. Er hoeven dan geen verdere maatregelen genomen te worden bovenop monitoring van het voorkomen met het bestaande KNMI seismometer-meetnet.

Bij een Niveau-2 analyse wordt ook gekeken naar de effecten van een eventuele trilling aan het oppervlak, op gebouwen en infrastructuur. Als de kans/gevolg combinatie daartoe aanleiding geeft, zal het voorkomen in Categorie-II worden ingedeeld. In Categorie-II worden extra eisen aan de monitoring gesteld, en moet een (generiek) beheersplan worden opgesteld.

Het resultaat van het doorlopen van deze methodiek voor het Ernewoude voorkomen, is dat de kans op een beving (met een magnitude groter dan 1.5) verwaarloosbaar is.

De analyse wordt in meer detail in de bijlage (hoofdstuk 17) uitgewerkt.

Volgens de hierboven beschreven methodiek is een Niveau 2 analyse niet nodig voor Ernewoude.

7.4 Monitoring van bodemtrillingen

Het monitoren van de seismische activiteit rondom het Ernewoude voorkomen zal worden gerealiseerd met behulp van het huidige KNMI netwerk. Vermilion is in overleg met KNMI om de dekkingsgraad van het seismometer-netwerk waar nodig te verbeteren.

7.5 Mogelijke gevolgen van bevingen ten gevolge van gaswinning

7.5.1 Schade openbare infrastructuur door bodemtrillingen ten gevolge van gaswinning

Omdat de kans op bevingen klein is c.q. de magnitude klein zal zijn, wordt er geen of zeer beperkte schade aan infrastructuur verwacht (zie ook Ref.8).

7.5.2 Schade aan bouwwerken door bodemtrillingen ten gevolge van gaswinning

Omdat de kans op bevingen klein is c.q. de magnitude klein zal zijn, wordt er geen of zeer beperkte schade aan gebouwen verwacht (Ref. 9, 10,11).

7.5.3 Gevolgen voor natuur en milieu door bodemtrillingen ten gevolge van gaswinning

Er is geen oorzaak-effect relatie bekend waarmee bodemtrillingen kunnen leiden tot schade aan natuur of milieu (anders dan schade aan infrastructuur en bouwwerken, waarop hierboven is ingegaan). Daarom worden schadelijke effecten op natuur en milieu ten gevolge bodemtrillingen niet verwacht.

7.6 Maatregelen om (gevolgen van) bodemtrillingen te voorkomen of te beperken

Gezien de indeling in categorie I (omdat de maximale sterkte te klein is om significante oppervlakte-impact te hebben) voorziet het productieproces niet in maatregelen om trillingen te voorkomen of te beperken.

De afhandeling van eventuele schade wordt besproken in paragraaf 8.8.

8 Overige Omgevingsaspecten

8.1 Inleiding

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

Een overzicht van de mogelijke gevolgen en in welke vergunningen deze worden behandeld, staat in de volgende tabel.

Gevolgen m.b.t.	Besluit
Bodemverontreiniging	MER(beoordeling) omgevingsvergunning milieu
Luchtverontreiniging (emissies)	MER(beoordeling) omgevingsvergunning milieu
Grondwaterverontreiniging	MER(beoordeling) omgevingsvergunning milieu
Oppervlaktewaterverontreiniging	MER(beoordeling) omgevingsvergunning milieu evt. Watervergunning
Externe veiligheid	MER(beoordeling) omgevingsvergunning milieu
Natuur	MER(beoordeling) Wet Natuurbescherming

De Minister van Economische Zaken en Klimaat (EZK) 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).

Met betrekking tot bovenstaande tabel zal hieronder worden aangegeven wat door mijnbouwondernemingen wordt gedaan om genoemde gevolgen te voorkomen, dan wel de effecten hiervan te beperken.

8.2 Bodem / Grondwaterverontreiniging

De mijnbouwonderneming dient zich in te spannen om installaties zo te bouwen, onderhouden en beheren dat het risico op bodem/grondwaterverontreiniging verwaarloosbaar klein is. De wijze waarop dit dient te gebeuren is vastgelegd in onder andere de Nederlandse Richtlijn Bodembescherming (NRB) en de Publicatiereeks Gevaarlijke Stoffen (PGS). Hierdoor worden de risico's tot een minimum beperkt en blijven de eventuele gevolgen beheersbaar. De NRB en de PGS worden voorgeschreven in het Activiteitenbesluit en de Omgevingsvergunning. Toezicht vindt plaats door Staatstoezicht op de Mijnen (SodM).

Indien toch door een incident bodem/grondwaterverontreiniging is ontstaan, dan dient de mijnbouwonderneming deze verontreiniging te saneren in het kader van de Wet bodembescherming. De desbetreffende provincie is hiervoor bevoegd gezag.

De mijnbouwonderneming en 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.

8.3 Luchtverontreiniging

De maximale uitstoot van stoffen die vrijkomen bij de activiteiten ten behoeve van gaswinning (zoals NO_x, SO₂, etc.) naar de lucht (emissies), de wijze van meten en rapporteren is vastgelegd in het Activiteitenbesluit en de omgevingsvergunning. SodM controleert of wordt voldaan aan de voorschriften. Mijnbouwondernemers streven altijd naar een zo laag als redelijkerwijs mogelijke

emissie. Verder hanteren de mijnbouwonderneming en toezichthouders een strikt controlebeleid op emissies. Gevaar voor de volksgezondheid door het optreden van incidenten is niet te verwachten.

8.4 Oppervlaktewaterverontreiniging

De mijnbouwonderneming dient zich in te spannen om installaties zo te bouwen, onderhouden en beheren dat het risico op oppervlaktewaterverontreiniging verwaarloosbaar klein is. De wijze waarop dit dient te gebeuren is vastgelegd in onder andere de Nederlandse Richtlijn Bodembescherming (NRB) en de Publicatiereeks Gevaarlijke Stoffen (PGS). Hierdoor worden de risico's tot een minimum beperkt en blijven de eventuele gevolgen beheersbaar. De NRB en de PGS worden voorgeschreven in het Activiteitenbesluit en de Omgevingsvergunning. Toezicht vindt plaats door Staatstoezicht op de Mijnen (SodM).

Indien toch door een incident het oppervlaktewater verontreinigd is, dan dient de mijnbouwonderneming deze verontreiniging te saneren in het kader van de Waterwet en eventueel de Wet bodembescherming. De desbetreffende waterbeheerder en provincie zijn hiervoor bevoegd gezag.

De mijnbouwonderneming en toezichthouders hanteren een strikt controlebeleid waardoor de kans op verontreiniging van het oppervlaktewater zeer gering is. Gevaar voor de volksgezondheid door het optreden van incidenten is niet te verwachten.

8.5 Externe veiligheid

De beoordeling van het risico voor personen buiten de mijnbouwlocatie (kwantitatieve risicoanalyse) vindt plaats in het kader van de omgevingsvergunning (Wabo).

Verder moet voor ieder mijnbouwwerk een rapport inzake grote gevaren worden opgesteld. Dit rapport bestaat uit o.a. het reeds bestaande veiligheids- en gezondheidsdocument op grond van het Arbeidsomstandighedenbesluit, het rampenbestrijdingsplan, het bedrijfsbeleid inzake het voorkomen van zware ongevallen, en gegevens omtrent de milieuveiligheid.

Voor nieuwe installaties moet al een rapport inzake grote gevaren worden opgesteld; voor bestaande installaties geldt deze verplichting in ieder geval vanaf 19 juli 2018.

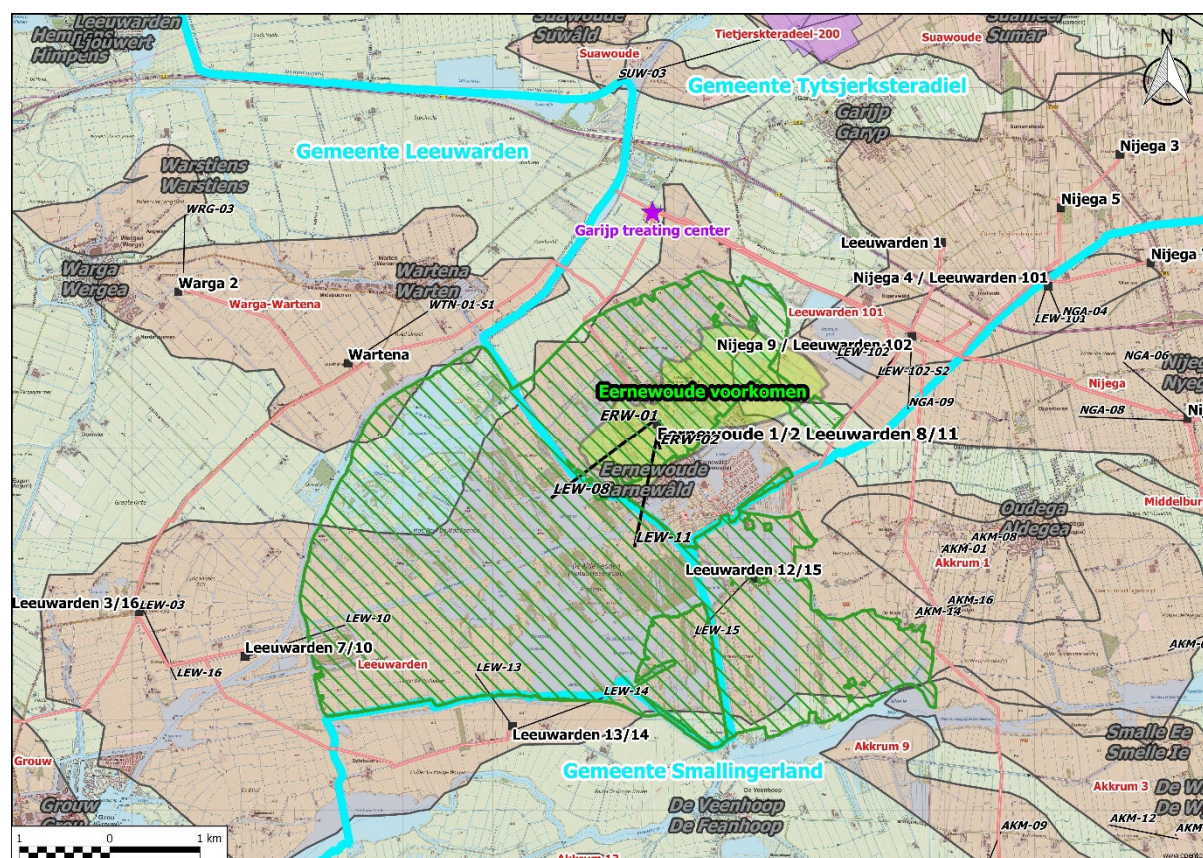
8.6 Natuur

Voor natuur geldt een rechtstreekse zorgplicht van beschermde flora en fauna. Als mijnbouwactiviteiten negatieve effecten zouden kunnen hebben op de aanwezige flora en fauna dan dient er een ecologisch onderzoek uitgevoerd te worden. Indien effecten niet uitgesloten kunnen worden dan dient een ontheffing aangevraagd te worden.

Indien mijnbouwactiviteiten of de gevolgen hiervan invloed kunnen hebben op de instandhoudingdoelstellingen van aangewezen Natura 2000-gebieden dan dienen de effecten en gevolgen onderzocht te worden en eventueel een passende beoordeling opgesteld te worden. Indien hieruit blijkt dat er negatieve effecten kunnen optreden, dan is een vergunning nodig. Een en ander wordt geregeld in de Wet Natuurbescherming.

8.7 Locaties

De locatie 'Ernewoude-01/-02/Leeuwarden-08/-11' is gelegen in een Natura 2000 gebied (Figuur 8-1). Verder bevindt de locatie zich ruim 3 km van een grondwaterbeschermingsgebied. In het kader van de Omgevingsvergunning zijn de mogelijke effecten op deze gebieden onderzocht. Ook de in paragraaf 8.2 - 8.6 genoemde aspecten zijn in het kader van de Omgevingsvergunning onderzocht en beoordeeld.



Figuur 8-1 Overzicht van ligging van Ernewoude en andere voorkomens ten opzichte van het waterwingebied ten noorden van Garijp (boven in kaart) en Natura-2000 gebieden.

'Ernewoude-01/-02/Leeuwarden-08/-11' is een bestaande mijnbouwlocatie. De vigerende omgevingsvergunning is DGETM-EM/12068884 d.d. 15.06.2012,

De productie vanuit de putaftakking zoals omschreven in dit winningsplan valt onder deze vergunning.

Voor het uitvoeren van de boring van de putaftakking wordt t.z.t. een vergunning aangevraagd bij het ministerie van EZK.

8.8 Schade-afhandeling

Indien als gevolg van bodemtrillingen of bodemdaling door gaswinning toch schade ontstaat, dan zal deze worden vergoed overeenkomstig de regels van het burgerlijk recht. Vermilion heeft een schadeprotocol opgesteld, dat op de website van Vermilion Nederland te vinden is (<https://www.vermilionenergy.nl/onze-verantwoordelijkheid/vermilion-en-schade-door-aardgaswinning/schade-melden.cfm>). Voor bodemdaling in Friesland is er een specifieke regeling waarbij de afhandeling wordt uitgevoerd door de Commissie Bodemdaling Aardgaswinning Fryslân (<http://www.bodemdalingfryslan.nl/>).

8.9 Gedragscode

Vermilion is een van de ondertekenaars van de Gedragscode Gaswinning Kleine Velden. De gedragscode geeft algemene richtlijnen aan voor het zorgvuldig betrekken van de omgeving bij olie en gasprojecten uit kleine velden op land. Hierin hebben wij vastgelegd wat de omgeving van ons mag verwachten (<https://www.onsaardgas.nl/nogepa/gedragscode/>).

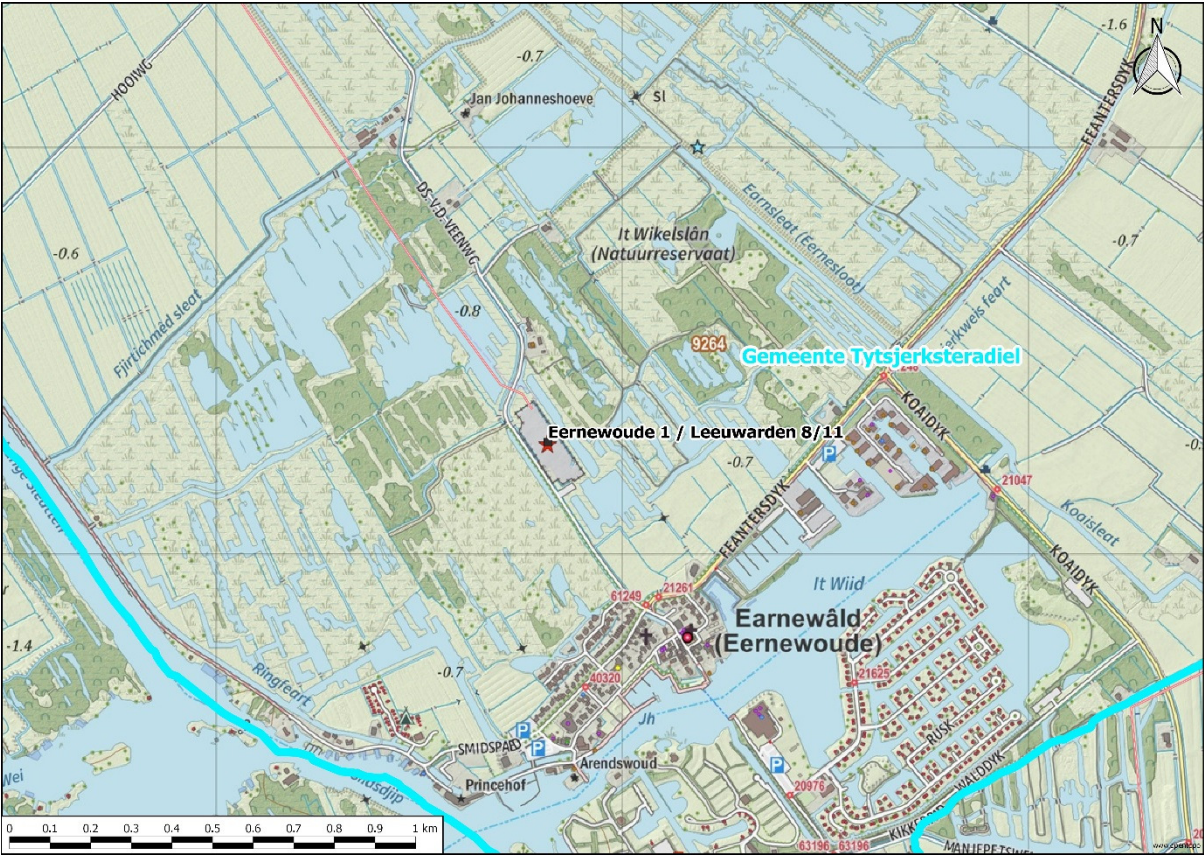
9 Verklarende woordenlijst

Aquifer	Watervoerend deel van het reservoir. Dat kan naast en/of onder het gasvoerende deel gelegen zijn.
C_m	Uniaxiale compactie-coëfficiënt; mate van samendrukbaarheid van het gesteente (eenheid: 1/bar).
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
ERW	Eernewoude (gasvoorkomen)
EZ	Ministerie van Economische Zaken en Klimaat
EZK	Ministerie van Economische Zaken en Klimaat
GIIP	Volume gas initieel aanwezig in het voorkomen (in nm ³)
GPS	Global Positioning System: systeem voor plaats- en hoogtebepaling met behulp van satellieten
GTC	Garijp Treating Centre
GWC	Gas-water contact diepte (in m onder NAP)
Kern	Gesteentemonster uit de ondergrond verkregen bij het boren van een put
KNMI	Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut
LEW	(deel)voorkomen Leeuwarden (ref. 20)
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
nm³	m ³ bij 0 °C en 1.01325 bara (ref. 19)
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
Seal	Afsluitende laag bovenop het gesteente dat het gas bevat
Sidetrack	Ondergrondse aftakking van een put, waarbij het oorspronkelijke eindstuk van het boorgat geabandonneerd wordt, en alleen de aftakking opnieuw geboord. De put-naam wordt van een suffix "S" of "ST" voorzien. De oppervlakte-situatie op de productielocatie blijft hierbij onveranderd. Een aftakking kan geboord worden om technische redenen (boorproblemen) of om later een ander deel van het voorkomen te bereiken.
SodM	Staatstoezicht op de Mijnen
SRA	Seismische Risico Analyse
TCBB	Technische Commissie Bodembeweging
TNO	Nederlandse Organisatie voor Toegepast-Natuurwetenschappelijk Onderzoek
VEN	Vermilion Energy Netherlands B.V.
Vermilion	Vermilion Energy Netherlands B.V.
Weissliegend	Naam die ook wel gebruikt werd voor het bovenste deel van de Rotliegend formatie, hier ook wel Akkrum of Ten Boer, Cycle 5, geheten

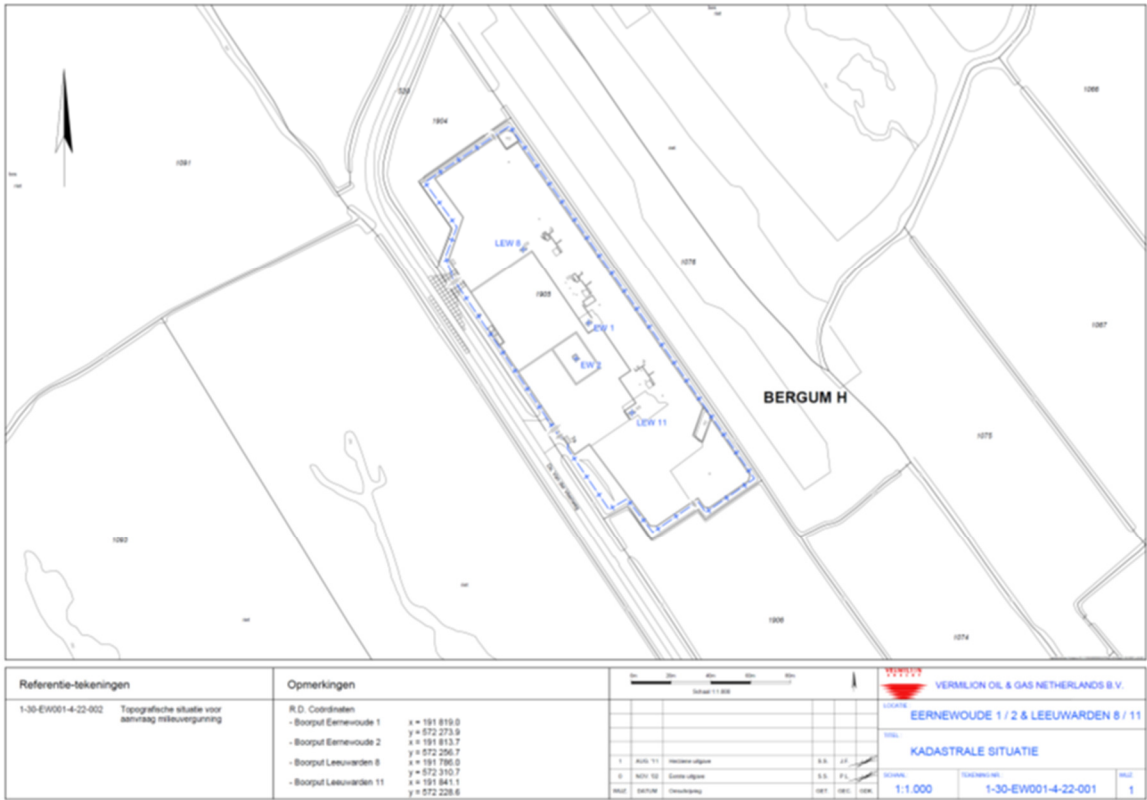
10 Referenties

1. Deltares, *Bodemdalingskaarten*, 2011.
2. TCBB, *Industrieleidraad ter Geodetische bepaling van bodembeweging als gevolg van mijnbouwactiviteiten*, 2014.
3. TNO, *Deterministische Hazard Analyse voor Geïnduceerde Seismiciteit in Nederland*, 2004 (NITG 04-171-C),
4. TNO, *Deterministische Hazard Analyse voor Geïnduceerde Seismiciteit in Nederland*, update 2012 (R10198).
5. SodM, *Methodiek voor Risico-Analyse omtrent geïnduceerde bevingen door gaswinning* (Tijdelijke Leidraad), Februari 2016.
6. M. Leonard, "Earthquake Fault Scaling", *Bull. Seis. Soc. Am.*, **100** (2010), p. 1971
7. TNO, *Seismiciteit onshore gasvelden Nederland*, 2016 (R10164).
8. *Schade aan buisleiding door aardbeving, fase 1 inventarisatie*, Deltares Project report 1001649-000, 2010.
9. *Seismisch hazard van geïnduceerde aardbevingen Integratie van deelstudies*, Wassing, B.B.T. (TNO) & Dost, B. (KNMI), Report nummer TNO 2012 R11139, 24 december 2012.
10. *De relatie tussen schade aan gebouwen en lichte, ondiepe aardbevingen in Nederland: inventarisatie*, TNO Rapport 97-CON-R1523-1, door Van Staalduinen & Geurts, 1998.
11. *Seismisch Risico in Noord-Nederland*, Th. de Crook & H.W. Haak & B. Dost, februari 1998, Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut, Afdeling Seismologie
12. G.H.C. van Opstal: "The effect of base-rock rigidity on subsidence due to reservoir compaction". *Proc. 3rd Congress. Int. Soc. Rock Mech.*, Denver Colorado, September 1974, vol 2, part B
13. Nederlands Aardolie Maatschappij, *Bodemdalingsrapport Noord-Nederland*, 2015
14. *Geology of the Netherlands*, Wong et al. (eds), Royal Netherlands Academy of Arts and Sciences, 2007 / Amsterdam University Press, 2007
15. *Meetregister bij het meetplan Leeuwarden-Oost en Oosterend 2013*, Antea, rapport 265194, 2014
16. *Meetregister meetplan Noord-Nederland 2014*, NAM doc.nr. EP201507207215, 2015
17. *NAP database GeoWeb, Rijkswaterstaat*
(https://geoservices.rijkswaterstaat.nl/geoweb_silverlight/?Viewer=NAPinfo)
18. *Analyse bodemdaling Leeuwarden-Oost, Vermilion*, 2016
19. *Physical Properties of Natural Gases*, Nederlandse Gasunie, 1988
20. *Winningsplan Leeuwarden-Nijega, Vermilion*, 23 maart 2003 (goedgekeurd 8 oktober 2013)
21. *BOFEK2012, de nieuwe, bodemfysische schematisatie van Nederland*, Alterra, rapport 2387, 2013
22. TCBB, *Jaarverslag*, 2015
23. www.commissiebodemdaling.nl
24. KNMI, *Monitoring induced seismicity in the North of the Netherlands: status report 2010*, Scientific report WR 2012-03, 2012
25. *Schadeprotocol Vermilion* (<https://www.vermilionenergy.nl/onze-verantwoordelijkheid/vermilion-en-schade-door-aardgaswinning/schade-melden.cfm>)
26. *Gedragscode Gaswinning Kleine Velden*, NOGEPa, September 2017
(<https://www.onsaardgas.nl/nogepa/gedragscode/>)
27. Website Commissie Bodemdaling Aardgaswinning Fryslân: <http://www.bodemdalingfryslan.nl/>
28. <https://www.synbiosys.alterra.nl/natura2000/gebiedendatabase.aspx?subj=n2k&groep=1&id=n2k13&topic=introductie>

11 Bijlage: Locatie Plattegrond ‘Eenewoude-01/-02/Leeuwarden-08/-11’

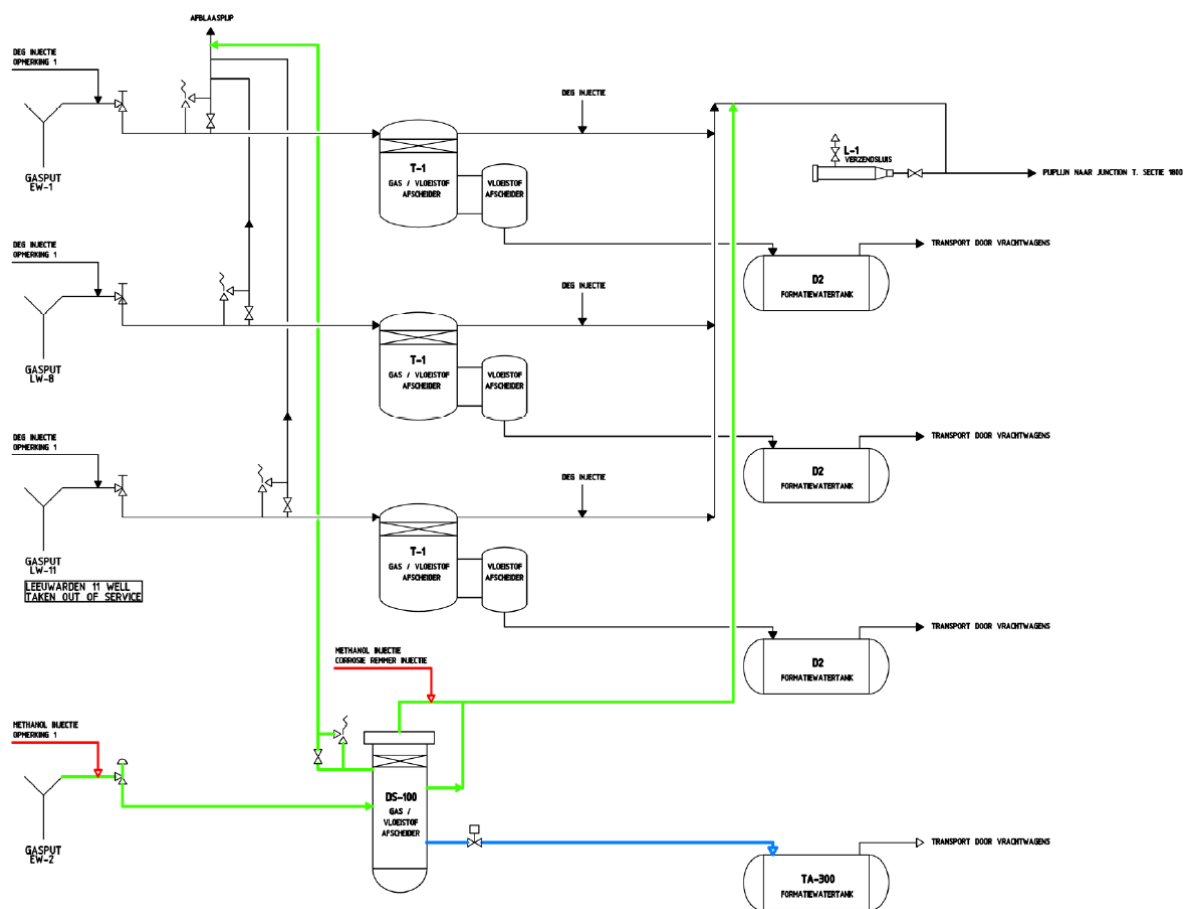


Locatie ‘Ernewoude-01/-02/Leeuwarden-08/-11’



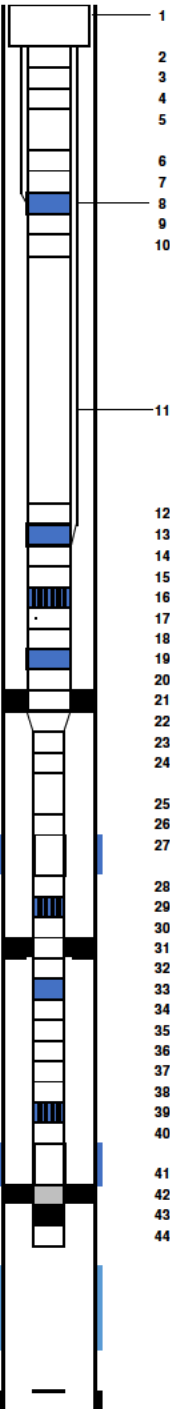
12 Bijlage: Proces-stroomdiagram van 'Ernewoude-01/-02/ Leeuwarden-08/-11' aardgaswinningslocatie

Proces-stroomdiagram 'Ernewoude-01/-02/Leeuwarden-08/-11'



13 Bijlage: Detailschema putverbuizing

Figuur 13-1 Detailschema van de verbuizing in de put ERW-02. De aftakking zoals omschreven in dit winningsplan zal een soortgelijke putverbuizing hebben.

VERMILION				WELL : ERW 002			
RT/TH : 8.4 m. COMPLETION DATE : 18-09-2015		ANNULUS FLUID : 1.12 SG INHIBITED KCL BRINE					
VOLUMES		DRILLING DEPTHS / RT					
TUBING : 10.8 M3		9 5/8" CSG SHOE 1165.5 m/rt.					
ANNULUS 32.5 M3		7" CSG SHOE 2512 m/rt.					
HOLE : 50.24 M3		Plug back TD at 2488 M/rt					
X-MASTREE							
TUBING HEAD		FMC					
TUBING HANGER		FMC					
L MASTER VALVE		FMC MANUAL GATE VALVE 3"1/8"-5KAPI					
U MASTER VALVE		FMC ACTUATOR VALVE 3"1/8"-5KAPI					
SWAB VALVE		FMC MANUAL GATE VALVE 3"1/8"-5KAPI					
WING VALVES		FMC MANUAL GATE VALVE 3"1/8"-5KAPI					
TOP CAP		FMC 6 1/2"- 4 ACME 5K					
STRING							
ITEM	QTY	DESIGNATION	L / M	Depth/TH bottom of item	Depth/RT bottom of item	Length (m)	ID/in
1	1	FMC TUBING HANGER WITH 3" CIW-H BPV PROFILE	0,420	0,26	8,66		2,996
2	1	PUP JOINT 3.1/2" - 9.2# VT PIN X VAGT PIN	1,130	1,39	9,79	1,13	2,990
3	1	JOINT 3.1/2" 9.2# VAGT	9,260	10,65	19,05	9,26	2,990
4	1	PUP JOINT 3.1/2" 9.2# VAGT	1,230	11,88	20,28	1,23	2,990
5	4	JOINT 3.1/2" 9.2# VAGT	37,330	49,21	57,61	37,33	2,990
6	1	PUP JOINT 3.1/2" 9.2# VAGT XVT	1,900	51,11	59,51	1,90	2,990
7	1	FLOW COUPLING, 3.1/2" - 9.20# VT	1,750	52,86	61,26	1,75	2,900
8	1	Wellstar TRSSSV, 3.1/2" VT	1,560	54,42	62,82	1,56	2,813
9	1	FLOW COUPLING, 3.1/2" - 9.20# VT	1,750	56,17	64,57	1,75	2,920
10	1	PUP JOINT, 3.1/2" - 9.20# VT X VAGT	1,280	57,45	65,85	1,28	2,920
11	247	JOINT 3.1/2" 9.2# VAGT	2285,870	2343,32	2351,72	2285,87	2,990
12	1	PUP JOINT, 3.1/2" - 9.20# VT X VAGT	1,840	2345,16	2353,56	1,84	2,990
13	1	CHEMICAL INJECTION SUB	0,710	2345,87	2354,27	0,71	2,813
14	1	PUP JOINT, 3.1/2" - 9.20# VT	1,280	2347,15	2355,55	1,28	2,990
15	1	PUP JOINT 3.1/2" 9.2# VT	1,880	2349,03	2357,43	1,88	2,990
16	1	SSD XD 2.813" 9CR 3.1/2" - 9.20# [DOWN TO OPEN]	1,220	2350,25	2358,65	1,22	2,813
17	1	PUP JOINT 3.1/2" 9.2# VT	1,290	2351,54	2359,94	1,29	2,990
18	1	PUP JOINT 3.1/2" 9.2# VT	1,900	2353,44	2361,84	1,90	2,990
19	1	ON-OFF TL, XL, 7X3.1/2"	0,770	2354,21	2362,61	0,77	2,813
20	1	PUP JOINT 3.1/2" 9.2# VT	1,290	2355,50	2363,90	1,29	2,990
21	1	PKR 7 23-29, 3.1/2"-9.2# , PHL	1,860	2357,36	2365,76	1,86	2,885
22	1	X-OVER 3.1/2" 9.2# VT X 2.7/8" 6.4# VT	0,240	2357,60	2366,00	0,24	2,440
23	1	PUP JOINT 2.7/8" 6.4# VT	1,320	2358,92	2367,32	1,32	2,440
24	1	X-OVER 2.7/8" 6.4 VT X JFE BEAR	0,960	2359,88	2368,28	0,96	2,440
25	2	JOINT 2.7/8" 6.4# 13CR 80 JFE BEAR	19,260	2379,14	2387,54	19,26	2,440
26	1	X-OVER 2.7/8" 6.4 JFE BEAR XVT	0,970	2380,11	2388,51	0,97	2,440
27	1	BLAST JOINT 2.7/8" VT	5,040	2385,15	2393,55	5,04	2,440
28	1	PUP JOINT 2.7/8" 6.4# VT 13CR80	1,920	2387,07	2395,47	1,92	2,313
29	1	SSD XD 2.313" [DOWN TO OPEN]	1,220	2388,29	2396,69	1,22	2,313
30	4	PUP JOINT 2.7/8" 6.4# VT 13CR80	9,030	2397,32	2405,72	9,03	2,440
31	1	PKR 7 23-29, 3.1/2"-9.2# , PHL	1,880	2399,20	2407,60	1,88	2,885
32	1	PUP JOINT 2.7/8" 6.4# VT 13CR80	1,310	2400,51	2408,91	1,31	2,440
33	1	LANDING NIPPLE 2.313" X	0,340	2400,85	2409,25	0,34	2,313
34	1	PUP JOINT 2.7/8" 6.4# VT 13CR80	1,330	2402,18	2410,58	1,33	2,440
35	1	X-OVER 2.7/8" 6.4 VT X JFE BEAR	0,960	2403,14	2411,54	0,96	2,440
36	1	PUP JOINT 2.7/8" 6.4# VT 13CR80	9,620	2412,76	2421,16	9,62	2,440
37	1	X-OVER 2.7/8" 6.4 JFE BEAR XVT	0,970	2413,73	2422,13	0,97	2,440
38	1	PUP JOINT 2.7/8" 6.4# VT 13CR80	1,930	2415,66	2424,06	1,93	2,440
39	1	SSD XD 2.313" [DOWN TO OPEN]	1,220	2416,88	2425,28	1,22	2,313
40	2	PUP JOINT 2.7/8" 6.4# VT 13CR80	3,250	2420,13	2428,53	3,25	2,440
41	1	BLAST JOINT 2.7/8" VT	5,040	2425,17	2433,57	5,04	2,440
42	1	PKR 7 23-29, 3.1/2"-9.2# , PHL	1,880	2427,05	2435,45	1,88	2,885
43	1	LANDING NIPPLE 2.313" XN	0,410	2427,46	2435,86	0,41	2,205
44		2.7/8" MULE SHOE, W/L ENTRY GUIDE	0,240	2427,70	2436,10	0,24	2,440
256 COLLAR CLAMPS INSTALLED FOR THE INJECTION LINE							
29 SSD AKKRUM IS CLOSED							
39 SSD TEN BOER IS OPEN							
43 PNX PLUG INSTALLED IN XN LN AT 2427 M/TH CLOSE OF SLOCHTEREN							
PERFORATIONS / RT							
A AKKRUM		2390 - 2392.5 Mrt		NORM CLASSIFIED : YES			
B TEN BOER		2430 - 2433 Mrt					
C SLOCHTEREN		2438 - 2442 Mrt					
				DEVIATION : 15.6 DEG			
				K.O.P. AT 1250 M			

14 Bijlage: Geologische kaart

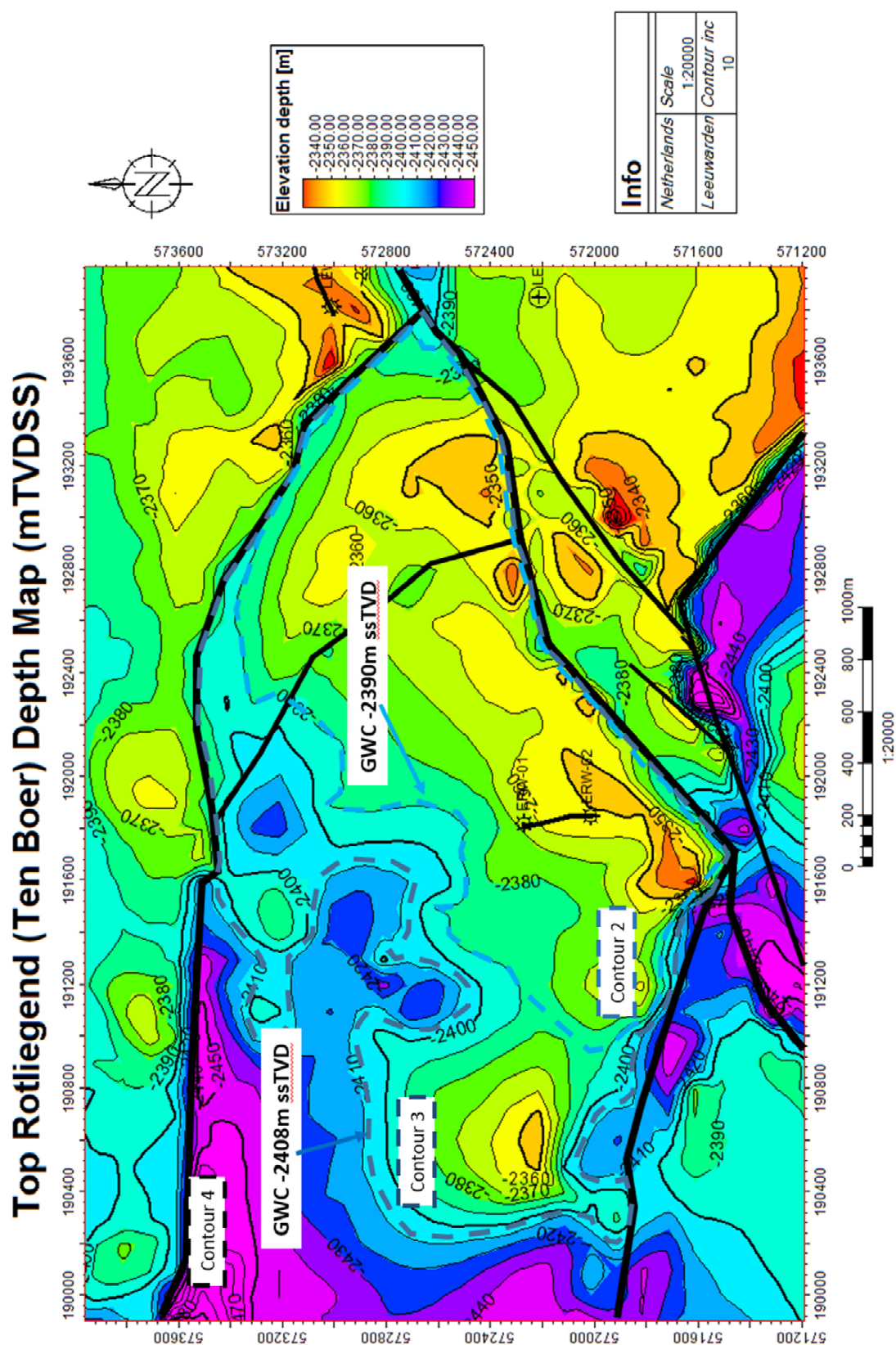
In deze bijlage worden geologische kaarten weergegeven voor het Eernewoude voorkomen. Daarnaast wordt aangegeven hoe de veld-contouren tot stand zijn gekomen die gebruikt worden in de bodemdalingsberekening en de Seismische Risico Analyse (SRA). Opgemerkt moet worden dat de kaarten van dit voorkomen zijn gemaakt op basis van 2D seismiek, wat aanleiding geeft tot extra onzekerheid.

Op basis van drukdata (RFT) wordt aangenomen dat de verschillende lagen verschillende gas-water contacten (GWC) hebben (zie Figuur 4-2). Een deel van de veld-contouren is gerelateerd aan deze GWC's.

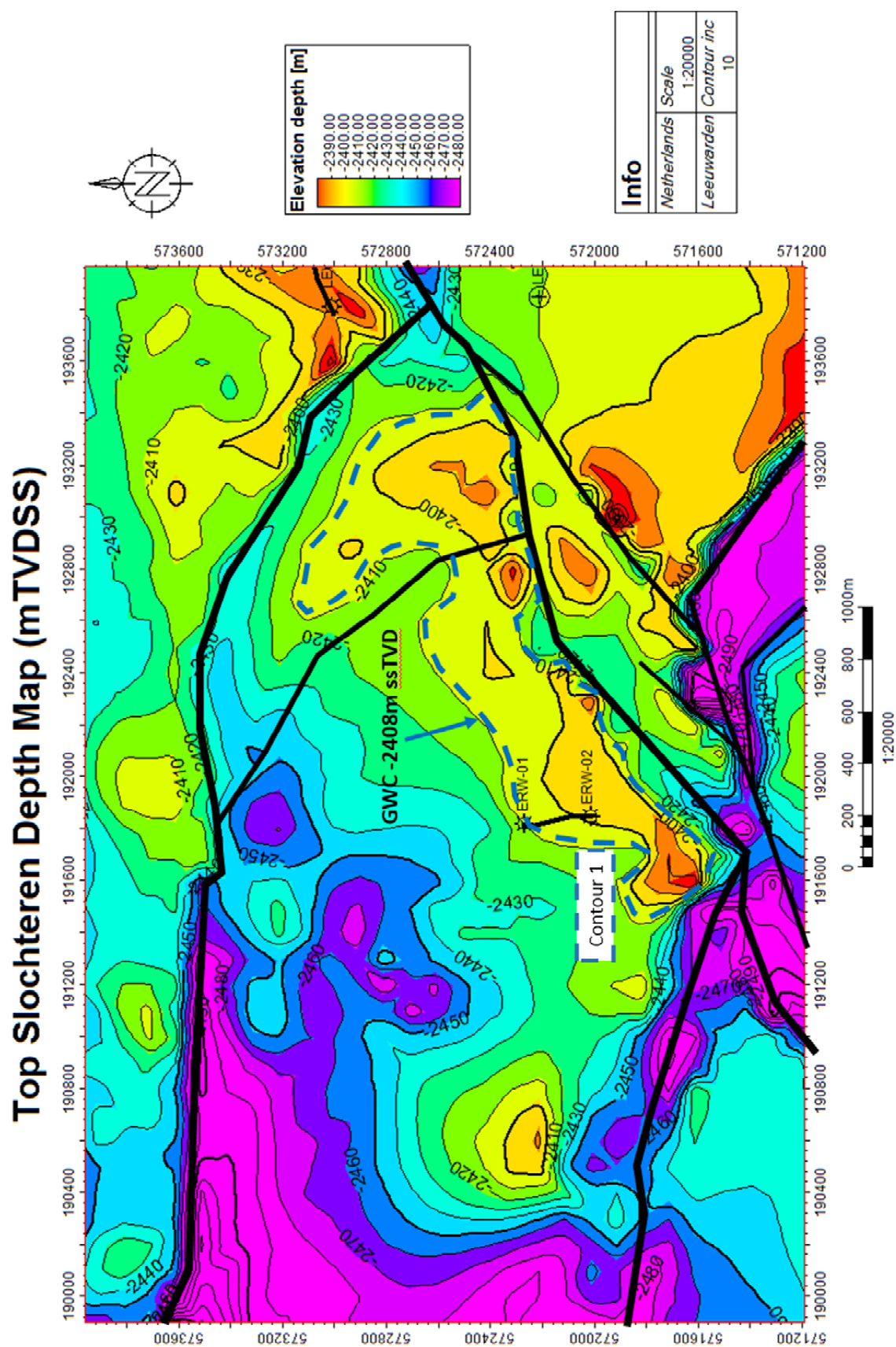
Op de dieptekaarten van de top van het Rotliegend (Figuur 14-1) en Slochteren (Figuur 14-2) zijn de contouren weergegeven. De tabel hieronder documenteert de veld-contouren versus de SRA en bodemdalingsberekening.

Tabel 14-1: Contouren die gebruikt zijn om de onzekerheid mee te nemen in de bodemdalings-berekeningen en seismische risico analyse.

Contour	Figuur	Bodemdalingsberekening		SRA
		Ten Boer	Slochteren	Ten Boer
1	Figuur 14-2	n.v.t.	n.v.t. (uitgewaterd)	n.v.t. (Slochteren contour)
2	Figuur 14-1	L – ERW TB GWC2390	n.v.t. (uitgewaterd)	L – ERW TB GWC2390
3	Figuur 14-1	M – ERW TB GWC2408	L – ERW TB GWC2408	H – ERW TB GWC2408
4	Figuur 14-1	H – RO breukblok	H – RO breukblok	n.v.t. (buiten gaskolom)



Figuur 14-1 Kaart van diepte van de top van het Rotliegend (Ten Boer) met bestaande putten (zwart) en contouren.



Figuur 14-2 Kaart van diepte van de top van de top Slochteren met bestaande putten (zwart) en contouren.

15 Bijlage: Analyse en Berekening Bodemdaling Meetplan Ernewoude

15.1 Historische daling

Het Ernewoude voorkomen valt onder het Leeuwarden-Oost meetplan. In dit meetplan vallen diverse voorkomens met soms sterk overlappende dalingskommen.

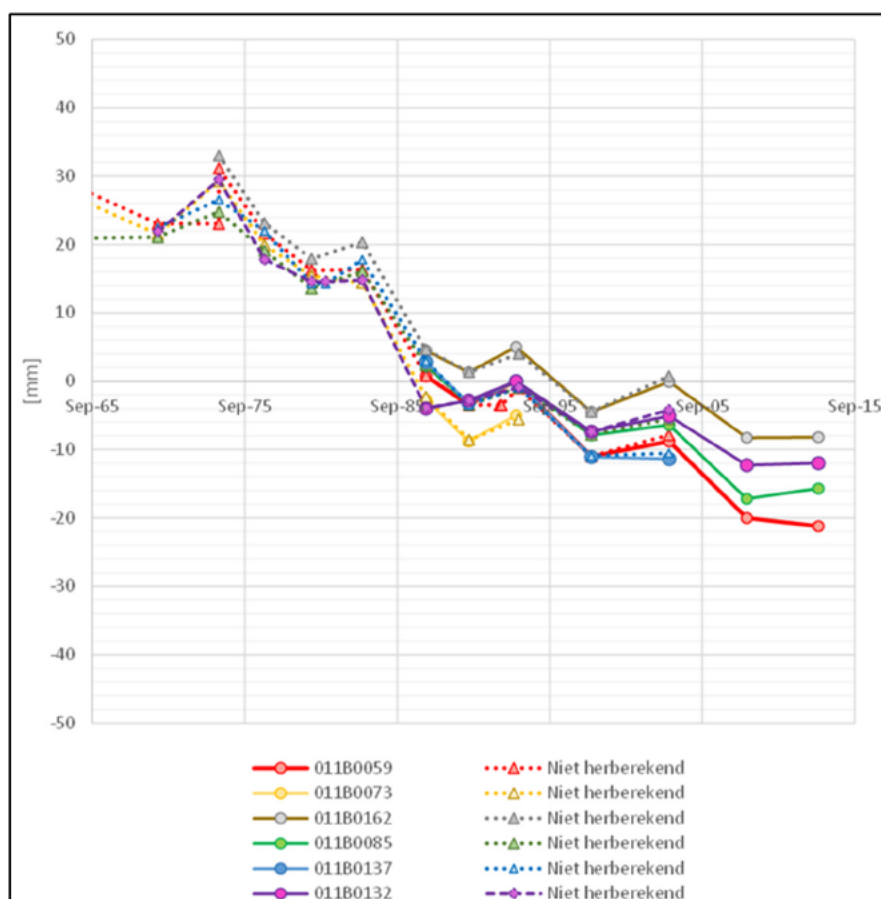
Aan de noordoostrand van het meetplan is de invloed van de Rotliegend voorkomens Suawoude en Tietjerksteradeel merkbaar (Figuur 15-5). Deze voorkomens hebben op het diepste punt een veel grotere bodemdaling dan Ernewoude.

In het meetplan Leeuwarden-Oost is in 2013 een meting gedaan (ref. 15, zie ook ref. 16). De metingen in de buurt van het Ernewoude voorkomen geven een bodemdaling aan van ongeveer 4-5 cm sinds 1974 (Figuur 15-1).

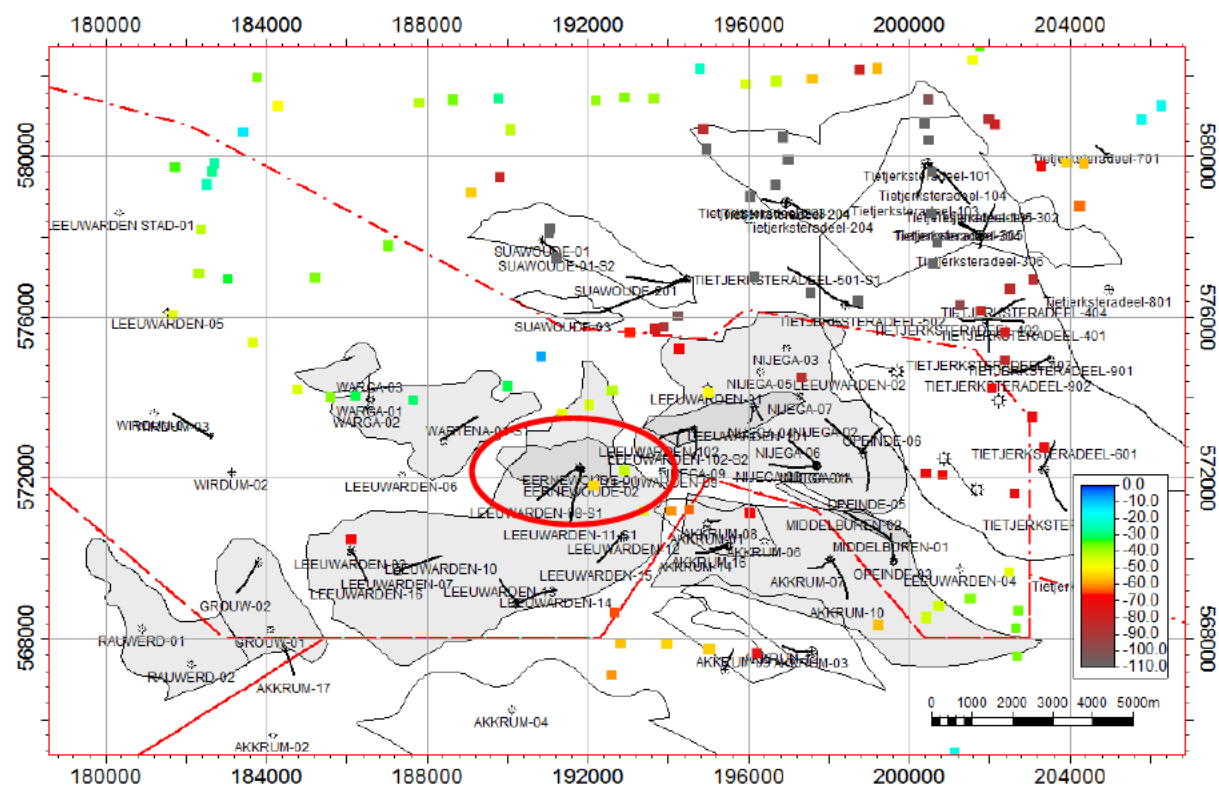
De metingen in het meetplan zijn geanalyseerd, en modelberekeningen zijn aan de metingen gekalibreerd over het hele gebied van het meetplan (ref. 18). Voor dit meetplan is de kalibratie problematisch. Allereerst is de coherentie tussen nabijgelegen peilmerken beperkt, suggererend dat er ook andere mechanismes werken. Daarnaast zijn er, mede door de leeftijd van de voorkomens, weinig (stabiele) peilmerken die de hele (of een groot deel van de) productiegeschiedenis bestrijken, en is de peilmerkdictheid laag door bovengrondse randvoorwaarden (bijv. natuurgebieden). Tenslotte overlappen de dalingskommen van veel voorkomens elkaar in dit gebied, zowel van Vermilion- als van Tietjerksteradeel- en Suawoude-winningen.

Uiteindelijk is er voor gekozen de kalibratie conservatief in te schatten, zodat er de facto van wordt uitgegaan dat een groot deel van de waargenomen daling door gaswinning wordt veroorzaakt (ref. 18). Als we dan het aldus gekalibreerde model bekijken rond de 'Ernewoude-01/-01/Leeuwarden-08/-11' locatie, dan is de uitkomst ongeveer 5 cm (vgl Figuur 6-6 met Figuur 15-1 en Figuur 15-2).

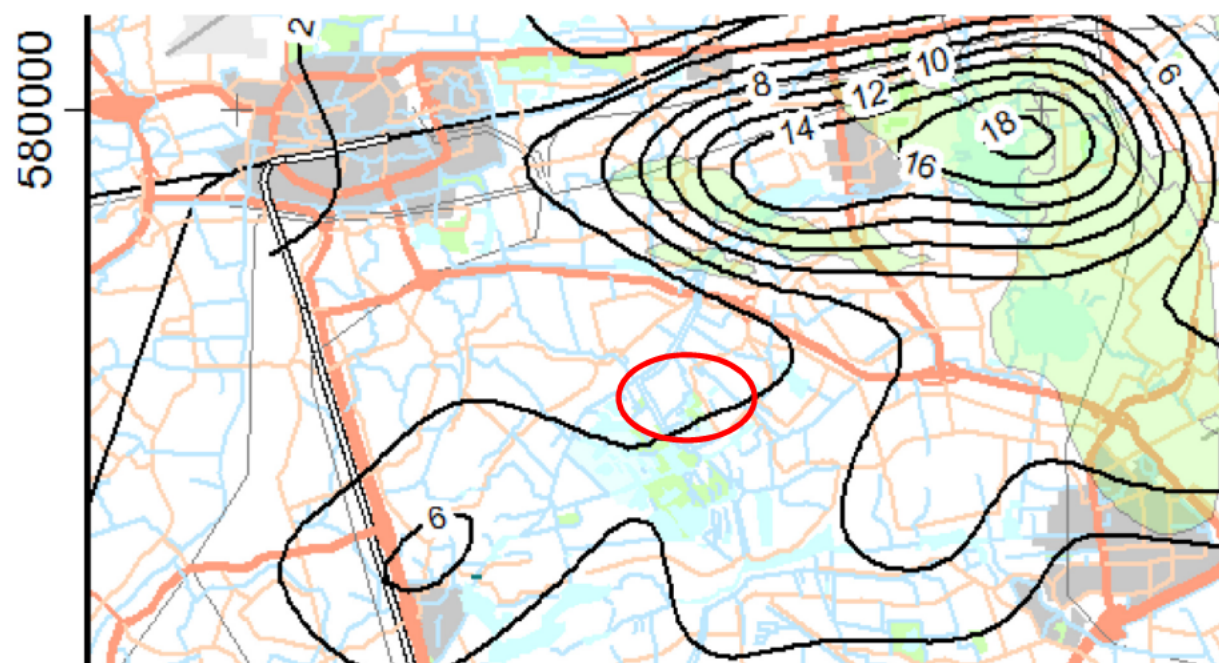
De geschatte toekomstige daling (die hier wordt veroorzaakt door voortgaande compactie in het Nijega (Vlieland-zandsteen) voorkomen wordt op minder dan 2 cm geschat (ref. 18). Een kaart van de geschatte eindsituatie is weergegeven in Figuur 6-6 (daar moeten NAM dalingen, o.a. door Tietjerksteradeel en Suawoude, Figuur 15-5, bij opgeteld worden).



Figuur 15-1 Gedrag van NAP peilmerken in de buurt van de locatie 'Eernewoude-01/-02/Leeuwarden-08/-11', uit de NAP database (ref. 17). De referentie voor de verticale as is arbitrair (als referentieput is 1987 gekozen) om alle curves in één plaatje te kunnen tekenen. Verschillende peilmerken hebben een verschillend lange historische periode, maar zijn hier zo getekend dat ze aansluiten. Een totale peilmerk daling van 4-5 cm in de periode 1970-2013 is zichtbaar (zie ref. 18, 16). De NAP definitie is herzien in 2004, stippellijnen geven metingen van voor de herziening, getrokken lijnen van erna. Er is geen correctie toegepast voor autonome bodemdaling, ook al kan die in dit gebied 1-3 cm zijn over de getoonde periode (ref. 18)



Figuur 15-2 Peilmerkdaling Leeuwarden-Oost 1970/1974-2013 (mm). De dichtheid van peilmerken met zo'n lange, continue, meetgeschiedenis, is laag in en rond het Eernewoude voorkomen (rode cirkel).



Figuur 15-3 NAM contourkaart van de bodemdaling in 2013 op basis van ruimte-tijd analyse van waterpasdata (cm) (ref. 13). De rode cirkel geeft het gebied van dit winningsplan aan. Het meetplan Noord-Nederland van de NAM overlapt het gebied van dit winningsplan volledig. De daling in 2013 wordt dus door de NAM op 4 cm geschat, waarvan een deel door NAM winning wordt veroorzaakt (Figuur 15-5). De voorkomens Tietjerksteradeel en Suawoude vallen onder de NAM analyse.

15.2 Modelleren toekomstige daling

Zoals hierboven uitgelegd staat, leidt productie tot drukdaling (dp), drukdaling tot compactie (dh) die aan de (depletierende) hoogte h gerelateerd is via de compactie-coëfficiënt C_m :

$$dh = C_m \cdot h \cdot dp$$

Compactie leidt vervolgens tot bodemdaling. De modellering van dit proces is gedaan conform de methode van Van Opstal (ref. 12). In de berekening is de bodemdaling als gevolg van de productie uit zowel het Ernewoude voorkomen als het bovenliggende Leeuwarden voorkomen meegenomen. Voor de berekening van toekomstige bodemdaling is hiernaast ook toekomstige productie uit de Akkrum en Ten Boer meegenomen. De overlap met dalingskommen ten gevolge van naburige winningen is bekeken.

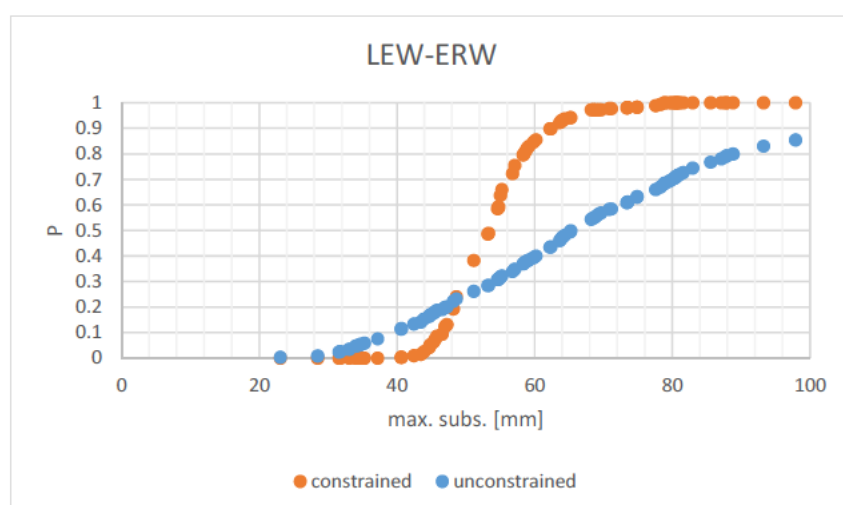
Ook het gesteente onder het reservoir wordt in principe beïnvloed door de compactie, maar dat zal maar in beperkte mate gebeuren. Dit wordt door het concept '*rigid basement*' gemodelleerd. Hierbij wordt aangenomen dat vanaf een zekere diepte onder het reservoir, het gesteente niet meer zal vervormen als gevolg van de gaswinning. Gezien de geologische setting, wordt een rigid basement factor van 1.05 genomen voor Rotliegend en Zechstein reservoirs, en 1.2 voor Vlieland zandsteen.

Voor elke onzekere invoer-parameter is de onzekerheid gerepresenteerd door 2-3 waarden mee te nemen (zie de tabellen hieronder). Bij de bepaling van de mogelijke waarden zijn eerdere ervaringen in analoge Vermilion voorkomens gebruikt, en ook gerapporteerde NAM waarden (2015, ref. 13). De bodemdaling is vervolgens voor alle parametercombinaties uitgerekend, en aan alle combinatie-realisaties is een kans toegekend conform de kansen in de onderstaande tabellen. Het resultaat is een kansverdeling zoals in Figuur 6-4.

Deze statistische tijdsafhankelijke daling is vervolgens gecalibreerd aan de metingen. Hierbij is voor de hoge case ervan uitgegaan dat alle daling gas-gerelateerd is. Modelcurves die niet voldoen aan de gemeten historische waarden worden niet meegenomen in de voorspellingen. Dit proces leidt tot een verkleining van de onzekerheidsmarges naarmate meer metingen beschikbaar komen. De curves in Figuur 6-7 en Figuur 15-4 geven dat calibratie-proces weer.

Om een conservatieve schatting te geven, is het gebruikelijk de zgn. P10 waarde te gebruiken. Dat is de waarde die met 90% zekerheid niet overschreden wordt. De getallen die in dit winningsplan vermeld worden en de kaarten (Figuur 6-5) zijn gebaseerd op een realisatie die tot zo'n conservatieve P10 daling leidt.

Het uiteindelijke resultaat is dat de toekomstige totale daling op minder dan 2 cm wordt geschat, waaraan de Ernewoude winning minder dan 1 cm bijdraagt.



Figuur 15-4 Effect van calibreren van de a-priori parameters (zoals in Tabel 15-1 e.v.) aan de metingen (zie Figuur 6-7). De gemodelleerde (want gemeten) daling is het gecombineerde effect van alle lagen in het Ernewoude voorkomen met de Vlieland van Leeuwarden Nijega.

Tabel 15-1 Bodemdalings-parameters gebruikt voor de (toekomstige) Eernewoude winning – Ten Boer formatie cycli 1 – 4.

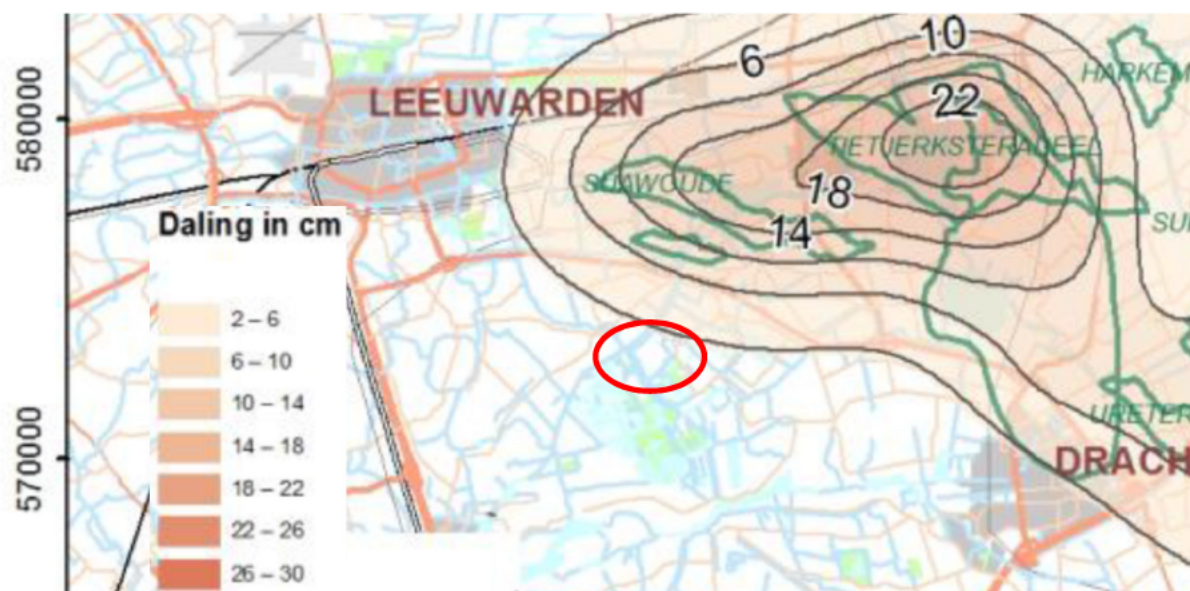
Name	Symbol	Values			Unit	Realization Probabilities			Comment
		L	M	H		L	M	H	
Depleted area	A	GWC 2390	GWC 2408	Ext. Water leg		40%	40%	20%	Thin zones, but connectivity likely better than AKM sand
Virgin Pressure	P_v	251			[bar]	100%			
Abandonment Pressure	P_a	15	75	100	[bar]	30%	40%	30%	Thin zones
Poisson's Ratio	ν	0.25			[-]	100%			There is uncertainty, but it has low impact
Depth of the Formation	z	2380			[m]	100%			Uncertainty low compared to depth
Oedometric Compressibility	C_m	2.50E-6	4.50E-6	7.00E-6	[1/bar]	30%	40%	30%	Range e.g. from NAM report (2015)
Depleting Height	h	11.5	17	22.5	[m]	30%	40%	30%	
Rigid Basement Factor	RB	1.01	1.05	1.1	[-]	40%	30%	30%	Some uncertainty (impact is limited, mainly on shape)
Tau	τ	2	3	5	[y]	30%	40%	30%	Range e.g. from NAM report (2015)
Production Profile		L profile	M profile	H profile	[-]	30%	40%	30%	

Tabel 15-2 Bodemdalings-parameters gebruikt voor de (toekomstige) Eernewoude winning – Ten Boer formatie cyclus 5 (Akkrum)

Name	Symbol	Values			Unit	Realization Probabilities			Comment
		L	M	H		L	M	H	
Depleted area	A	GWC 2390	GWC 2408	Ext. Water leg		40%	40%	20%	Poor connectivity in ERW-02
Virgin Pressure	P_v	251			[bar]	100%			
Abandonment Pressure	P_a	15	75	210	[bar]	20%	40%	40%	Compartmentalization (ERW-02) makes average final field pressure uncertain
Poisson's Ratio	ν	0.25			[-]	100%			There is uncertainty, but it has low impact
Depth of the Formation	z	2350			[m]	100%			Uncertainty low compared to depth
Oedometric Compressibility	C_m	2.5E-6	4.5E-6	7.0E-6	[1/bar]	30%	40%	30%	Range e.g. from NAM report (2015)
Depleting Height	h	2	3	5	[m]	30%	40%	30%	
Rigid Basement Factor	RB	1.01	1.05	1.1	[-]	40%	30%	30%	Some uncertainty (impact is limited, mainly on shape)
Tau	τ	1	3	5	[y]	30%	40%	30%	Range e.g. from NAM report (2015)
Production Profile		L profile	M profile	H profile	[-]	30%	40%	30%	

Tabel 15-3 Bodemdalings-parameters gebruikt voor de (historische) Eernewoude Slochteren winning

Name	Symbol	Values			Unit	Realization Probabilities			Comment
		L	M	H		L	M	H	
Depleted area	A	Water leg	Ext. Water leg			50%	50%		Aqf makes small shape unlikely
Virgin Pressure	P_v	251			[bar]	100%			
Abandonment Pressure	P_a	230			[bar]	100%			Has watered out
Poisson's Ratio	v	0.25			[-]	100%			There is uncertainty, but it has low impact
Depth of the Formation	z	2400			[m]	100%			Uncertainty low compared to depth
Oedometric Compressibility	C_m	2.5E-6	4.5E-6	7.0E-6	[1/bar]	30%	40%	30%	Range e.g. from NAM report (2015)
Depleting height	h	105	116	127	[m]	30%	40%	30%	
Rigid Basement Factor	RB	1.01	1.05	1.1	[-]	40%	30%	30%	Some uncertainty (impact is limited, mainly on shape)
Tau	τ	1	3	5	[y]	30%	40%	30%	Range e.g. from NAM report (2015)
Production Profile		L profile	M profile	H profile	[-]	30%	40%	30%	



Figuur 15-5 NAM contourkaart van de prognose bodemdaling 2080, in (cm) (ref. 13). De rode cirkel geeft het gebied van dit winningsplan aan. Contouren zijn 2-6-10-... cm. I.t.t. Figuur 15-3 betreft het hier alleen daling t.g.v. NAM winning, o.a. uit de voorkomens Tietjerksteradeel en Suawoude. Op de locatie Eernewoude is deze daling dus minder dan 3 cm. (Merk op dat in de NAM prognosekaart ook het voorkomen Opeinde is meegenomen.)

17 Bijlage: Seismische Risico Analyse: Details en Achtergronden

Verdere winning uit het Ernewoude voorkomen valt in risico categorie I; dit is de laagste risico-categorie. Dit betekent volgens de gepubliceerde richtlijnen dat alleen monitoring van seismische activiteit via het bestaande seismisch monitoring netwerk van het KNMI noodzakelijk is.

Deze bijlage bevat de details omtrent de seismische risico-analyse. Hierbij is gebruik gemaakt van alle beschikbare reservoir-gegevens die belangrijk zijn bij het inschatten van het seismisch risico.

17.1 Algemeen kader voor Seismische Risico Analyse

Het kader en de hier beschreven methodiek is gebaseerd op: *Methodiek Voor Risicoanalyse Omtrent Geïnduceerde Bevingen Door Gaswinning*; Tijdelijke Leidraad Voor Adressering Mbb. 24.1.p, Versie 1.2, 1 februari 2016, Staatstoezicht op de Mijnen (SodM) (ref. 5)..

Om het seismisch risicoprofiel vast te stellen van een voorkomen wordt een risico-analyse uitgevoerd voor het voorkomen volgens een getrap model dat bestaat uit drie stappen. Deze drie stappen worden weergegeven in Figuur 7-1. Op basis van de uitkomsten van de verschillende individuele stappen worden vervolgstappen genomen.

Niveau 1: Screening Potentieel

In deze stap wordt het potentiële vermogen van het gasvoorkomen om aardbevingen te genereren bepaald. Dit potentiële vermogen wordt bepaald aan de hand van de correlatie die is opgesteld door TNO in de studie *Deterministische Hazard Analyse voor Geïnduceerde Seismiciteit in Nederland* (ref. 3 en 4).

Voor voorkomens die op basis van deze initiële analyse een verwaarloosbare kans hebben om geïnduceerde bevingen te genereren, is het niet noodzakelijk om aansluitende niveaus 2 en 3 te doorlopen.

Indien de kans op een geïnduceerde beving niet verwaarloosbaar is, zullen er aanvullende berekeningen worden uitgevoerd om de sterkte van een potentiële geïnduceerde beving te kunnen bepalen. Als de sterkte (seismisch moment, M) van een potentiële geïnduceerde beving boven de 2.5 ligt, dan zal de risico analyse verder worden uitgebreid met de risico matrix (niveau 2).

Niveau 2: Risico Matrix

In deze stap wordt op basis van een risicomatrix-benadering het risico ten gevolge van geïnduceerde aardbevingen verder gekwalificeerd.

De inschattingen van het risiconiveau (I, II, III) bepaalt of er aanvullende monitoringsverplichtingen of maatregelen moeten worden genomen met betrekking tot de productie uit het voorkomen.

Niveau 3: Kwantitatieve Risico Analyse

Er zal een aanvullende kwantitatieve risico-analyse worden uitgevoerd in het geval dat een voorkomen op basis van de risicomatrix als categorie III wordt gekwalificeerd.

17.2 Seismische Risico Analyse voor de voorkomens in dit winningsplan

17.2.1 Niveau 1: Screening Potentieel

De studie *Deterministische Hazard Analyse voor Geïnduceerde Seismiciteit in Nederland* (TNO, ref. 3 en 4) (*DHAIS*) gebruikt gegevens over seismiciteit (bron: www.knmi.nl), drukdata en eigenschappen van de verschillende voorkomens. Aan de hand van de volgende parameters van een olie- of gasvoorkomen wordt de kans bepaald dat zich, op enig moment gedurende de productie van een voorkomen, een beving voordoet:

- $\Delta P/P_{ini}$ = de ratio van drukval (ΔP) en initiële druk (P_{ini}) in het reservoir;
- E = de verhouding tussen de Young's moduli (stijfheidsmoduli) van de 'overburden' en het reservoirgesteente
- Parameter B wordt gedefinieerd door de volgende vergelijking:

$$B = \frac{Fault_surface^{3/2}}{gross_rock_volume} = \frac{l_b^{3/2} \cdot h^{3/2}}{A \cdot h} = \frac{l_b^{3/2} \cdot \sqrt{h}}{A}$$

Waarbij:

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

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

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

De DHAIS kans-klassen worden hieronder weergegeven (met P_h de kans op beven van het voorkomen):

Tabel 17-1 DHAIS kans-classificatie (TNO, ref. 3 en 4). De kans betreft bevingen met een magnitude $M > 1.5$.

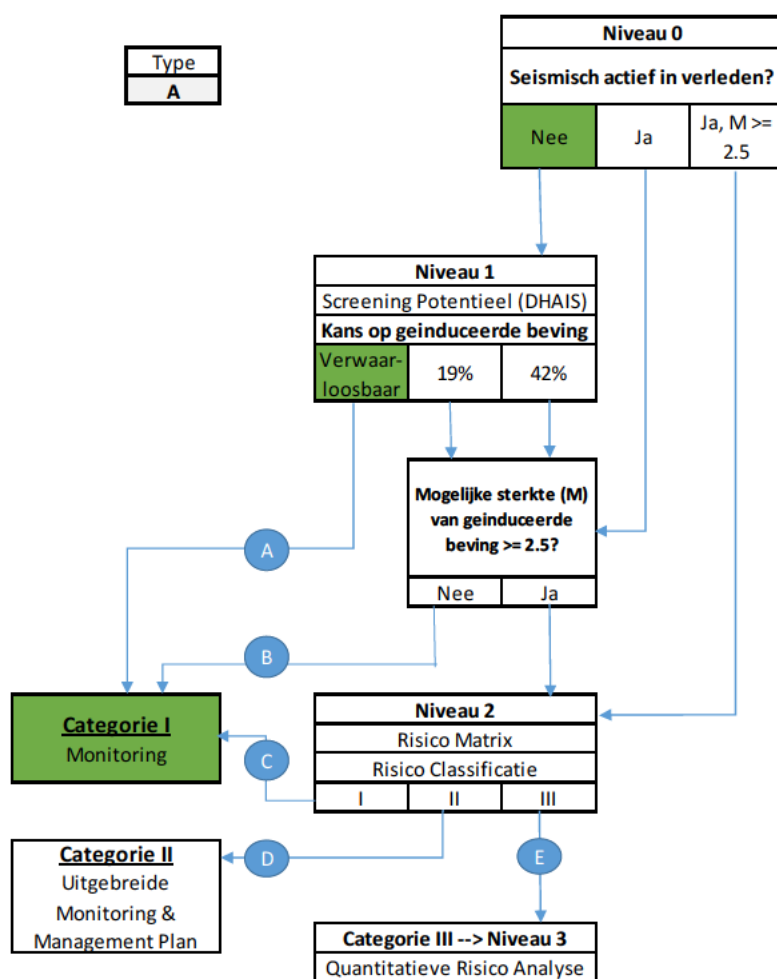
Reeds bevende voorkomens	
$\Delta P/P_{ini} \geq 28\%$	$B > 0,86$ en $E \geq 1,34$: $P_h = 0.42 \pm 0.08$
	$B > 0,86$ en $1,01 \leq E \leq 1,33$: $P_h = 0.19 \pm 0.05$
	$B < 0,86$ en/of $E < 1,01$: verwaarloosbare kans
$\Delta P/P_{ini} < 28\%$	Verwaarloosbare kans

De grenswaarde voor de drukval als gevolg van gaswinning waaronder geen geïnduceerde bodemtrillingen zijn gemeten, is 28% van de initiële reservoirdruk. De drukval in het Eernewoude voorkomen zal deze grenswaarde waarschijnlijk overschrijden.

De B-factor is berekend op 0.71. Het veldcontour dat gebruikt is als basis voor de berekeningen is het *ERW_TB_GWC2408* contour, zoals weergegeven Figuur 14-1. De breuken die zijn meegenomen zijn die aan de grenzen van het contour (de NO, ZO en ZW zijden) en de intra-field breuk. Aangenomen is dat productie plaatsvindt uit de volledige Ten Boer (incl. Akkrum), dus dat de volledige Ten Boer compacteerd.

De gesteente-stijfheid is verwerkt in de E factor, die is berekend op 1.79 (Tabel 17-2).

De uitkomst van deze Niveau 1 analyse is dat de kans op een trilling met een magnitude van minimaal 1.5 verwaarloosbaar is. Deze conclusie is schematisch weergegeven in Figuur 17-1.



Figuur 17-1 SRA beslisboom toegepast voor Ernewoude Ten Boer. De uitkomst is Categorie-I.

Tabel 17-2 Parameters voor SRA voor Eernewoude. De analyse is uitgevoerd voor de verwachte situatie waarbij productie uit de volledige Ten Boer (incl. Akkrum) plaatsvindt.

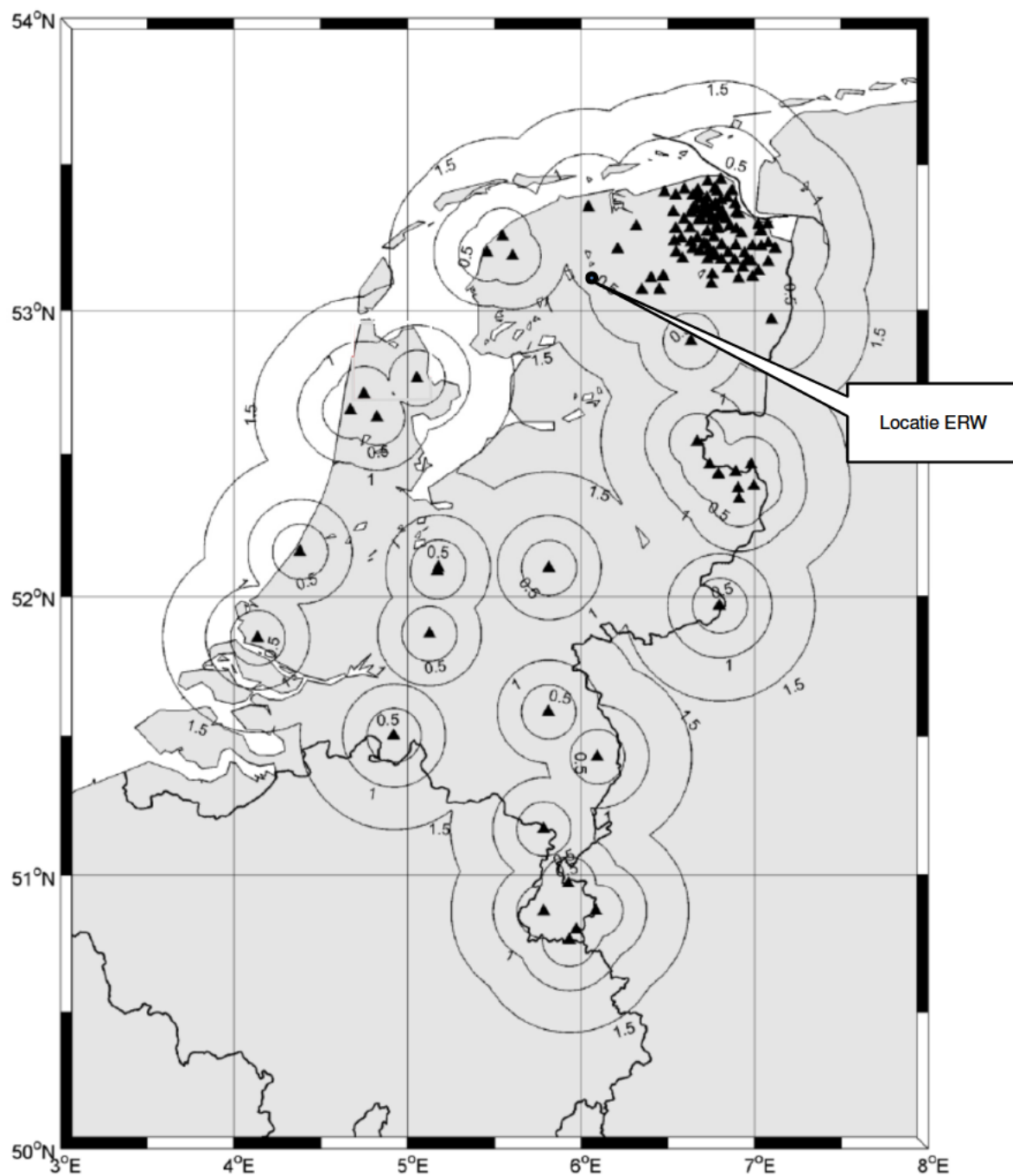
		Ten Boer (incl. Akkrum)
Depth (GWC)	[mTVDss]	2408
Initial pressure	[bar]	270
Dp/Pini	[-]	81%
Total Fault Length	[m]	7200
Longest Fault	[m]	2500
Area @ GWC	[km2]	3.83
H (netto)	[m]	22.5
B factor	[-]	0.76
Data sources E		APS-02 RO
		APS-02 ZE21
Overburden, Vp	[m/s]	5305
Overburden, Vs	[m/s]	2964
Overburden, rho	[kg/m3]	2796
Reservoir, Vp	[m/s]	4054
Reservoir, Vs	[m/s]	2436
Reservoir, rho	[kg/m3]	2435
Static E Overburden	[GPa]	39.70
Static E Reservoir	[GPa]	22.19
E factor	[-]	1.79

Historic Seismicity?		N
Mmax_hist		0
Num events > 1.5		0

De waarden voor de Young's modulus E zijn gecorrigeerd van dynamisch naar statisch.

17.2.2 Niveau 2: Risico Matrix

Omdat de DHAIS kans verwaarloosbaar is doordat de breukdichtheid laag is, is een Niveau-2 analyse niet nodig. Voor de volledigheid is hieronder wel een kaart van het KNMI seismometer-netwerk gegeven. Zie ook paragraaf 7.4.



Figuur 17-2 Seismische detectie-stations en detectie-drempel-magnitude. Aangepast begin 2017 (met stations na 2010) naar Fig. 2a uit KNMI Ref. 11.

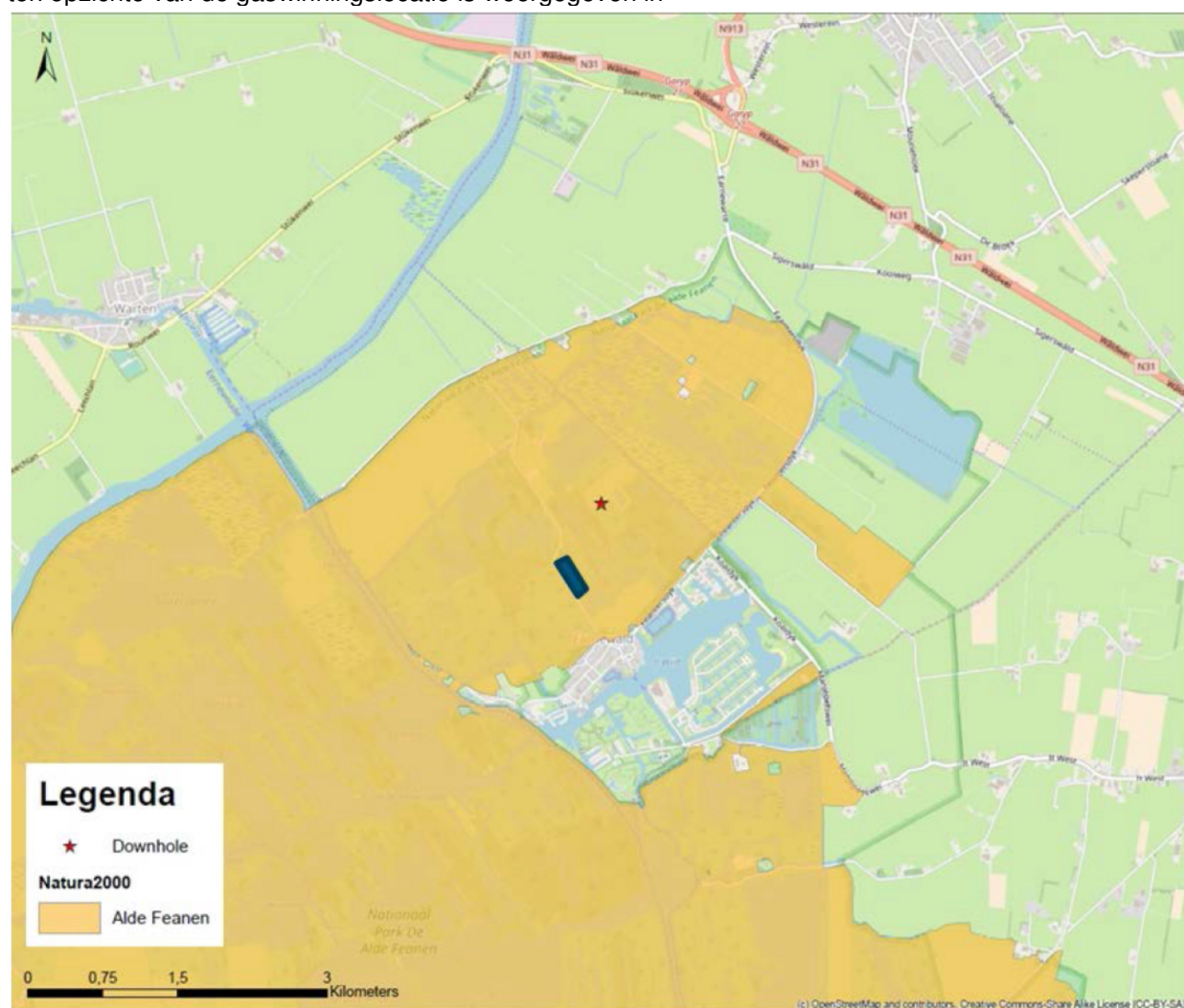
18 Bijlage: Gedetailleerde impactanalyse bodemdaling

18.1 Gebiedsbeschrijving

Figuur 18-1 geeft het gebied rondom de gaswinningslocatie weer. De gaswinningslocatie Ernewoude is gelegen in het midden van de provincie Fryslân. Het gebied is ingericht voor de functies landbouw, natuur en bebouwing.

Ten zuiden van de gaswinningslocatie ligt het dorp Ernewoude (Earnewâld) en ten noordwesten van de gaswinningslocatie ligt het dorp Warten.

De gaswinningslocatie ligt in het Natura2000 gebied De Alde Feanen. De Alde Feanen is een deels vergraven en ontgonnen laagveengebied met een groot areaal oppervlaktewater (Figuur 18-1; ref. 28). Het N2000 gebied heeft een oppervlakte van circa 2.000 hectare. De begrenzing van het natuurgebied ten opzichte van de gaswinningslocatie is weergegeven in



Figuur 18-1 Het gebied met de gaswinningslocatie (blauw) en de Natura2000 contour

18.2 Waterhuishouding

De kaart in Figuur 18-2 geeft het watersysteem Ernewoude en omgeving weer. Het is een gereguleerd systeem wat betekent dat de waterpeilen in de diverse hoofd- en schouwwatergangen worden geregeld via diverse kunstwerken (stuwen en gemalen). Er worden verschillende waterpeilen beheerd, afhankelijk van de functie.

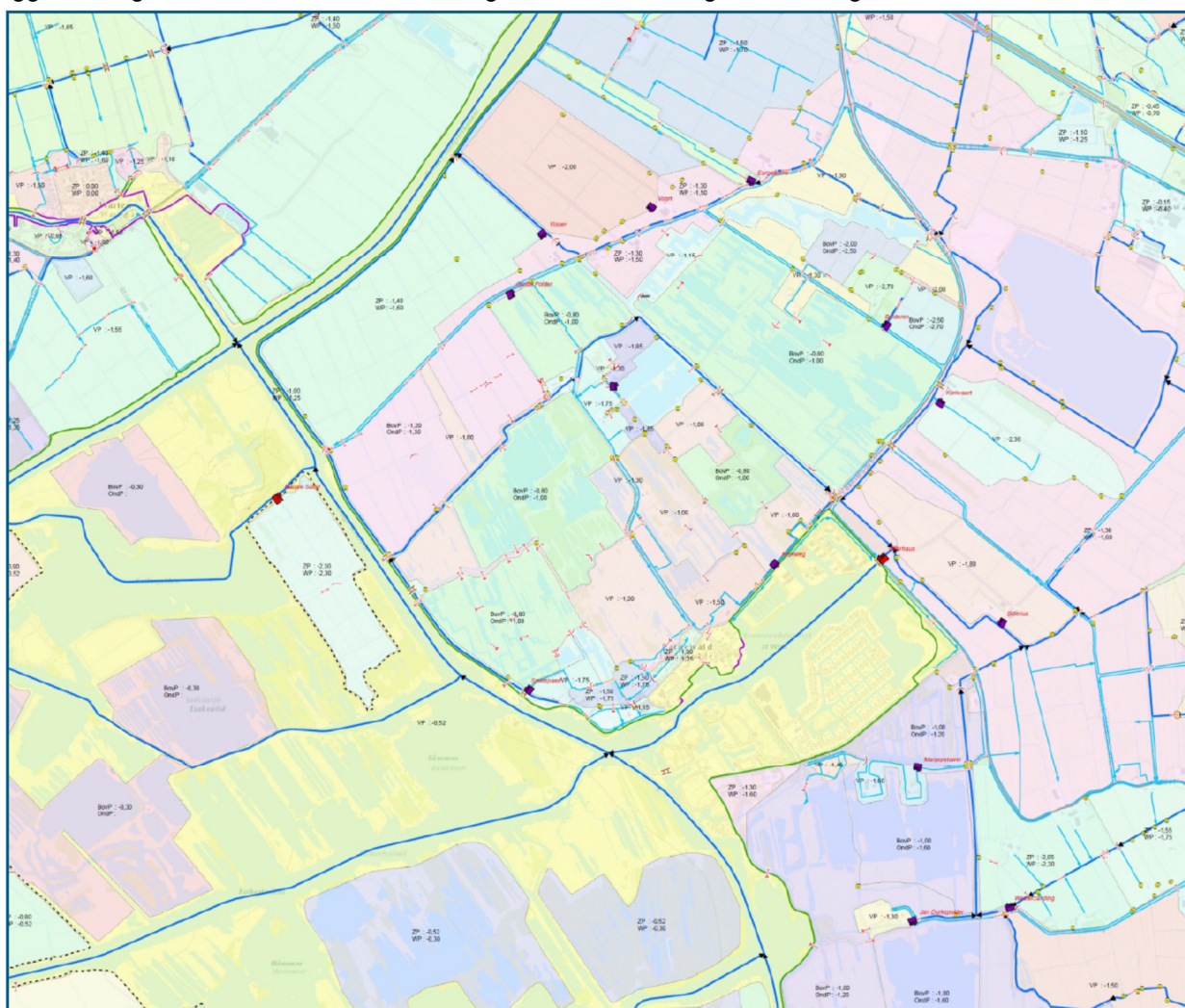
Het bebouwde gebied van Warten heeft een vast peil van -1.50 m NAP en het bebouwde gebied van Ernewoude heeft een zomerpeil van -1.50 m NAP en winterpeil van -1.75 m NAP.

De percelen in gebruik voor de landbouw worden beheerd op een vast peil of zomer- en winterpeil. Het gaat om een vast peil tussen -2.00 en -1.70 m NAP en een zomer- en winterpeil van -1.30 tot -1.70 m NAP.

In het natuurgebied De Alde Feanen worden zowel vaste peilen als variabele peilen met een boven- en ondergrenspeil en zomer- en winterpeil gehanteerd. De flexibele peilen die voorkomen zijn bovenpeil -1.20 m NAP/ onderpeil -1.30 m NAP en bovenpeil -0.80 m NAP/ onderpeil -1.00 m NAP. Het zomer- en winterpeil dat wordt gehanteerd is zomerpeil -0.52 m NAP/ winterpeil -0.30 m NAP. De vaste peilen variëren van -2.30 m NAP voor een eiland tot -0.30 m NAP voor oppervlaktewater.

Een gedeelte van de Alde Feanen behoort tot de Friese Boezem met een vast peil van -0.52 m NAP (zie geel peilvak in Figuur 2). Ook het Prinses Margrietkanaal en de Rochslaet richting Warten behoren tot de Friese Boezem en hebben een vast peil van -0.52 m NAP.

In het gebied liggen zowel regionale- als lokale keringen. Figuur 2 geeft de locaties van deze keringen weer. Te zien is dat in de nabijheid van de gaswinningslocatie de keringen langs de Friese Boezem liggen. Het gaat om circa 5 km lokale kering en circa 25 km regionale kering.



Figuur 18-2 Watersysteem Eernewoude (Data van Wetterskip Fryslân)

18.3 Toekomstige bodemdaling

De toekomstige bodemdaling bij einde productie t.g.v. de winning in dit winningsplan bedraagt 1 mm tot 7 mm voor een gebied met een totaaloppervlak van circa 6.000 ha (zie Figuur 6-5). Rondom het punt in de ondergrond waaruit gewonnen wordt treedt naar verwachting hoogstens 7 mm bodemdaling op en tot 4.5 km van de winningslocatie treedt nog 1 mm op. De bodemdaling betreft een daling van

zowel de ondiepe als de diepe ondergrond, dit betekent dat (gefundeerde) kunstwerken en gebouwen die zich binnen de contouren van de bodemdaling bevinden integraal mee zakken met het maaiveld.

Binnen de bodemdalingscontour bevinden zich landbouwgronden en het Natura2000 gebied De Alde Feanen. De bebouwing van Eernewoude en Warten valt (gedeeltelijk) binnen de bodemdalingscontour.

18.4 Reeds opgetreden bodemdaling 1970-2018

In de ondergrond onder Eernewoude en omgeving wordt al sinds 1970 gas gewonnen. In het verleden is vanwege deze gaswinning al bodemdaling opgetreden (het overgrote deel van de daling in Figuur 6-6; zie ook Figuur 6-7). In de periode 1970-2018 is in de directe nabijheid van de gaswinningslocaties maximaal 6 cm bodemdaling opgetreden. Richting de rand van de contour op circa 8 km afstand is de bodemdaling aflopend van 6 cm tot 1 cm. In onderhavige bijlage worden de effecten van de bodemdaling beoordeeld ten opzichte van de huidige situatie waarin reeds bodemdaling is opgetreden.

18.5 Effecten toekomstige bodemdaling

De volgende paragrafen beschrijven de effecten als gevolg van de toekomstige bodemdaling op de huidige waterhuishouding en vervolgens op de natuurwaarden.

18.6 Oppervlaktewater/grondwater: verandering van drooglegging

Drooglegging is het verschil tussen het waterpeil en het maaiveld. In principe leidt bodemdaling als gevolg van gaswinning niet direct tot een afname van de drooglegging. Immers het peil regulerende kunstwerk zakt gelijkmatig met het maaiveld, waardoor het verschil tussen peil en maaiveld ongewijzigd blijft. Op het moment dat er sprake is van een bodemdalingsverschil binnen een peilgebied of een deel van het peilgebied kan er zowel sprake zijn van vernatting als verdroging. Vernatting treedt op als het peilregulerend kunstwerk binnen het peilvak minder zakt dan een deel van het maaiveld binnen het peilgebied. Voor verdroging geldt het omgekeerde. Deze situaties doen zich veelal voor bij peilgebieden van een aanmerkelijke omvang en/of steile bodemdalingscontouren.

Uitgaande van de situatie dat het waterschap het huidige peil ten opzichte van NAP handhaaft, heeft dit effect voor de functies akkerbouw, natuur en de bebouwing. Bij een gehandhaafd peil verandert de drooglegging en zal de grondwaterstand conform de bodemdaling stijgen, met vernatting tot gevolg.

In deze bijlage is als uitgangspunt gehanteerd dat er sprake is van negatieve effecten op de waterhuishouding bij een bodemdalingsverschil van 5 cm of meer. Dit uitgangspunt is overgenomen van de methodiek schadebepaling die de Commissie Bodemdaling Aardgaswinning Fryslân hanteert.

18.6.1 Effect op landbouw

Op de gronden in gebruik als landbouw treedt een bodemdaling tussen 1 en 4 mm op. Deze bodemdaling is minder dan 5 cm, waardoor er geen negatieve effecten voor landbouwgronden optreden. Ook als het waterschap er voor kiest om het peil niet de bodemdaling te laten volgen maar op het huidige NAP peil houdt, zal een vermindering van de drooglegging van maximaal 4 mm optreden. Dit is echter zeer beperkt en leidt niet tot significante vernatting van de landbouwpercelen.

18.6.2 Effect op bebouwing

Voor de bebouwing van Eernewoude geldt een toekomstige bodemdaling van 2-4 mm en voor de bebouwing van Warten maximaal 1 mm. De diepe bodem zakt hier integraal naar beneden met de fundering en de kunstwerken die de drooglegging bepalen. De drooglegging verandert hierdoor niet en er is geen sprake van zetting van de ondergrond ten opzichte van de fundering of ongelijke zetting op gebouwniveau. Hierdoor ontstaan geen schadelijke gevolgen door het optreden van zetting.

Ook als het waterschap er voor kiest om het peil niet de bodemdaling te laten volgen maar op het huidige NAP peil houdt, zal een vermindering van de drooglegging van maximaal 4 mm optreden. Dit is minder dan 5 cm en leidt niet tot negatieve effecten.

18.6.3 Effect op natuur

In het N2000 gebied De Alde Feanen daalt de bodem 1 mm tot 7 mm ten opzichte van het waterpeil. Een deel van De Alde Feanen behoort tot de Friese Boezem en de rest wordt beheerd met polderpeilen.

In de delen van De Alde Feanen waar sprake is van een polderpeil treedt bodemdaling op van 1 tot 4 mm. In principe blijft de drooglegging hier gelijk doordat het peilbeherende kunstwerk integraal meezakt met het maaiveld. Indien het waterschap besluit om het peil niet de bodemdaling te laten volgen, treedt vernatting op doordat de peilen gehandhaafd blijven en de drooglegging hierdoor verkleint. Dit effect is echter zo klein dat er geen sprake is van een effect.

In de delen van De Alde Feanen die tot de boezem behoren treedt bodemdaling op van 1 tot 7 mm. Wetterskip Fryslân hanteert het uitgangspunt dat het peil in de Friese boezem niet wordt aangepast naar bodemdaling en gelijk blijft op -0.52 m NAP. Hierdoor treedt een vermindering van de drooglegging van maximaal 7 mm op doordat het peil gelijk blijft en de bodem zakt. Dit betekent dat er een zeer lichte vernatting in het natuurgebied optreedt. Dit effect is echter zo klein dat er geen effecten optreden als gevolg van de bodemdaling in het natuurgebied.

18.6.4 Effect op Friese Boezem

De Friese Boezem is in principe een peilvak van zeer grote omvang en strekt zich uit over heel Fryslân. Wetterskip Fryslân hanteert het uitgangspunt dat het peil in de Friese boezem niet wordt aangepast naar bodemdaling en gelijk blijft op -0.52 m NAP. Dit heeft tot gevolg dat op de locaties waar de bodem daalt ten opzichte van het boezempeil er daarmee vernatting optreedt. Ter plaatse van de Friese Boezem in Ernewoude treedt 1-4 mm bodemdaling op. Gezien de beperkte omvang van deze bodemdaling/vernatting zal dit niet leiden tot een negatief effect.

18.6.5 Effect op grondwaterberging

De relatieve stijging van het grondwaterpeil leidt in principe tot een afname in de capaciteit van de grondwaterberging. Gezien de bodemdaling van 1 mm tot 7 mm is dit effect verwaarloosbaar.

18.7 Waterkwaliteit

Gezien de geringe bodemdaling van 1 tot 7 mm ontstaan geen negatieve gevolgen ten aanzien van de waterkwaliteit

18.8 Waterveiligheid – Verandering van opvoerhoogte gemalen en hoogte keringen

In een situatie waar bodemdaling voorkomt en het waterpeil gelijk wordt gehouden ten opzichte van NAP, kan dit een verandering in de kerende hoogte van keringen tot gevolg hebben. Als uitgangspunt geldt dat een bodemdaling van meer dan 1 cm effecten geeft.

Binnen de bodemdalingscontour langs de Friese Boezem bevinden zich zowel lokale als regionale keringen. Voor ca. 25 km regionale kering geldt 1 tot 4 mm bodemdaling en voor 5 km lokale kering geldt 2 tot 3 mm bodemdaling. Voor deze keringen is het theoretisch mogelijk dat de kerende hoogte tot maximaal 4 mm afneemt. Dit is echter minder dan 1 cm waardoor negatieve effecten kunnen worden uitgesloten en het niet nodig is om de kade op te hogen om de bodemdaling te compenseren.

18.9 Natuur

De Alde Feanen is een N2000 gebied wat betekent dat bij activiteiten de zorgplicht vanuit de Wet Natuurbescherming van toepassing is. De Wet Natuurbescherming beschrijft dat beschermde en aangewezen natuurwaarden niet nadelig mogen worden beïnvloed. Indien nadelige effecten van de activiteiten niet op voorhand uitgesloten kunnen worden, dient hier nader ecologisch onderzoek naar uitgevoerd moeten worden. Op basis van de uitkomsten van dit ecologisch onderzoek wordt bepaald of het noodzakelijk is een ontheffing en/of vergunning aan te vragen in het kader van de Wet natuurbescherming.

18.9.1 Uitwerking toetsing Wet natuurbescherming

De Alde Feanen omvat diverse habitattypen. Landschappelijk wordt het gebied gekenmerkt door moerasvegetaties, omgeven door zomerpolders en boezemlanden en doorsneden door tal van watergangen. Het gebied bestaat uit open water, rietlanden, laagveenverlandingsmoeras, moerasbos en schrale graslanden op restveen (ref. 28).

De natuurwaarden van de Alde Feanen worden sterk beïnvloed door de waterhuishoudkundige omstandigheden. De verwachte bodemdaling van de winning in Ernewoude bedraagt in de Alde Feanen 1 tot maximaal 7 mm. Als het waterschap er voor kiest om het (boezem)peil niet de bodemdaling te laten volgen maar op het huidige NAP peil te houden, zal een vermindering van de drooglegging van maximaal 7 mm optreden. Dit betekent dat daarmee een lichte vernatting van het natuurgebied optreedt. Echter, een bodemdaling van maximaal 7 mm zal niet van wezenlijke invloed zijn op de waterhuishouding in De Alde Feanen. Negatieve effecten op beschermde natuurwaarden zijn hiermee op voorhand uit te sluiten. Er is geen nader onderzoek in het kader van de Wet natuurbescherming noodzakelijk.

18.10 Conclusie

De omvang van de toekomstige bodemdaling rondom gaswinningslocatie Ernewoude bedraagt tussen 1 mm en 7 mm. De effecten ten opzichte van de huidige situatie op de waterhuishouding (grondwater, oppervlaktewater, waterkwaliteit, waterberging en waterveiligheid) en natuur zijn beoordeeld. De omvang van de effecten voor grondwater, oppervlaktewater, waterberging en waterkwaliteit zijn verwaarloosbaar waardoor geen problemen ontstaan voor landbouw, natuur of in stedelijk gebied. Voor de regionale en lokale waterkering langs de Friese Boezem neemt de kerende hoogte 1 mm tot 4 mm af. Dit is een zeer geringe afname waardoor dit effect is beoordeeld als geen schadelijk effect. Negatieve effecten op beschermde natuurwaarden zijn op voorhand uit te sluiten. Er is geen nader onderzoek in het kader van de Wet natuurbescherming noodzakelijk