

**VERMILION
ENERGY**



Vermilion Energy Netherlands B.V.

**Aanvraag Instemming Leeuwarden-101
Winningsplan**

Versie 1.2

8-Dec-17

Samenvatting

Dit document betreft het winningsplan 'Leeuwarden-101'. Vermilion Energy Netherlands B.V. heeft het plan in 2018 productie uit het voorkomen Leeuwarden-101 via de bestaande put LEW-102-S2 vanaf de bestaande mijnbouwlocatie 'Nijega-9/Leeuwarden-102' te herstarten. Mochten de resultaten daartoe aanleiding geven dan worden maximaal twee andere putten aangesloten (NGA-04, LEW-101) vanaf de locatie 'Nijega-4/Leeuwarden-101' om vervolgens ook via deze putten gas te winnen.

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.

Voorkomen	Leeuwarden-101	
Productie tot uiterlijk:	2031	
Hoeveelheid productie:	751	miljoen nm ³
(waarvan na 1-7-2017:	472	miljoen nm ³
Seismisch Risico Categorie:	Categorie I	
Verwachte maximale bodemdaling:	< 2	cm
(waarvan na 1-7-2017 verwacht maximaal:	0.7	cm
Samengestelde bodemdaling verwacht maximaal:	< 8	cm
(waarvan na 1-7-2017 verwacht maximaal:	< 2	cm

Er wordt een toekomstige bodemdaling van maximaal 0.7 cm verwacht op het diepste punt van de bodemdalingsskom door de winning waarop dit winningsplan betrekking heeft. Historische winning uit het Leeuwarden-101 voorkomen vond plaats tot 1992, en heeft naar schatting 1 cm daling opgeleverd. De daling door historische winning uit dit en andere voorkomens wordt in dit gebied samen op 6 cm geschat; de toekomstige gecombineerde daling in dit gebied op maximaal 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.

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	14
3 Boringen	16
3.1 Inleiding: Algemene beschrijving van een put.....	16
3.2 Overzicht boringen in voorkomen	17
3.3 Schematische voorstelling putverbuizing(en)	19
3.4 Plaats en wijze waarop koolwaterstoffen in verbuizing treden	19
3.5 Putbehandelingen	20
4 Ondergrond	21
4.1 Inleiding: hoe worden de ondergrond-eigenschappen gemeten.....	21
4.2 Geologie en gesteente-eigenschappen van het voorkomen	21
4.2.1 Reservoir-formaties en afsluitende lagen	21
4.2.2 Structuur	22
4.2.3 Bron koolwaterstoffen	22
4.2.4 Geologische doorsnede van voorkomen	22
4.3 Gesteente-eigenschappen van de bovenliggende lagen.....	23
4.4 Andere gebruiksmogelijkheden van de ondergrond	24
5 Ontwikkelingsvooruitzichten.....	25
5.1 Inleiding	25
5.2 Historische productie en productie-gedrag	25
5.3 Onzekerheden.....	26
5.4 Winningsstrategie & reservoir management	27
5.5 Vooruitzichten voor winningssnelheid (hoeveelheden per voorkomen/per jaar)	27
5.6 Duur van de winning	30
5.7 Jaarlijks eigengebruik bij winning.....	30
5.8 Jaarlijks bij winning afgeblazen/afgefakkelde koolwaterstoffen.....	30
5.9 Gassamenstelling en stoffen die jaarlijks worden mee geproduceerd.....	30
5.10 Jaarlijks bij winning in de ondergrond terug te brengen delfstoffen en andere stoffen	31
6 Bodemdaling	32
6.1 Inleiding: hoe komt bodemdaling tot stand	32
6.1.1 Gaswinning.....	32
6.1.2 De oorzaken van bodemdaling	32
6.1.3 Autonome bodemdaling	33

6.1.4	Meten en voorspellen van bodemdaling	34
6.2	Bodemdalingsmodel & historische bodemdaling	35
6.3	Bodemdalingsvooruitzichten en -onzekerheid	36
6.4	Monitoring van bodemdaling	39
6.5	Mogelijke gevolgen van de verwachte bodemdaling	39
6.5.1	Gevolgen voor gebouwen en infrastructuur	39
6.5.2	Gevolgen voor natuur en milieu	40
6.6	Maatregelen om (gevolgen van) bodemdaling te voorkomen of te beperken	40
7	Bodemtrilling.....	41
7.1	Inleiding: hoe komen bevingen ten gevolge van gaswinning tot stand.....	41
7.2	Historische bevingen in de voorkomens van dit winningsplan.....	41
7.3	Seismische Risico Analyse	41
7.4	Monitoring van bodemtrillingen	42
7.5	Mogelijke gevolgen van bevingen ten gevolge van gaswinning	42
7.5.1	Schade openbare infrastructuur door bodemtrillingen ten gevolge van gaswinning	42
7.5.2	Schade aan bouwwerken door bodemtrillingen ten gevolge van gaswinning	43
7.5.3	Gevolgen voor natuur en milieu door bodemtrillingen ten gevolge van gaswinning.....	43
7.6	Maatregelen om (gevolgen van) bodemtrillingen te voorkomen of te beperken.....	43
8	Overige Omgevingsaspecten.....	44
8.1	Inleiding	44
8.2	Bodem / Grondwaterverontreiniging	44
8.3	Luchtverontreiniging	44
8.4	Oppervlaktewaterverontreiniging	45
8.5	Externe veiligheid	45
8.6	Natuur.....	45
8.7	Locaties	45
9	Verklarende woordenlijst.....	47
10	Referenties	48
11	Bijlage: Locatie Plattegrond 'Nijega-9/Leeuwarden-102' en 'Nijega-4/Leeuwarden-101'	49
12	Bijlage: Proces-stroomdiagram van 'Nijega-9/Leeuwarden-102' en 'Nijega-4/Leeuwarden-101' aardgaswinningslocatie.....	51
13	Bijlage: Detailschema putverbuizing	53
14	Bijlage: Geologische kaart	56
15	Bijlage: Analyse en Berekening Bodemdaling Meetplan Leeuwarden-101	60
15.1	Historische daling	60
15.2	Modellering toekomstige daling.....	63
16	Bijlage: Meetnet Leeuwarden-Oost.....	67
17	Bijlage: Seismische Risico Analyse: Details en Achtergronden	68
17.1	Algemeen kader voor Seismische Risico Analyse.....	68
17.2	Seismische Risico Analyse voor de voorkomens in dit winningsplan.....	68
17.2.1	Niveau 1: Screening Potentieel.....	68
17.2.2	Niveau 2: Risico Classificatie	71

18	Bijlage: Vertrouwelijke Gegevens Leeuwarden-101	73
18.1	Volumeschattingen.....	73
18.2	Bedrijfsvoering.....	74

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 Leeuwarden-101	☐ 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 de herstart van de winning via een bestaande put en eventueel het boren van aftakkingen in twee 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	
	A1.4) E-mail	@vermilionenergy.com
	A1.5) Telefoon	+31 (0) 517
Mw 34 lid 2 en Mw 22	A1.6) Indiener	☐ is houder van de vergunning ☒ is uitvoerder cf. artikel 22 Mw
	A2) Winningsvergunningsgebied(en)	Leeuwarden
Mw 34 lid 1 Mb 24 lid 1a	A2.1) Voorkomen(s) koolwaterstoffen	Leeuwarden-101
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	18.2 (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	<i>Datum: 8-Dec-17 Plaats: Amsterdam</i>	
Naam: Functie: Commercial Manager		
p.p.		

1 Inleiding

Dit winningsplan betreft het voorkomen Leeuwarden-101. Vermilion heeft het voornemen de productie uit dit voorkomen in 2017 te herstarten, uit de bestaande put LEW-102-S2 (*sidetrack* 2), vanaf de bestaande mijnbouwlocatie Nijega-9/Leeuwarden-102. Mochten de resultaten daartoe aanleiding geven dan worden maximaal twee extra reeds bestaande putten op dit voorkomen aangesloten (NGA-04, LEW-101) of wordt een geheel nieuwe put geboord, om vervolgens gas mee te winnen vanaf de locatie 'Nijega-4/Leeuwarden-101'.

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 Leeuwarden-101.

De reden voor de indiening van het winningsplan voor het Leeuwarden-101 voorkomen is het plan de productie uit het voorkomen opnieuw op te starten uit een bestaande boring, te weten LEW-102-S2, door de put opnieuw te completeren in de doellaag.

Mochten de resultaten daarvoor aanleiding geven dan kan een aftakking geboord worden naar dezelfde doellaag in één of twee andere bestaande putten, te weten NGA-04 en LEW-101, of er kan een geheel nieuwe put geboord worden.

De aanvang van de winning vereist een actualisatie van productie- en bodemdalingsvoorspellingen, en een seismische risico analyse. Er is geen eerdere versie van dit winningsplan, omdat de winning uit dit voorkomen gestopt was vóór 2003.

Tabel 1-1 Geschiedenis Winningsplan Leeuwarden-101

Datum	Versie	Versie
Jul-17	1.0	Eerste winningsplan Leeuwarden-101
Oct-17	1.1	Commentaar verwerkt in gewijzigde versie
Dec-17	1.2	Commentaar verwerkt in gewijzigde versie

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 Leeuwarden-101 zal gas produceren vanaf de locatie 'Nijega-9/ Leeuwarden-102' en eventueel vanaf de locatie 'Nijega-4/ Leeuwarden-101' naar het Garijp gasbehandelingsstation (GTC). Paragrafen 2.2 en 2.3 geven aan waar de productielocatie, het voorkomen en de producerende/geplande putten zich bevinden.

De verwachte bodemdaling door toekomstige productie uit het voorkomen wordt beschreven in Hoofdstuk 6. Er wordt een toekomstige bodemdaling van maximaal 0.7 cm verwacht op het diepste punt van de bodemdalingsskom door de winning waarop dit winningsplan betrekking heeft. Historische winning uit het Leeuwarden-101 voorkomen vond plaats tot 1992, en heeft naar schatting 1 cm daling opgeleverd. De historische daling door historische winning uit dit voorkomen en andere voorkomens samen is in dit gebied op 6 cm gemeten; en de toekomstige gecombineerde daling in dit gebied wordt geschat op minder dan 2 cm.

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 Leeuwarden-101 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 behoeft de instemming van de Minister van Economische Zaken. 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 Economische Zaken 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 Leeuwarden-101 voorkomen. Dit voorkomen is aangetoond door de put NGA-04, en daarna door LEW-101, die beide in 1978 geboord zijn. Een tweede put (LEW-102) is geboord in 1986. In 2014 is een aftakking van deze put geboord (LEW-102-S2), waarvan destijds werd aangenomen dat hij geen gas aantoonde. Een nieuwe aangescherpte analyse laat zien dat dat niet zo is, en dat er wel degelijk gas in het deelvoorkomen in de 'Ten Boer' deelformatie is aangeboord.

2.2 Overzicht ligging voorkomens en putten

Het Leeuwarden-101 gasvoorkomen ligt in de provincie Friesland, 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

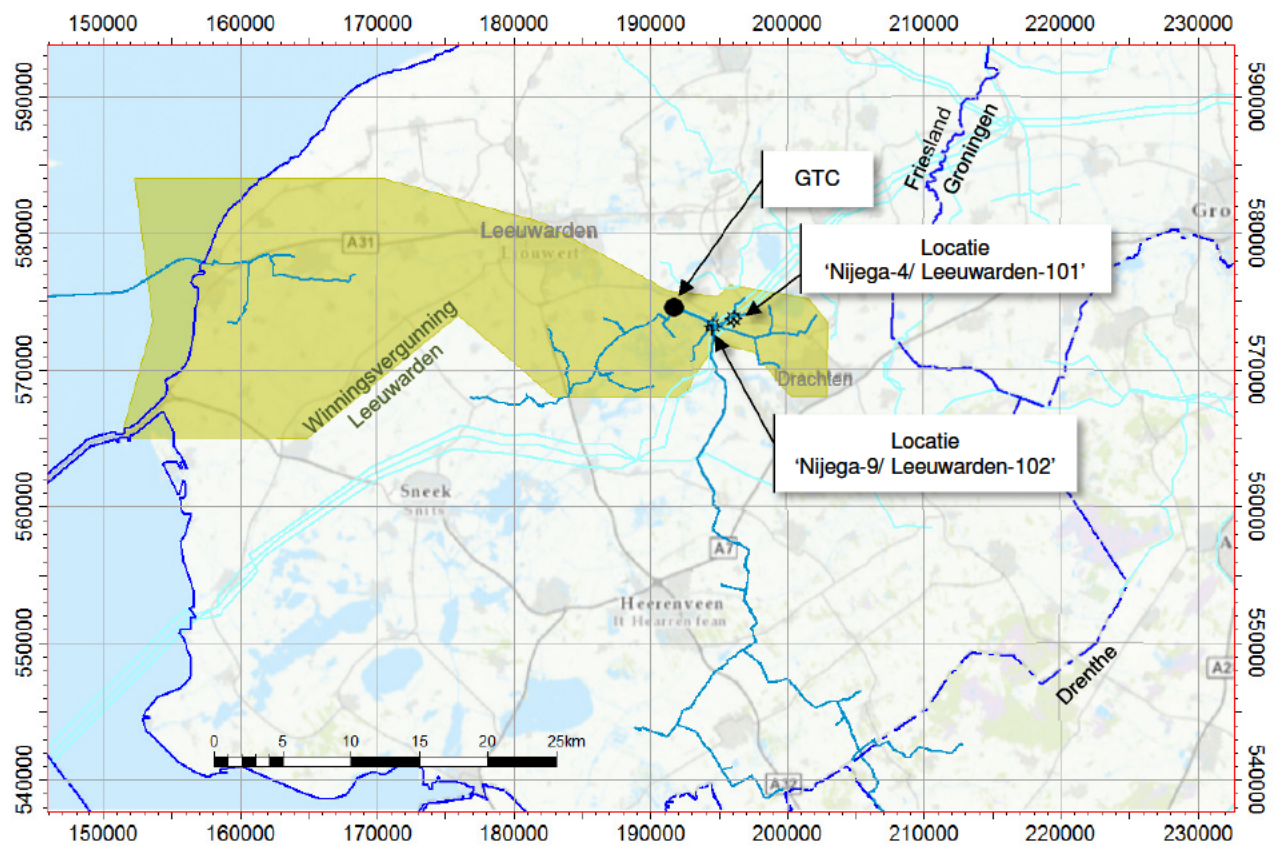
Mijnbouwlocatie	'Nijega-9/ Leeuwarden-102'	'Nijega-4/ Leeuwarden-101'
Gemeente	Tytsjerksteradiel (Bergum)	Smallingerland (Drachten, Oudega)
Sectie	sectie H	sectie F
Nummer	2097 (ged)	49
Plaatselijk bekend als	Nonne Paed – Garijp	Polderdijk – De Tike

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

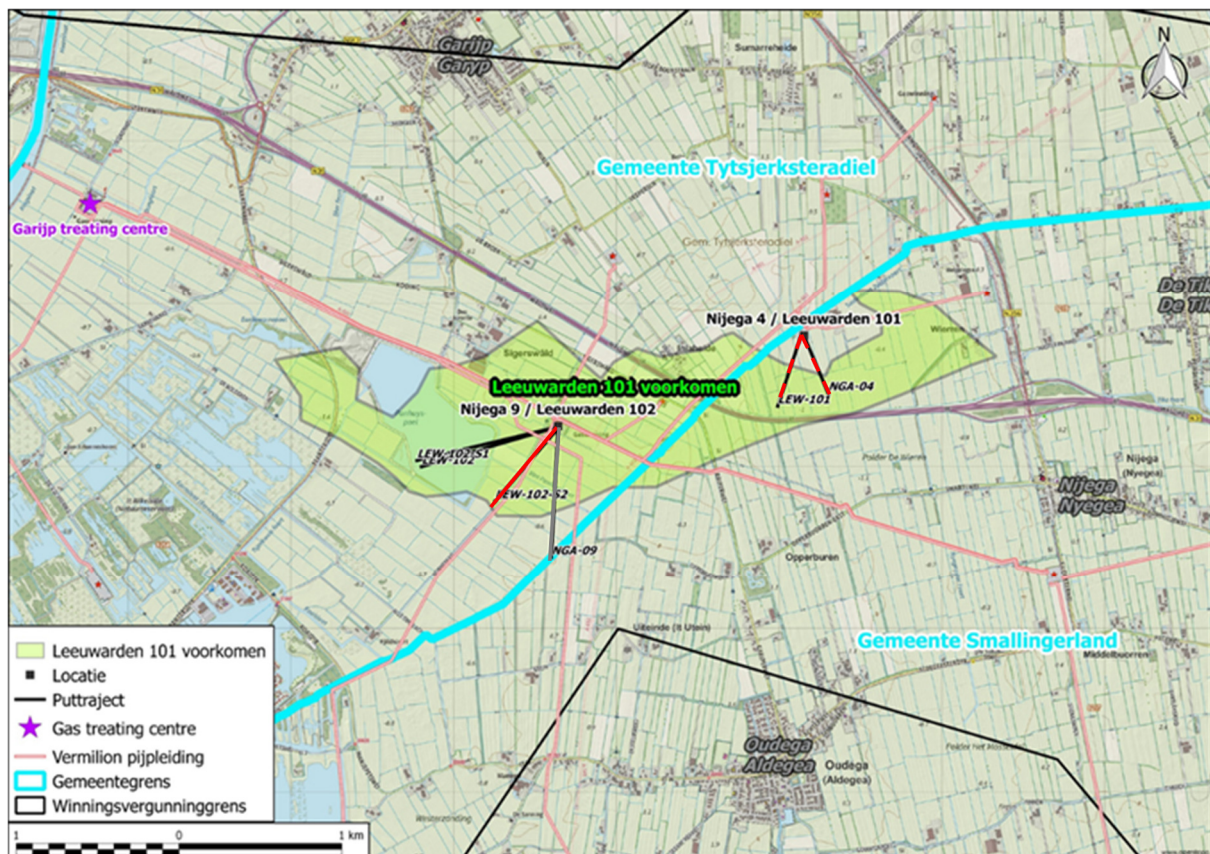
Voorkomen	Provincie	Waterschap	Gemeente
Leeuwarden-101	Friesland	Wetterskip Fryslân	Tytsjerksteradiel
			Smallingerland

In de bijlage, hoofdstuk 11, zijn de plattegronden van de locaties 'Nijega-9/Leeuwarden-102' en 'Nijega-4/Leeuwarden-101' opgenomen.

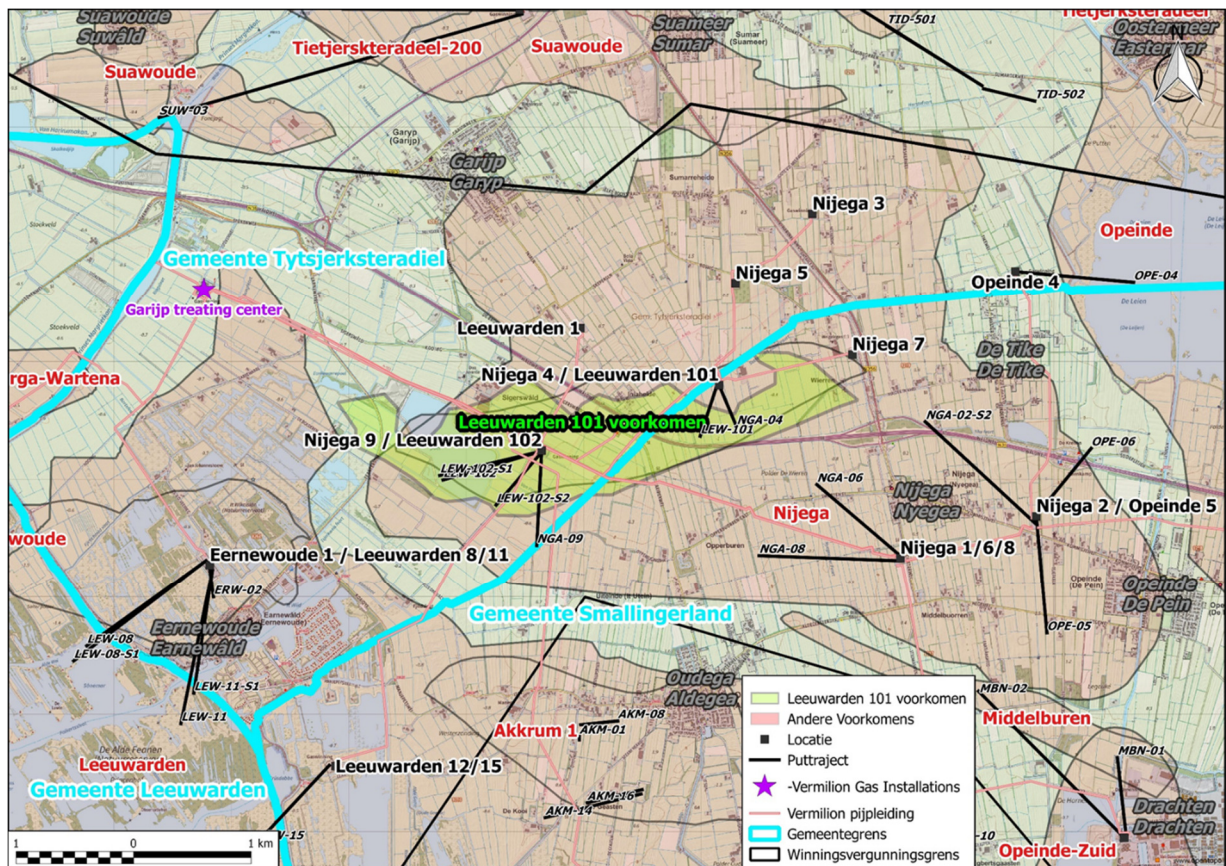
Op dit moment wordt ervan uit gegaan dat met de put LEW-102-S2 het gehele voorkomen geproduceerd kan worden. Echter, door nieuwe gegevens verkregen tijdens de productie zou deze interpretatie kunnen veranderen. In dat geval zou het boren van een aftakking van de putten LEW-101 en/of NGA-04 of het boren van een nieuwe put noodzakelijk kunnen zijn.



Figuur 2-1: Topografische kaart van provincie Friesland, inclusief locaties 'Nijega-4/Leeuwarden-101', 'Nijega-9/Leeuwarden-102' en gasbehandelingsstation GTC en de grenzen van de winningsvergunning Leeuwarden (groen).



Figuur 2-2 Topografische kaart Leeuwarden-101 voorkomen, met relevante putten in rood (doorgetrokken: LEW-102-S2; gestippeld: LEW-101 en NGA-04, die mogelijk later geconverteerd worden voor productie uit dit voorkomen); locaties 'Nijega-4/Leeuwarden-101' en 'Nijega-9/Leeuwarden-102'; gasbehandelingsstation GTC. [Pijpleidingen in roze; gemeentes lichtblauw; kernen grijs; vergunningsgrenzen in zwart.]



Figuur 2-3: Topografische kaart Leeuwarden-101 voorkomen met om- en bovenliggende voorkomens, locaties, putten en pijpleidingen. Recht boven het Leeuwarden-101 voorkomen (Rotliegend), ligt het Nijega voorkomen (Vlieland formatie). [De namen van voorkomens in rood; putten in zwart; gemeentes in blauw; kernen in grijs; vergunningsgrenzen in zwart.] De putten NGA-09, LEW-101 en NGA-04 produceren uit het Nijega voorkomen; de aftakkingen LEW-102 en LEW-102-S1 zijn afgesloten.

2.3 Schematische weergave gas-behandeling en afvoer

Op de locaties 'Nijega-9/ Leeuwarden-102' en 'Nijega-4/Leeuwarden-101' 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 beide 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 aardgaswinningslocaties 'Nijega-9/Leeuwarden-102' en 'Nijega-4/Leeuwarden-101' worden op afstand gemonitord vanuit een permanent bemande controlekamer te GTC, met de controlekamer in Harlingen (HTC) als backup. 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.

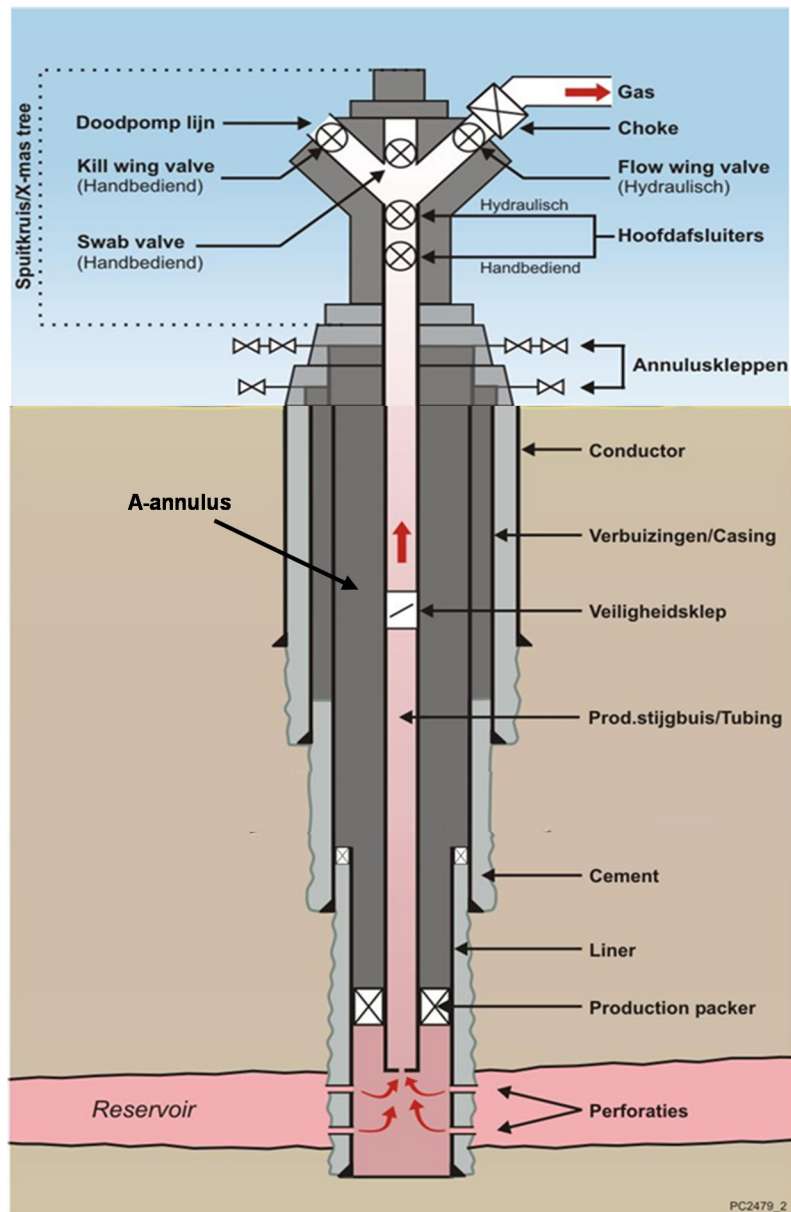
De put is voorzien van beveiligingskleppen. Die kunnen met behulp van hydraulische druk worden geopend, opengehouden en dicht gezet. In de put zijn de volgende beveiligingskleppen aanwezig:

- 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 Leeuwarden-101 voorkomen. De geologische formaties (Ten Boer in dit geval), worden later in dit document nader besproken (Paragraaf 4.2).

Vanaf de 'Nijega-9/ Leeuwarden-102' locatie is ook de put Nijega-09 (NGA-09, of NY-9) geboord naar een ander doel (Tabel 3-2). Deze put produceert uit het voorkomen Nijega (ref. 20). De putten Leeuwarden-101 (eerdere productie uit dit voorkomen) en Nijega-04 (ontdekkingsput) zijn vanaf een andere oppervlakte-locatie geboord (Tabel 2-1) en produceren momenteel ook uit het voorkomen Nijega (ref. 20). Deze twee putten worden, afhankelijk van de resultaten in LEW-102-S2, mogelijk omgebouwd om ook uit de 'Ten Boer' gas te winning. Die ombouw behelst een hercompletering of het boren van een nieuwe aftakking.

Tabel 3-1: Status putten in Leeuwarden-101 voorkomen. 'Gedevieerd' betekent dat het boortraject niet recht naar beneden is maar gebogen. De cumulatieve productie die vermeld is, betreft alleen het Leeuwarden-101 voorkomen. De put Nijega-9 produceert uit het Nijega voorkomen.

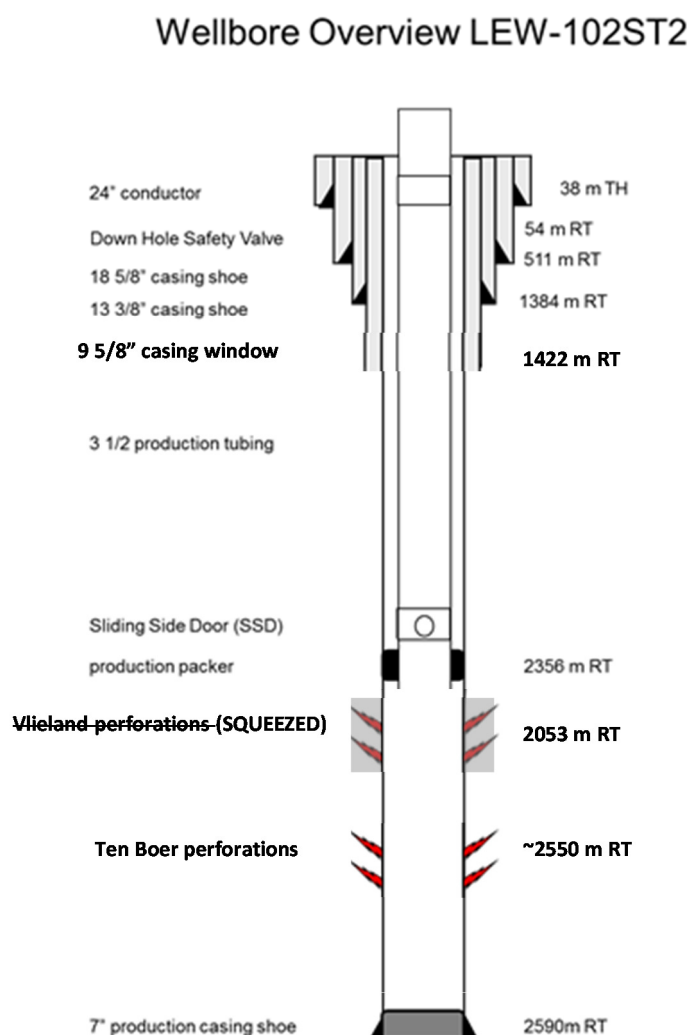
Locatie	Put	Jaar boring	Vorm	Formatie	Cumulatieve gas-productie per 1-Jul-2017 [x10 ⁶ nm ³]	Status (1-Jul-2017)
'Nijega-9/ Leeuwarden-102'	LEW-102-S2	2014 (aftakking van put uit 1986)	Gedevieerd	Ten Boer	0 (96 uit andere aftakking)	Ingesloten
'Nijega-4/ Leeuwarden-101	LEW-101	1978	Gedevieerd	Slochteren	193	Nu producerend <u>uit Nijega voorkomen</u>
'Nijega-4/ Leeuwarden-101	NGA-04	1978	Gedevieerd	Slochteren	0	Nu producerend <u>uit Nijega voorkomen</u>

Tabel 3-2 Overzicht putten op de twee relevante locaties. In het rode kader de productie waarop dit winningsplan betrekking heeft. De put Nijega-9 produceert uit het Nijega voorkomen. Dat geldt ook voor Nijega-4 en Leeuwarden-101, maar mogelijk worden de laatste twee omgebouwd voor productie uit de Ten Boer.

Locatie-->		"Nijega-9/Leeuwarden-102"		"Nijega-4/Leeuwarden-101"	
Put-->		LEW-102-S2	NGA-09	LEW-101	NGA-04
Winningsplan	Voorkomen				
Winningsplan Leeuwarden- Nijega	Nijega voorkomen	Vlieland	nu producerend	nu producerend	nu producerend
(dit winnings- plan)	Leeuwarden- 101 voorkomen	Rotliegend	Ten Boer	productie gepland	mogelijk toekomstig
			Slochteren	verleden (aftakking LEW-102-S1)	verleden

3.3 Schematische voorstelling putverbuizing(en)

In de onderstaande figuur is schematisch de verbuizing van de geplande LEW-102-S2 put weergegeven. Nadat bij de boring van LEW-102-S2 in 2014 bleek dat de Slochteren watervoerend was, is de put niet op die formatie gecompleteerd. Er is destijds wel een perforatie gemaakt naar de Vlieland zandsteen, maar die bleek op deze locatie niet productief (zie Tabel 5-1).



Figuur 3-2: Schematische weergave putverbuizing en -completing van de LEW-102-S2 put na het installeren van de geplande nieuwe completering in de Ten Boer formatie. De bestaande Slochteren perforaties worden niet gebruikt (afgesloten met een 'plug' omdat deze formatie watervoerend is bevonden). 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 put LEW-102-S2 zal opnieuw gecompleteerd worden door de bestaande Vlieland perforaties te cementeren (*squeeze*) om te voorkomen dat er stroming van de Ten Boer naar de Vlieland plaatsvindt (*crossflow*). Daarna zal door middel van nieuwe perforaties in de Ten Boer formatie, gas uit de Ten Boer formatie toestromen.

Eventuele aftakkingen van putten LEW-101 en NGA-04 of een geheel nieuwe put zullen een vergelijkbare completering in de doel formatie verkrijgen.

De completering van de putten bestaat uit perforaties door de 7" casing die de formatie in verbinding stelt 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 Leeuwarden-101 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.

In geval de gasproductie snelheid onvoldoende is, kunnen de perforaties ook behandeld worden met chemicaliën zoals in de eerste alinea beschreven is.

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 Leeuwarden-101 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 Leeuwarden-101 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 Leeuwarden-101 voorkomen heeft een lengte van 2-3 km en een breedte van ongeveer 500-1500 m. 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 4 putten geboord in het Leeuwarden-101 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 Leeuwarden-101 voorkomen zit het gas in de zogenaamde *Ten Boer* formatie, een mengsel van zand- en kleisteen die deel uitmaakt van de *Rotliegend*. Ook in de *Slochteren* formatie, een ander, dieper, deel van de *Rotliegend*, zat gas, dat inmiddels geproduceerd is. Het voorkomen wordt afgedekt, en afgesloten, door de *Zechstein* anhydriet. Beide formaties zijn afgezet in het Perm, dat is 250-300 miljoen jaar geleden.

Er zijn (hier) 5 *Ten Boer* lagen, zgn. cycles, genummerd van 1 (diepste) tot 5 (ondiepste). De ondiepste, cycle 5, wordt ook wel "Akkrum" of "Weissliegend" genoemd.

Het doel-reservoir van het Leeuwarden-101 voorkomen, is de Ten Boer formatie van de Rotliegend groep (Perm). De Ten Boer 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 duin afzettingen

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.

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 Leeuwarden-101 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 carbonaatcycli. De evaporieten, anhydriet om precies te zijn, vormen de afsluitende laag van het Leeuwarden-101 voorkomen. Die Zechstein 1 is een bewezen afsluitende laag ook in andere voorkomens.

Op basis van putmetingen wordt de diepte van het gas-watercontact (GWC) ingeschat op 2400-2410m onder NAP.

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 Leeuwarden Rotliegend veld helt in 3 richtingen en is begrensd door deze hellende breukvlakken. De verticale verplaatsing van deze breuken zijn 10 tot 50 meter waardoor formaties 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. Dat gas is daarna naar boven gestroomd en in de Slochteren en Ten Boer lagen van het Leeuwarden-101 voorkomen terechtgekomen.

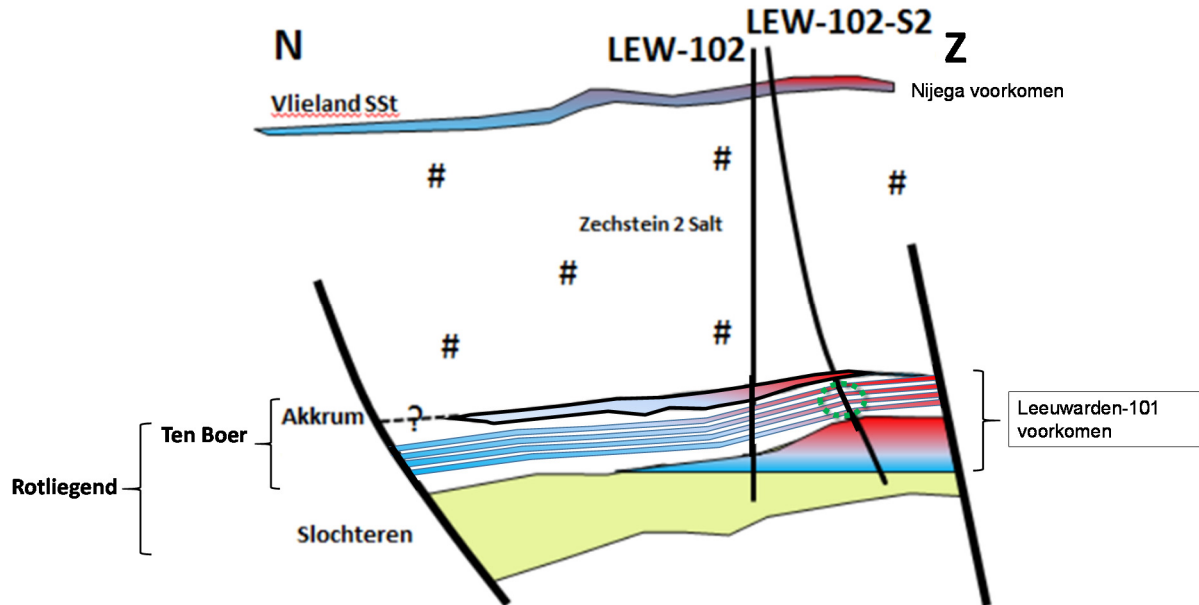
Zoals hierboven besproken, is de Rotliegend formatie (waarvan de Ten Boer deel uitmaakt) afgezet op een Carboon platform. De sedimenten zijn snel begraven onder de laat Perm Zechstein transgressie en het gebied is gaan zakken en is blijven zakken tot aan het Krijt en het Tertiair. Door het snelle begraven, 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 Leeuwarden-101 voorkomen te vullen. Dat proces is waarschijnlijk nog steeds aan de gang.

4.2.4 **Geologische doorsnede van voorkomen**

In de figuur hieronder is een schematische doorsnede van het Leeuwarden-101 voorkomen weergegeven. De Rotliegend bevat het gas van het voorkomen en is hier vertegenwoordigd door de formaties Ten Boer, Slochteren, en Akkrum. De winning die in dit plan besproken wordt is uit de Ten Boer formatie. De Zechstein laag vormt de afsluitende laag boven de Rotliegend.

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

Een geologische kaart is gegeven in de bijlage, Hoofdstuk 14.



Figuur 4-1: Doorsnede van het voorkomen (ruwweg Noord→Zuid) met projecties van de voormalige put LEW-102 en de huidige aftakking LEW-102-S2. De groene cirkel geeft het doel in de Ten Boer formatie aan, van waaruit de toekomstige productie gepland is. De Slochteren in LEW-102-S2 is hier watervoerend, in ieder geval was dat zo toen de aftakking geboord is. De Vlieland zandsteen die boven aangegeven is maakt hier deel uit van het Nijega voorkomen (ref. 20).

4.3 Gesteente-eigenschappen van de bovenliggende lagen

Boven de Zechstein formatie, die hierboven besproken is, bevindt zich nog ongeveer 1800 m gesteente. Dat bestaat uit de volgende formaties, van boven naar beneden:

- Tertiair
 - Boven-Noordzee

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

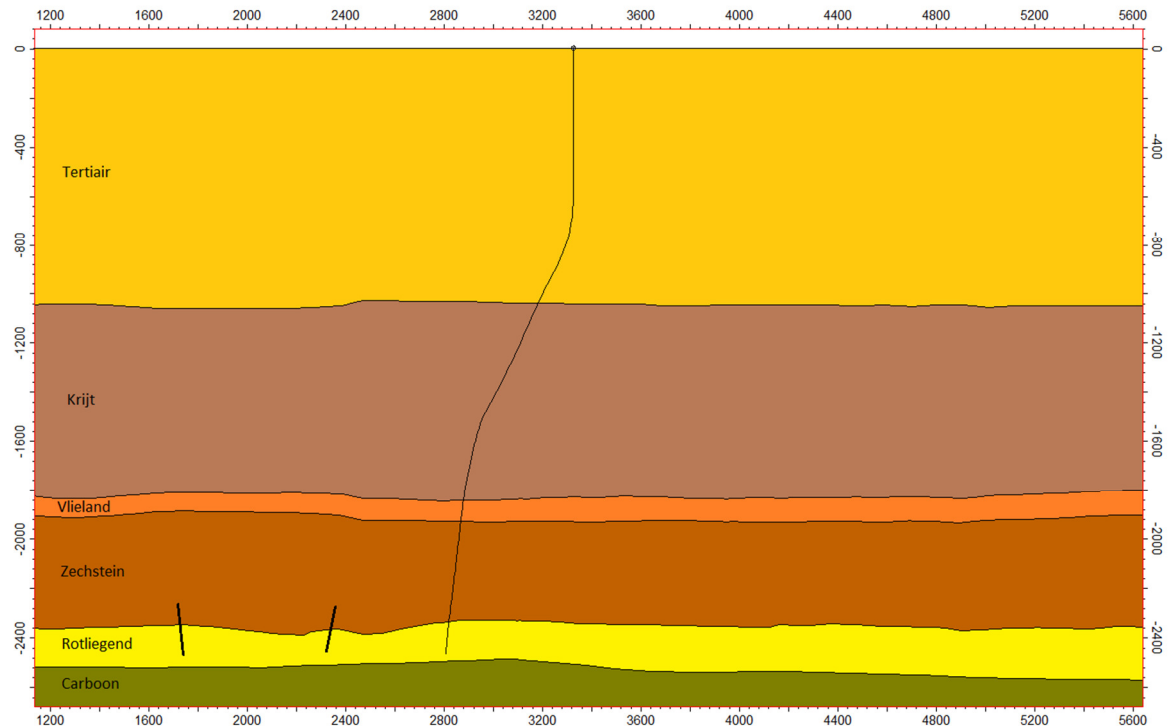
Deze formatie bestaat uit impermeabele kleilagen afgewisseld met zandlagen.
- Krijt
 - Ommelanden
 - Texel

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 (Nijega voorkomen)

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



Figuur 4-2 Schematische weergave van de lagen boven het Leeuwarden-101 voorkomen (ruwweg west→oost). De figuur is op schaal, i.e. niet verticaal uitvergroot. De Rotliegend, waarvan de Ten Boer het bovenste deel is en de Slochteren formatie het onderste deel, is de dunne gele strook tussen Carboon en Zechstein.

4.4 Andere gebruiksmogelijkheden van de ondergrond

Er is momenteel geen geothermie project in de directe omgeving van het Leeuwarden-101 gasvoorkomen. Gezien de dikte en doorlatendheid van de Ten Boer-laag in deze omgeving, is de geschiktheid van de formatie voor geothermische projecten gering. De winning heeft naar verwachting geen effect op de Slochteren laag.

Grondwaterwinning vindt plaats op ongeveer 3km van de Leeuwarden-101 locatie af, op 30-70m diepte. Er is geen interactie.

Gasopslag en zoutwinning zijn niet voorzien.

5 Ontwikkelingsvooruitzichten

5.1 Inleiding

Het Leeuwarden-101 voorkomen ligt in het oostelijke deel van de Leeuwarden winningsvergunning. Het voorkomen is in 1978 aangetoond met de put NGA-04. Productie vond plaats met de put LEW-101, en later LEW-102-S1 (Tabel 5-1).

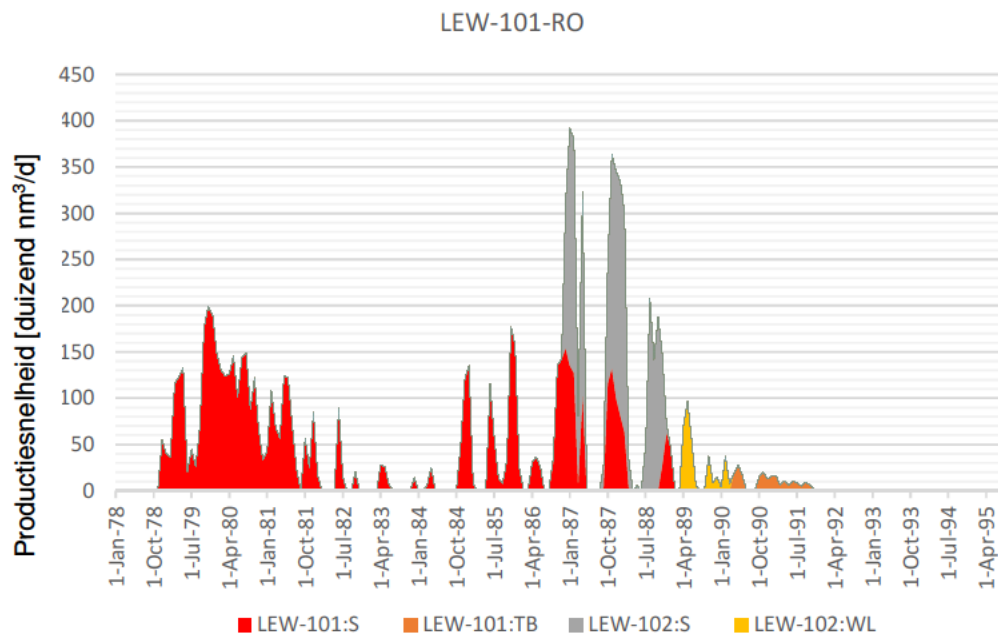
5.2 Historische productie en productie-gedrag

Gasproductie uit het Leeuwarden-101 voorkomen vindt plaats sinds 1978 met put LEW-01 (Tabel 5-1). Vóór 1 juli 2017 is iets meer dan 288 miljoen nm³ gas geproduceerd. De productie ligt sinds 1991 stil.

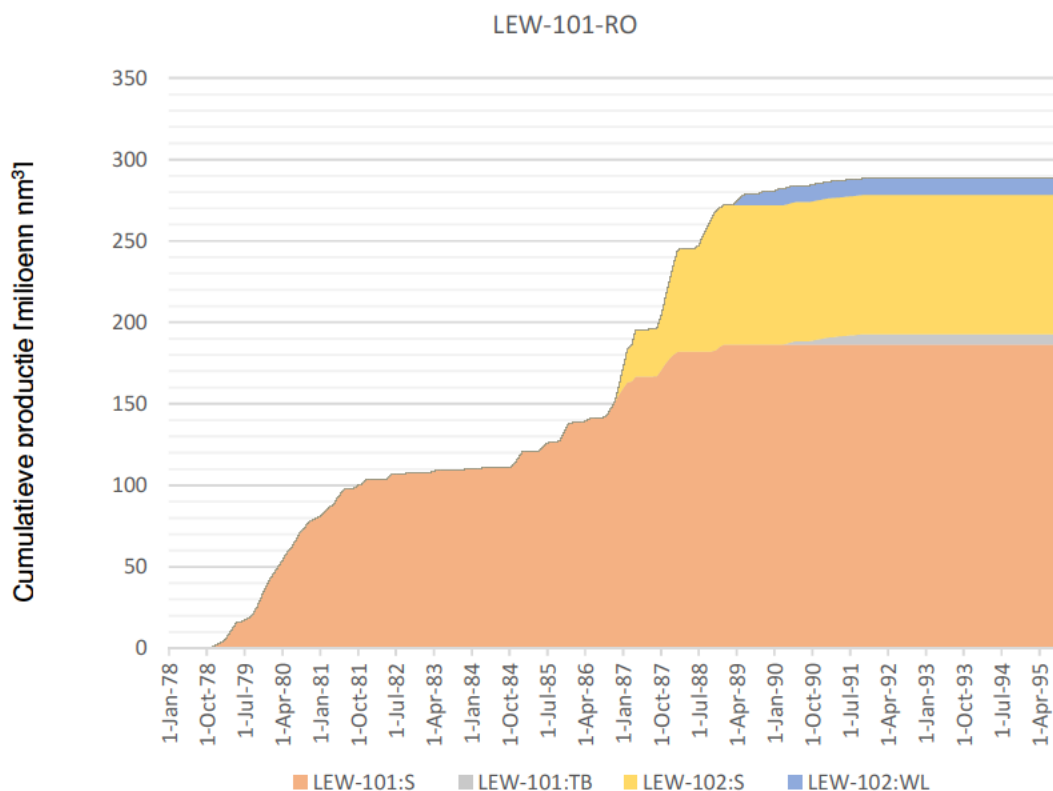
Tabel 5-1 Belangrijkste gebeurtenissen in de geschiedenis van het Leeuwarden-101 voorkomen

Datum	Gebeurtenis
9-Apr-78	Boring NGA-04: Ontdekking LEW-101-RO voorkomen (NGA-04 gecompleteerd als Vlieland productieput in LEW/NGA-voorkomen)
11-Oct-78	Boring LEW-101
2-Sep-86	Boring aftakking LEW-102-S1
15-Jan-89	LEW-102-S1 watert uit op Slochteren formatie
1-Feb-89	LEW-101 watert uit in Slochteren
15-Mar-89	Hercompletering LEW-102-S1 in bovenste deel Slochteren, "Weissliegend" (Ten Boer, Cycle 5)
15-Feb-90	LEW-101 hercompletering op Ten Boer formatie (Cycle 3)
15-Dec-90	LEW-102-S1 watert uit op "Weissliegend"
1-Apr-91	LEW-101 watert uit op Ten Boer
21-May-92	LEW-101 hercompletering in Vlieland formatie, omzetting naar productieput in Leeuwarden-Nijega voorkomen
22-Jun-99	LEW-102-S1 omgezet naar water injectie (in de Ten Boer, Cycle 5)
1-Jun-11	Einde water injectie in LEW-102-S1, abandonnering van alle Rotliegend completies.
21-Feb-14	Boring aftakking LEW-102-S2. Slochteren doelformatie watervoerend bevonden, Vlieland formatie niet productief.
2018 (gepland)	Hercompletering LEW-102-S2 op Ten Boer formatie.

Figuur 5-1 laat de productie-snelheid van het Leeuwarden-101 voorkomen zien. Figuur 5-2 laat de cumulatieve productie zien.



Figuur 5-1: Productie-snelheid historie Leeuwarden-101 gasvoorkomen (SL: Slochteren; TB: Ten Boer; WL: "Weissliegend").



Figuur 5-2: Cumulatieve gasproductie historie Leeuwarden-101 gasvoorkomen (SL: Slochteren; TB: Ten Boer; WL: "Weissliegend").

5.3 Onzekerheden

Ondanks het feit dat er lang gas geproduceerd is uit het Leeuwarden-101 voorkomen, zijn er nog steeds onzekerheden:

1. De gasproductie-snelheid van de geplande nieuwe completering in de put LEW-102-S2 en van de eventuele aftakkingen van LEW-101 en NGA-04 of een nieuwe put.
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 LEW-102-S2 en eventuele toekomstige boringen of hercompletering (NGA-04, LEW-101), 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 Leeuwarden-101 voorkomen zal zodanig worden gewonnen dat de faciliteiten optimaal worden benut.

Met LEW-102-S2 kan waarschijnlijk het gehele voorkomen geproduceerd worden. Verdere ontwikkeling in de vorm van een aftakking (*side track*), nieuwe put of putbehandeling (bijv. hercompletering of aftakking van NGA-04 en/of LEW-101) zou nodig kunnen zijn afhankelijk van de prestaties van het reservoir.

De uiteindelijke winningsfactor (geproduceerd gas als percentage van het aanwezige gas) van het Leeuwarden-101 Ten Boer deelvoorkomen is geschat op 21% tot 53%, gebaseerd op de huidige dataset, en op ervaringen in analoge voorkomens, en op de verwachting dat een uiteindelijke druk aan het spuitkruis (FWHP) van 15 bar haalbaar is. De grootste onzekerheid wat betreft de winningsfactor in de Ten Boer formatie is de mate van waarin deze laag intern verbonden is.

Het Leeuwarden-101 voorkomen bevat ongeveer 244-896 miljoen nm³ gas in de Ten Boer formatie.

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.

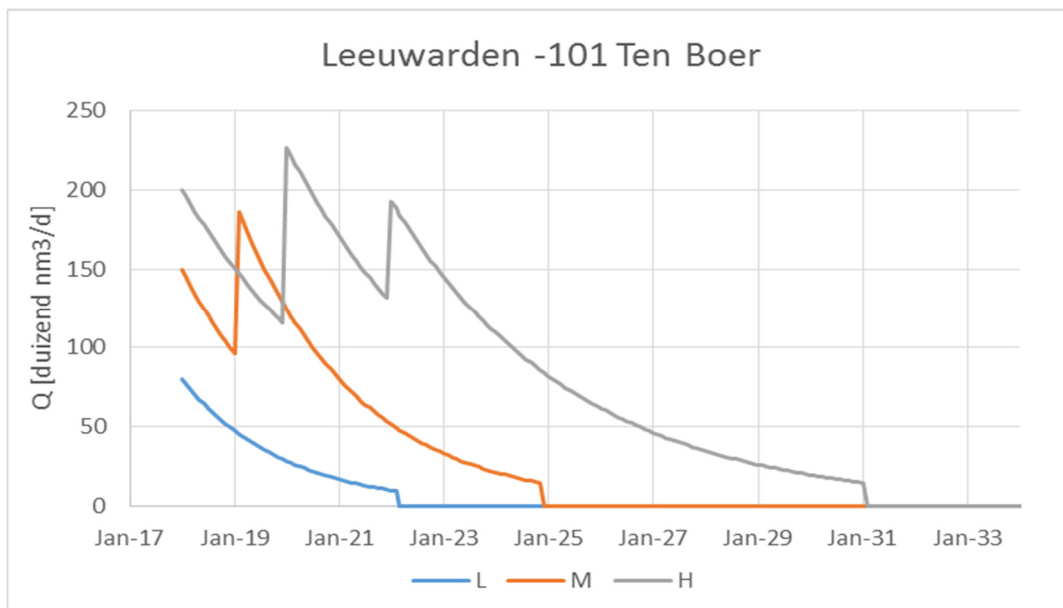
Indien het reservoir verder uitgeput raakt, zou eventueel compressie op de locatie 'Nijega-9/Leeuwarden-102' toegepast kunnen worden. Compressie maakt het mogelijk het gas uit een voorkomen dat zelf niet genoeg druk meer heeft, toch naar GTC te pompen.

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

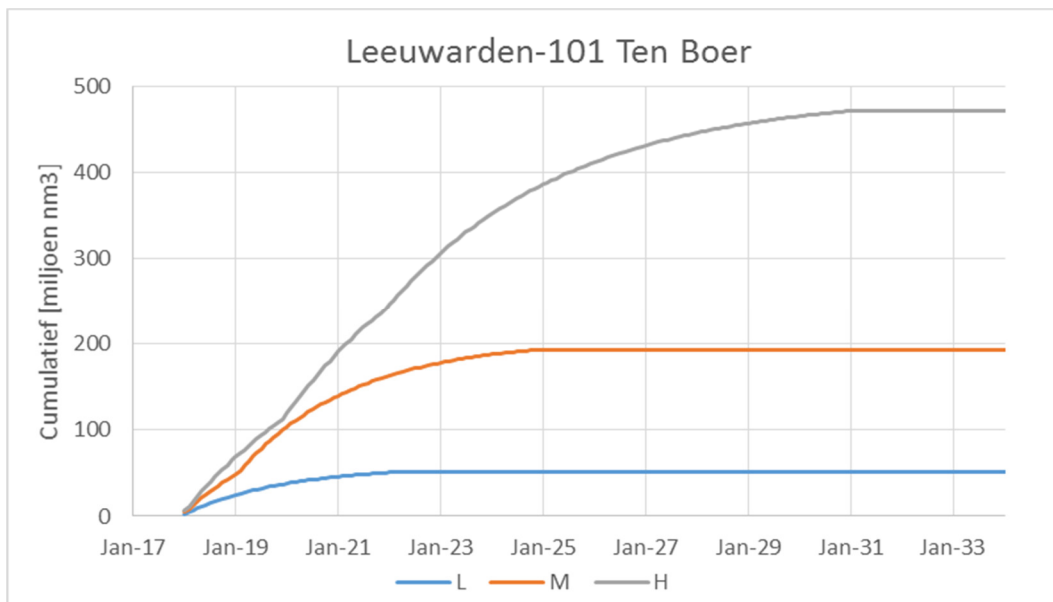
De te verwachten productieprofielen van de Ten Boer formatie van het Leeuwarden-101 voorkomen, uit de put LEW-102-S2 en eventuele vervolg putten, zoals hercompletering of aftakkingen van LEW-101 en NGA-04 of een geheel nieuwe put, zijn in deze paragraaf weergegeven. Er zijn drie productieprofielen gegeven (Laag, Midden, Hoog) per put 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, Tabel 5-3). Deze profielen zijn dus indicatief.

Opgemerkt dient te worden dat de gegeven getallen jaargemiddelden zijn. Op een dag-basis kunnen dus andere waarden voorkomen.

De productie op de 'Nijega-9/ Leeuwarden-102' en 'Nijega-4/ Leeuwarden-101' locaties zal binnen de grenzen blijven die door de relevante vergunningen gesteld zijn. Zo begrenst de Omgevingsvergunning de maximaal toegestane dagproductie (Hoofdstuk 8).



Figuur 5-3: Leeuwarden-101 Ten Boer deelvoorkomen productie-snelheid voorspellingen. Zie tekst voor een beschrijving van de redenen voor onzekerheid in productie-snelheid.



Figuur 5-4: Leeuwarden-101 Ten Boer deelvoorkomen 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 Leeuwarden-101 voorkomen nog 51-472 miljoen nm³ geproduceerd kan worden.

	Leeuwarden-101 voorkomen		
	L	M	H
2018	23.3	45.1	64.3
2019	13.9	55.1	48.4
2020	8.3	37.5	73.0
2021	4.9	24.1	54.8
2022	0.6	15.5	61.9
2023	0.0	10.0	46.6
2024	0.0	6.0	35.2
2025	0.0	0.0	26.4
2026	0.0	0.0	19.9
2027	0.0	0.0	14.9
2028	0.0	0.0	11.3
2029	0.0	0.0	8.5
2030	0.0	0.0	6.4
2031	0.0	0.0	0.5
2032	0.0	0.0	0.0
2033	0.0	0.0	0.0
Total	51	193	472

Tabel 5-3 Productiegetallen per put in miljoen nm³. De tweede en derde put (hier als LEW-101 en NGA-04 aangeduid) zijn afhankelijk op de resultaten van de eerste (LEW-102-S2).

	LEW-102-S2			LEW-101			NGA-04		
	L	M	H	L	M	H	L	M	H
2018	23.3	45.1	64.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2019	13.9	29.1	48.4	0.0	26.1	0.0	0.0	0.0	0.0
2020	8.3	18.7	36.5	0.0	18.7	36.5	0.0	0.0	0.0
2021	5.0	12.1	27.4	0.0	12.1	27.4	0.0	0.0	0.0
2022	0.6	7.8	20.6	0.0	7.8	20.6	0.0	0.0	20.6
2023	0.0	5.0	15.5	0.0	5.0	15.5	0.0	0.0	15.5
2024	0.0	3.0	11.7	0.0	3.0	11.7	0.0	0.0	11.7
2025	0.0	0.0	8.8	0.0	0.0	8.8	0.0	0.0	8.8
2026	0.0	0.0	6.6	0.0	0.0	6.6	0.0	0.0	6.6
2027	0.0	0.0	5.0	0.0	0.0	5.0	0.0	0.0	5.0
2028	0.0	0.0	3.8	0.0	0.0	3.8	0.0	0.0	3.8
2029	0.0	0.0	2.8	0.0	0.0	2.8	0.0	0.0	2.8
2030	0.0	0.0	2.1	0.0	0.0	2.1	0.0	0.0	2.1
2031	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.2
2032	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2033	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2033	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Total	51	121	254	0	73	141	0	0	77

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 in 2031 zal gebeuren.

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 'Nijega-9/Leeuwarden-102' 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.

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 afgefakkelde 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 5-4 geeft een gedetailleerde analyse van het Leeuwarden-101 gas.

Tabel 5-4: Gedetailleerde analyse van het Leeuwarden-101 gas, en analogen.

Component	Leeuwarden 101 and 102	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	1,660%	1,570%	1,620%	1,640%
N ₂	16,780%	18,550%	19,160%	19,840%
C ₁	77,550%	76,120%	75,320%	74,730%
C ₂	3,030%	2,830%	2,870%	2,810%
C ₃	0,98%	0,530%	0,590%	0,560%
i-C ₄	0,000%	0,080%	0,090%	0,090%
n-C ₄	0,000%	0,110%	0,130%	0,120%
i-C ₅	0,000%	0,030%	0,030%	0,030%
n-C ₅	0,000%	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 mee geproduceerde hoeveelheden. De gegeven waterproductie wordt mogelijk verwacht ten tijde van lage gasproductie tegen het einde van het leven van de put, vanwege de nabijheid van het gas-water-contact in met name LEW-102-S2.

Tabel 5-5: Maximum water- en condensaat productie-verwachtingen voor het Leeuwarden-101 voorkomen. Het is mogelijk dat op het eind van het veld-leven meer formatie0water meegeproduceerd wordt.

Max. mee-geproduceerde stoffen	
	Ten Boer
Water productie	150 m ³ /d
Aardgascondensaat	45 m ³ /miljoen nm ³

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

Op de locaties 'Nijega-9/Leeuwarden-102' en 'Nijega-4/Leeuwarden-101' 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 Leeuwarden-101 voorkomen onder de 0.7 cm zal uitkomen.

De bodemdaling t.g.v. winning in het verleden, uit dit en andere voorkomens (met name het Nijega voorkomen) samen is op dit moment 6 cm. De toekomstige, na-ijlende, bodemdaling van de historische productie zal minder dan 1 cm zijn, zo wordt verwacht, omdat het overgrote deel van deze productie ver in het verleden ligt (Ref. 15, 18).

De totale toekomstige daling is dus minder dan 2 cm.

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 Ten Boer laag (en de Slochteren), 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.

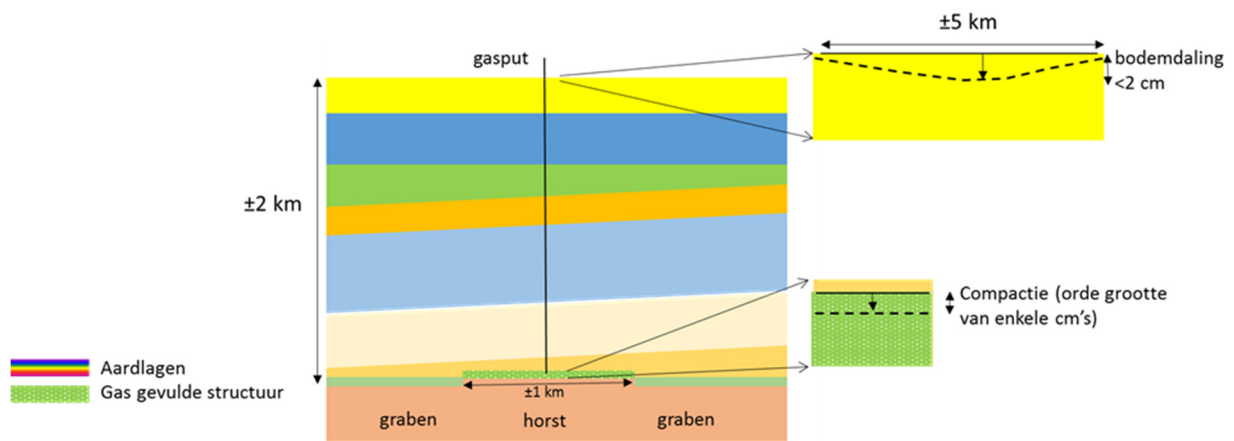
Bij gaswinning laat men het gas ontsnappen door een put die in het hoogste punt van het reservoir geplaatst wordt. Als gevolg van het ontsnappen van het gas zal de druk in het reservoir dalen. De winning stopt als de druk zo laag is dat er onvoldoende gas door de put naar boven stroomt, of als de drukdaling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

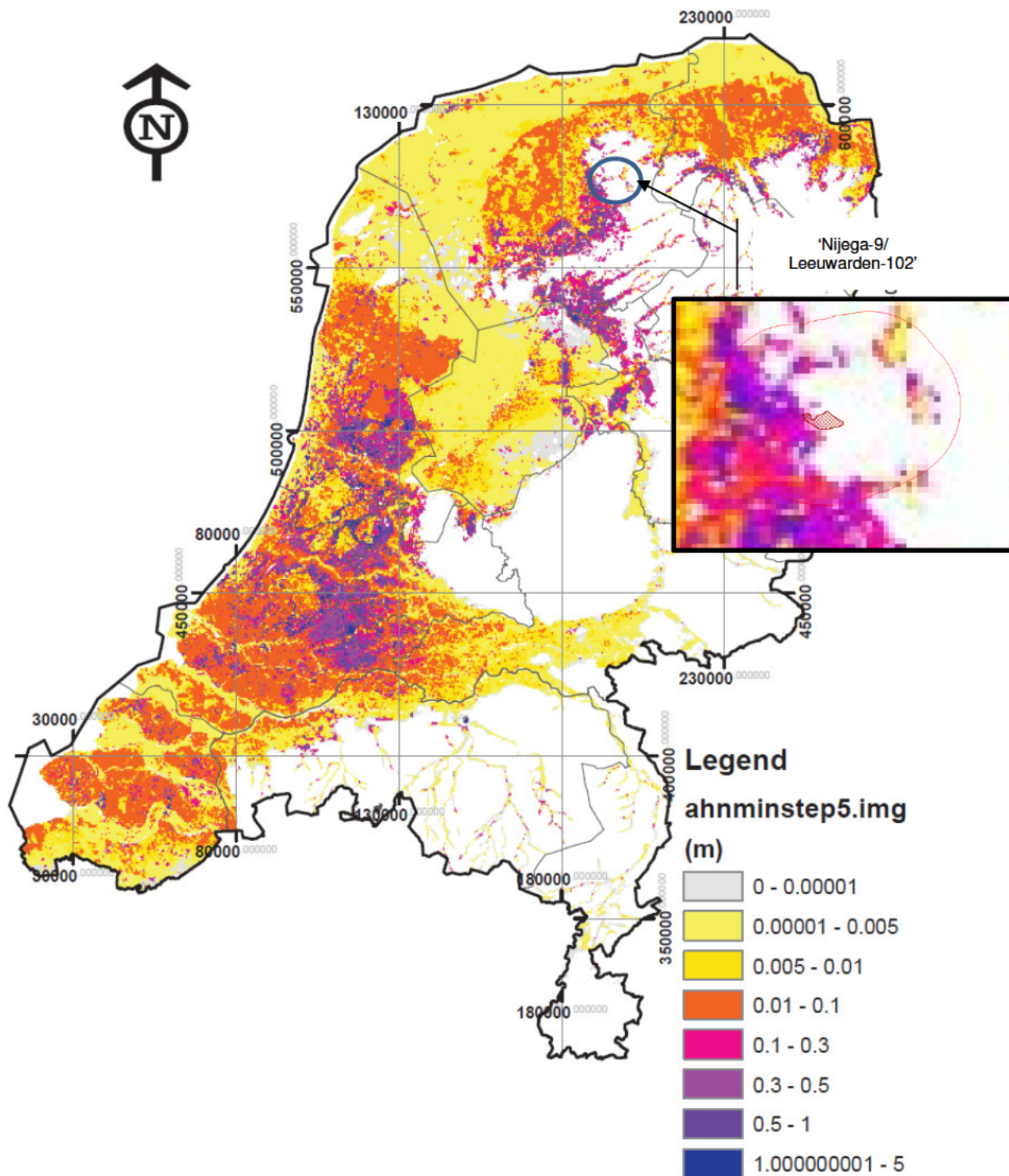
Als het reservoir compacteert op ± 2 km diepte, zullen ook de lagen erboven een beetje inzakken. Bij dat dalingsproces verdeelt het volume van de compactie zich, zodat aan de oppervlakte een bodemdalingskom ontstaat. De dalingskom heeft de vorm van een heel platte schotel. Aan de randen gaat de daling 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 Leeuwarden-101 voorkomen komen waarden van rond de 30 cm over een periode van 50 jaar voor (Figuur 6-2).



Figuur 6-2: Maaiveldaling 50 jaar na 2011 (Deltares, ref. 1), schaal in m. De locatie van Leeuwarden-101 is aangegeven, de inzet geeft een uitvergroting. De rode cirkel geeft een straal van 5 km rond het voorkomen. Rond (ten westen van) het voorkomen komen waarden van ca. 30 cm voor over een periode van 50 jaar.

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 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.

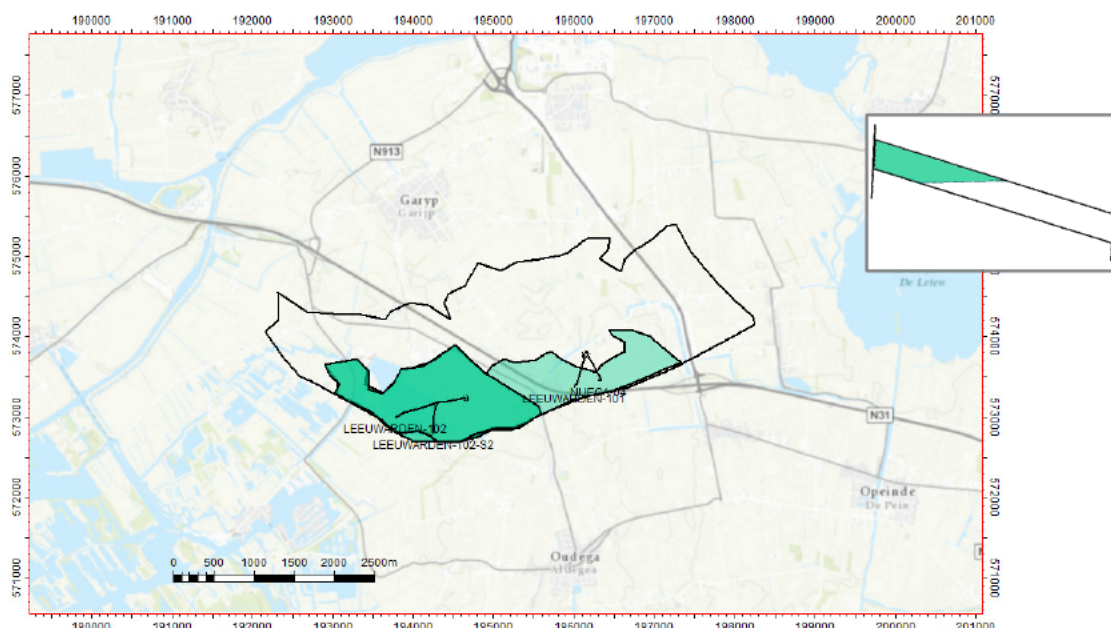
Omdat het diepte-verloop van de lagen alleen indirect gemeten kan worden, en de eigenschappen van de gesteentelagen maar op enkele punten bekend zijn (uit eerdere boringen), zijn er onzekerheden in de voorspellingen voor de grootte van een gasvoorkomen. In veel gevallen zal het voorafgaand aan de boring 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 niet binnen de in het winningsplan aangegeven grenzen verlopen, dan wordt in overleg met SodM besproken worden hoe daarmee om te gaan. De consequentie zal afhangen van de grootte en de aard van de afwijking. Als nieuwe bodemalingsprognoses de in het winningsplan genoemde verwachte bodemdaling zouden overschrijden, zal een nieuw winningsplan worden opgesteld, en ter goedkeuring aan de minister van Economische Zaken worden voorgelegd.

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. 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 gas winning in de Slochteren formatie van het Leeuwarden-101 voorkomen is uiteindelijk door water-instroming beëindigd. Dit gedrag wordt niet zonder meer verwacht in de Ten Boer formatie omdat deze formatie dunner is en een kleinere fractie permeabel gesteente bevat 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: Meenemen van de onzekerheid in de grootte van het depleterende gebied in de bodemdaling berekening. De inzet rechtsboven schetst de methode (groen is gas, wit het mogelijk meedepleterende water eronder), de kaart geeft de uitwerking voor Leeuwarden-101 (donkergroen is het LEW-102-S2 breukblok links, lichtgroen het LEW-101 breukblok rechts, wit is het volledige breukblok, mogelijk watervoerend). Zie bijlage, paragraaf 15.2.

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 bodemdalingberekeningen vormen een combinatie van al deze effecten en onzekerheden. Meer specifiek, is voor een groot aantal parametercombinaties de bodemdaling uit gerekend. 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 bodemdalingmeting gedaan (zie bijlage, hoofdstuk 16). Het invloedsgebied van Leeuwarden-101 is helemaal afgedekt door het Leeuwarden-Oost meetplan. In dit gebied is er een sterke overlap van de verschillende bodemdalingssommen. Dit maakt het onmogelijk om uit de bodemdalingmetingen rechtstreeks (i.e. zonder modelberekeningen) de individuele bijdragen te isoleren. Op basis van de modellering en de metingen wordt een totale gezamenlijke daling van tot 6-9 cm tot nu geschat in deze regio (Ref. 15, 18), met een maximale toekomstige daling van 1 cm. Op deze specifieke locatie zijn die getallen 6 cm en 1 cm (Figuur 15-1; Figuur 6-7).

6.3 Bodemdalingsvooruitzichten en -onzekerheid

De historische en toekomstige maximale bodemdaling in het midden van de dalingskom van Leeuwarden-101 bij locatie 'Nijega-9/ Leeuwarden-102' zijn samengevat in de tabel hieronder.

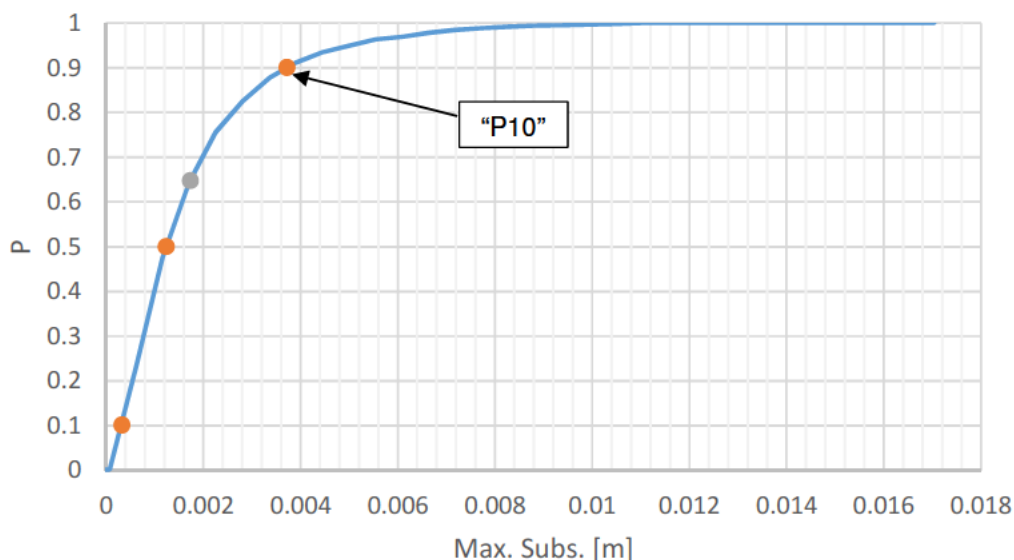
Tabel 6.3.1 Historische en Toekomstige Bodemdaling bij locatie 'Nijega-9/ Leeuwarden-102'

Bodemdaling in cm	Historisch	Toekomstig (P10)	Totaal
Leeuwarden-101	1	0.7	< 2
Overige voorkomens	5	< 1	< 6
Totaal	6	< 2	< 8

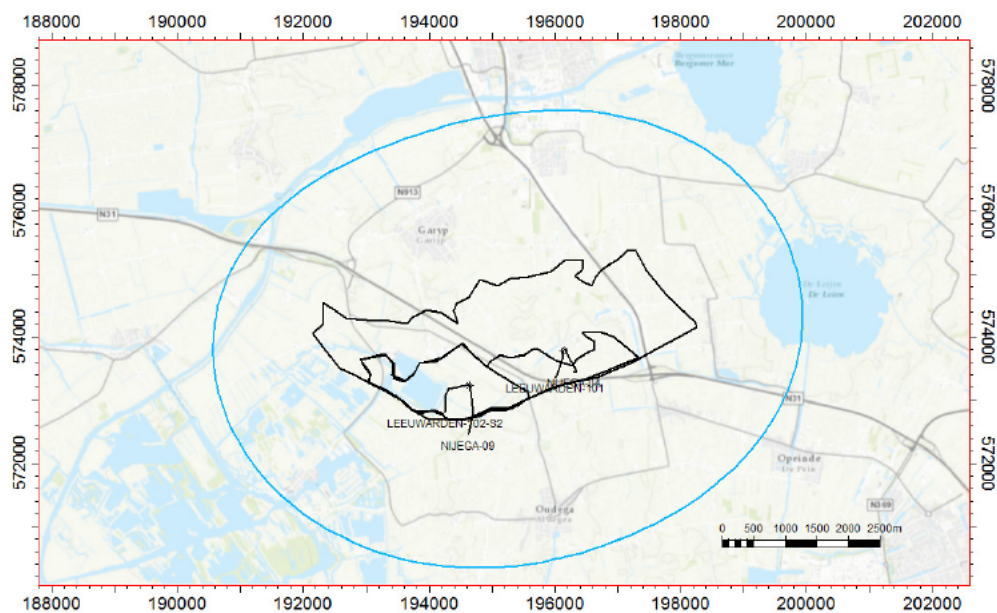
Met de onzekerheidsmarge wordt als volgt omgegaan: om een conservatieve (ongunstige) schatting te geven, is het gebruikelijk de zogenaamde *P10* waarde te gebruiken. Dat is de waarde die met een 90% zekerheid niet overschreden wordt.

De *P10* waarde voor de toekomstige bodemdaling ten gevolge van verdere winning uit het Leeuwarden-101 voorkomen is 4 mm op het diepste punt. Zoals besproken, heeft de winning uit alle voorkomens in Leeuwarden-Oost ter plaatse 'Nijega-9/ Leeuwarden-102' tot nu toe 6 cm daling veroorzaakt. De daling door verdere winning in Leeuwarden-101 is dus klein t.o.v. de bestaande dalingskom.

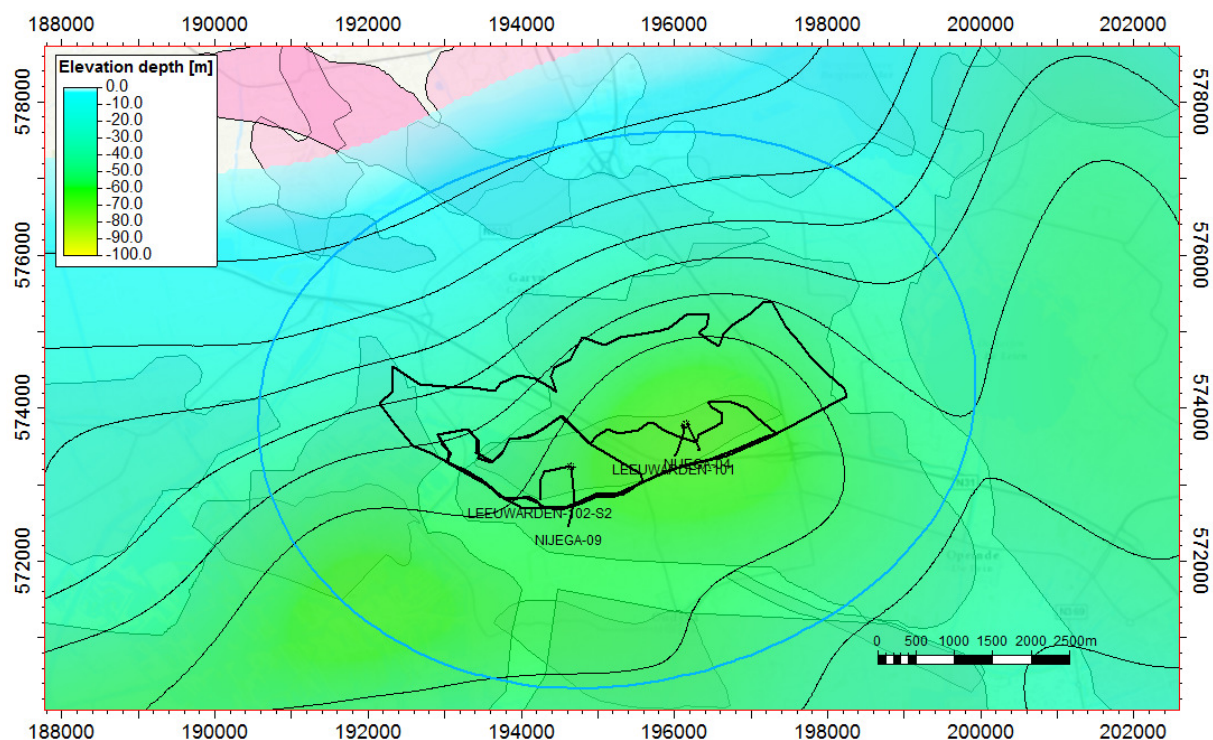
Gezien de kleine daling, en de overlappen tussen de kommen (en vanwege de ruis en meetonzekerheden in dit meetplan, (zie Hoofdstuk 15), is het niet te verwachten dat de daling ten gevolge van de winning uit Leeuwarden-101 Ten Boer op zichzelf waarneembaar is.



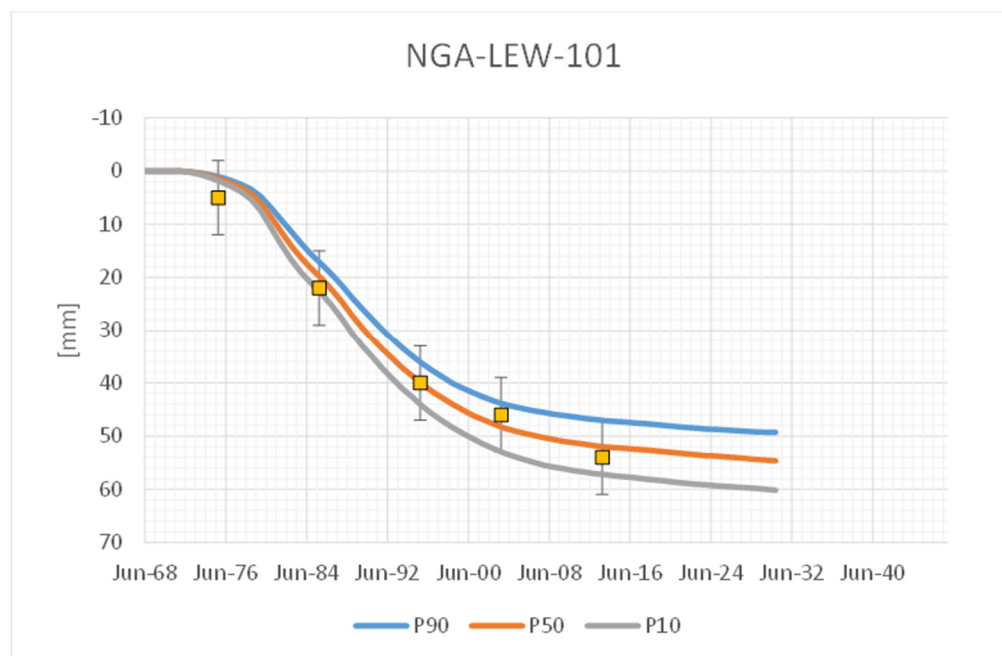
Figuur 6-4 Cumulatieve kansverdeling voor de uiteindelijke Leeuwarden-101 Ten Boer bodemdaling. De daling blijft met 90% zekerheid onder de 4 mm. Die waarde wordt ook "P10" genoemd.



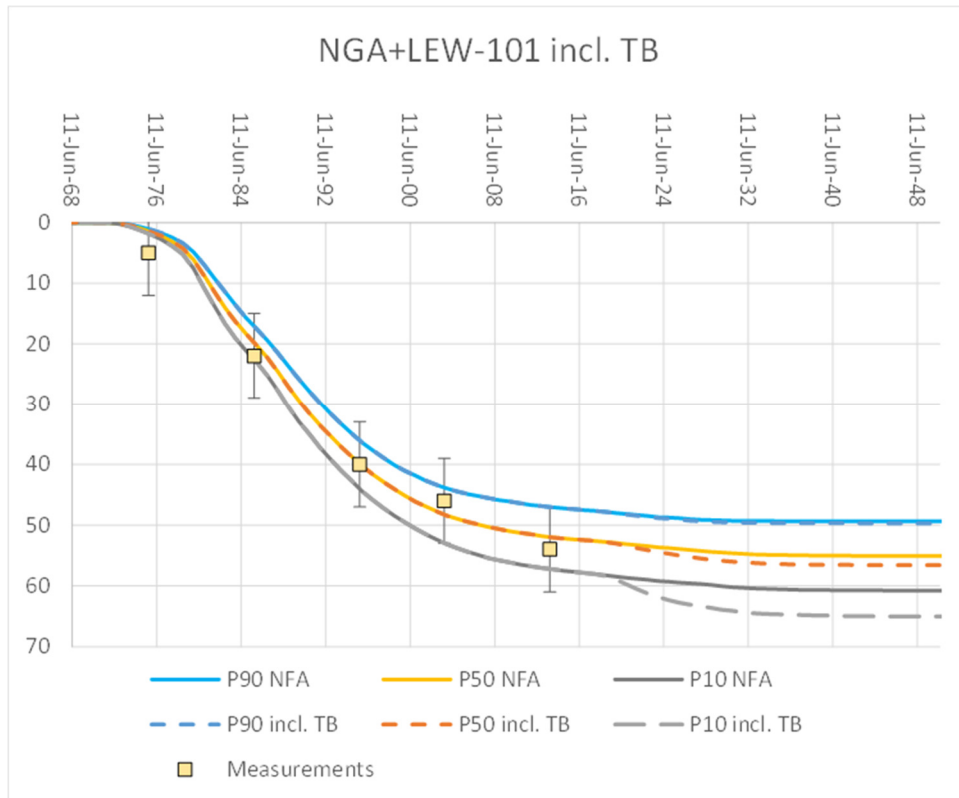
Figuur 6-5 Invloedsgebied t.g.v. Leeuwarden-101 Ten Boer winning (stippellijn). De gekleurde polygonen geven de onzekerheid over het depletiegebied weer. Omdat de daling zo klein is (4 mm) zijn geen dalingscontouren weergegeven.



Figuur 6-6 Overlap van de samengestelde Leeuwarden-Oost dalingskom met het invloedsgebied voor Leeuwarden-101 Ten Boer. Schaal in mm, contouren 5, 15, 25, ... mm. De kaart is een modelberekening, gekalibreerd aan de metingen (Bron: Ref. 18). De geschetste situatie is die aan het eind van de winning. De grootste berekende daling in het afgebeelde gebied is 6.4 cm. In de Leeuwarden-Oost kom is de daling t.g.v. historische Leeuwarden-101 winning al opgenomen. In deze kaart is daling door de NAM voorkomens ten noorden niet meegenomen (zie bijlage, hoofdstuk 6.2, met name Figuur 15-4).



Figuur 6-7 Gemeten en berekende bodemdaling in de buurt van de locatie 'Nijega-9/Leeuwarden-101' in mm sinds 1968 als gevolg van productie uit de Leeuwarden-Nijega en Leeuwarden-101 voorkomens. Op basis van de waargenomen trend, is de bodemdaling berekend tussen 2017 en 2028, en die laat zien dat de bodem nog iets door daalt (<1cm)



Figuur 6-8 Zelfde als Figuur 6-7 plus de berekende bodemdaling als gevolg van productie uit het Leeuwarden-101 voorkomen volgens dit winningsplan (gestreept).

6.4 Monitoring van bodemdaling

Het monitoren van bodemdaling gebeurt door een vlakdekkende waterpasmetering 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.

Gezien de geringe daling (ten gevolge van de geringe netto dikte) is niet te verwachten dat de daling ten gevolge van de Leeuwarden-101 Ten Boer 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.

Er bevindt zich een Natura-2000 gebied in het uiterste westen boven het Leeuwarden-101 voorkomen, en binnen het gebied van de bodemdalingskom (Figuur 8-1).

Door de geringe toekomstige bodemdaling, wordt niet verwacht dat er nadelige gevolgen voor natuur en milieu zullen optreden door de gaswinning uit dit winningsplan.

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.

7 Bodemtrilling

De seismische risicoanalyse laat zien dat het Leeuwarden-101 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 dus 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).

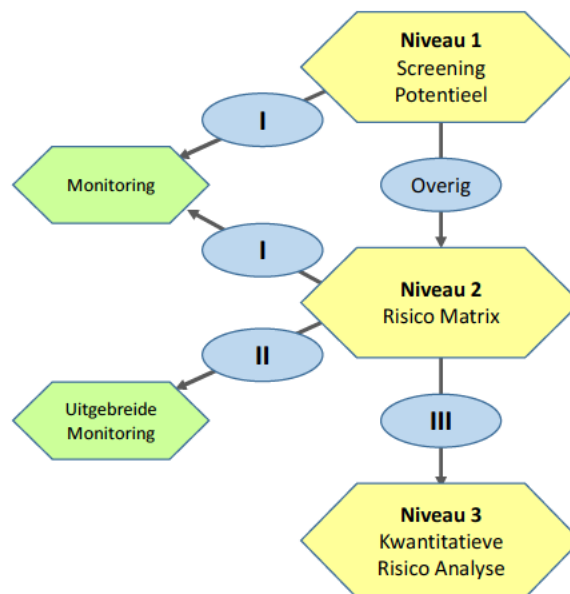
Naast de ondergrond-situatie, wordt in dat protocol ook de situatie aan het oppervlak bekeken. De aard van de bebouwing en infrastructuur in de omgeving van het voorkomen wordt meegewogen. Bij de effecten die aan de oppervlakte merkbaar zijn, speelt niet alleen de sterkte en de diepte van de beving een 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 Leeuwarden-101 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 Leeuwarden-101 Ten Boer deelvoorkomen, is dat de kans op een beving (met een magnitude groter dan 1.5, over de levensduur van het veld) verwaarloosbaar is. Dit geldt zowel als de productie tot het LEW-102 blok beperkt blijft, en als het volle voorkomen aangesproken wordt (zie voor de breukblokken Figuur 6-3). Het voorkomen valt dus in Categorie I.

Voor de Slochteren is de analyse niet uitgevoerd, omdat die laag al meer dan 25 jaar uitgedrukt is.

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

7.4 Monitoring van bodemtrillingen

Het monitoren van de seismische activiteit rondom het Leeuwarden-101 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 aardbevingen verwaarloosbaar is, zoals besproken in paragraaf 7.3 (zie ook bijlage, paragraaf 17.2) is de kans op significante schade aan openbare infrastructuur eveneens verwaarloosbaar.

7.5.2 Schade aan bouwwerken door bodemtrillingen ten gevolge van gaswinning

Omdat de kans op aardbevingen verwaarloosbaar is, zoals besproken in paragraaf 7.3 (zie ook bijlage, paragraaf 17.2) is de kans op significante schade aan bouwwerken eveneens verwaarloosbaar.

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 voorziet het productieproces niet in maatregelen om trillingen te voorkomen of te beperken.

Indien als gevolg van bodemtrillingen door gaswinning toch schade ontstaat, dan zal deze worden vergoed overeenkomstig de regels van het burgerlijk recht.

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 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.

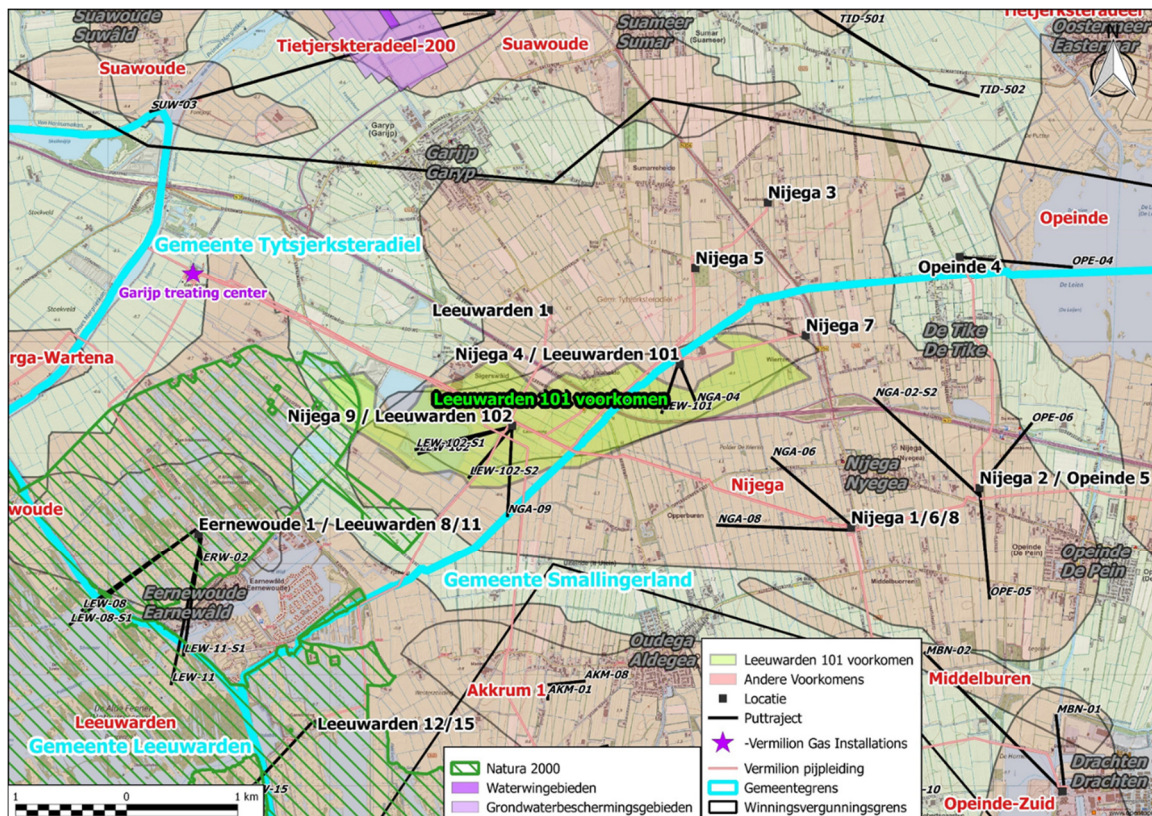
8.6 Natuur

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. Dit is hier niet aan de orde (zie paragraaf 6.5.2 en 7.5.3).

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. Dit is hier niet aan de orde (zie paragraaf 6.5.2 en 7.5.3).

8.7 Locaties

De locaties 'Nijega-9/ Leeuwarden-102' en 'Nijega-4/ Leeuwarden-101' bevinden zich respectievelijk op ruim 1 km en 2 km van een Natura 2000 gebied (Figuur 8-1). Verder bevinden de locaties zich ruim 3 km van een grondwaterbeschermingsgebied. In het kader van de Omgevingsvergunning zijn de mogelijke effecten van bovengrondse activiteiten 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 Leeuwarden-101 en andere voorkomens ten opzichte van het waterwingebied ten noorden van Garijp (boven in kaart) en Natura-2000 gebieden (links onder)

'Nijega-9/Leeuwarden-102' is een bestaande mijnbouwlocatie. De Omgevingsvergunning wordt momenteel gereviseerd. De aanvraag revisie vergunning is 21 juni 2017 ingediend.

'Nijega-4/Leeuwarden-101' is een bestaande mijnbouwlocatie. De vigerende vergunning is de Omgevingsvergunning met het kenmerk DGETM-EO / 17090591 d.d. 27/6/2017.

De productie vanuit de nieuwe completie van de put LEW-102-S2 wordt hier mogelijk gemaakt.

9 Verklarende woordenlijst

Aquifer	Watervoerend deel van het reservoir. Dat kan naast en/of onder het gasvoerende deel gelegen zijn.
Charged Area	(Grootte) van het oppervlak van de gasvulling
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
EZ (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	Leeuwarden (gasvoorkomen)
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
NGA	Nijega (gasvoorkomen)
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 de wel gebruikt werd voor het bovenste deel van de Rotliegend formatie (hier is dat Cycle 5 van de Ten Boer)

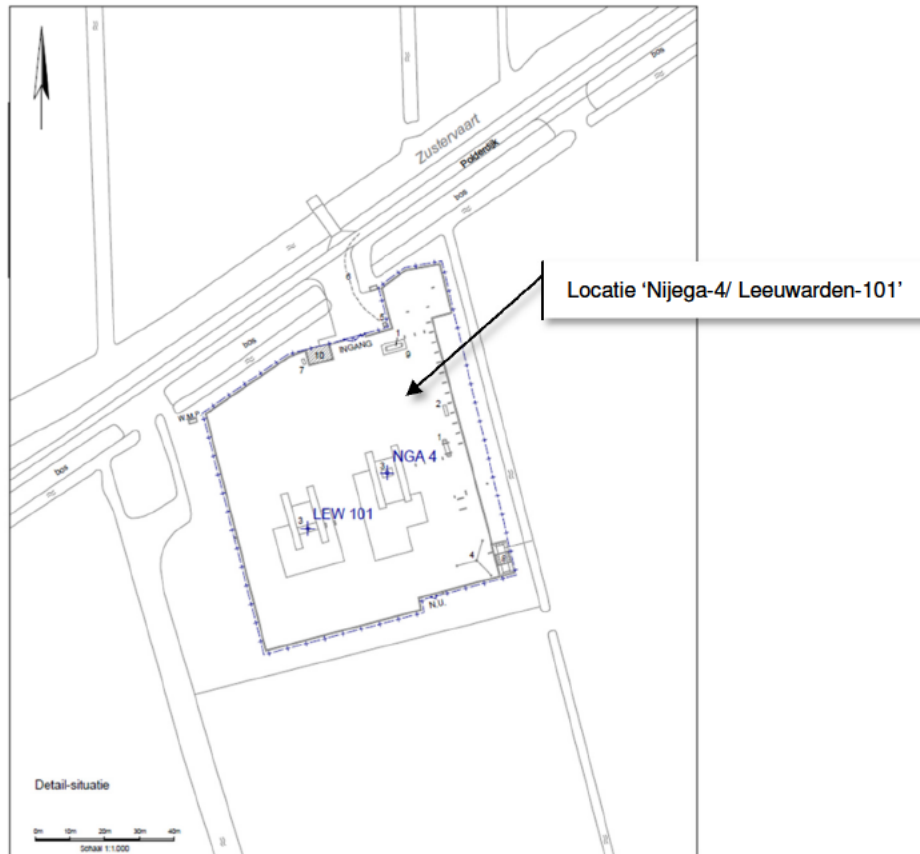
10 Referenties

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

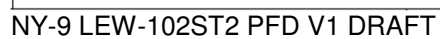
Topographic map of the area around Nijega 9/ Leeuwarden-102. The map shows a building complex with a blue outline, labeled 'Nijega 9' and 'Leeuwarden-102'. A black arrow points from a text box 'Locatie 'Nijega-9/ Leeuwarden-102'' to the building. The map includes labels for 'OUDEGA E', 'BERGUM H', and 'VOORTUUR'. A north arrow is in the top left. A scale bar at the bottom indicates 0m, 20m, 40m, 60m, 80m, 100m. A table at the bottom right shows coordinates and other data.

NO	20m	40m	60m	80m	100m
1	100	200	300	400	500
2	100	200	300	400	500
3	100	200	300	400	500
4	100	200	300	400	500
5	100	200	300	400	500
6	100	200	300	400	500
7	100	200	300	400	500
8	100	200	300	400	500
9	100	200	300	400	500
10	100	200	300	400	500
11	100	200	300	400	500
12	100	200	300	400	500
13	100	200	300	400	500
14	100	200	300	400	500
15	100	200	300	400	500
16	100	200	300	400	500
17	100	200	300	400	500
18	100	200	300	400	500
19	100	200	300	400	500
20	100	200	300	400	500
21	100	200	300	400	500
22	100	200	300	400	500
23	100	200	300	400	500
24	100	200	300	400	500
25	100	200	300	400	500
26	100	200	300	400	500
27	100	200	300	400	500
28	100	200	300	400	500
29	100	200	300	400	500
30	100	200	300	400	500
31	100	200	300	400	500
32	100	200	300	400	500
33	100	200	300	400	500
34	100	200	300	400	500
35	100	200	300	400	500
36	100	200	300	400	500
37	100	200	300	400	500
38	100	200	300	400	500
39	100	200	300	400	500
40	100	200	300	400	500
41	100	200	300	400	500
42	100	200	300	400	500
43	100	200	300	400	500
44	100	200	300	400	500
45	100	200	300	400	500
46	100	200	300	400	500
47	100	200	300	400	500
48	100	200	300	400	500
49	100	200	300	400	500
50	100	200	300	400	500
51	100	200	300	400	500
52	100	200	300	400	500
53	100	200	300	400	500
54	100	200	300	400	500
55	100	200	300	400	500
56	100	200	300	400	500
57	100	200	300	400	500
58	100	200	300	400	500
59	100	200	300	400	500
60	100	200	300	400	500
61	100	200	300	400	500
62	100	200			

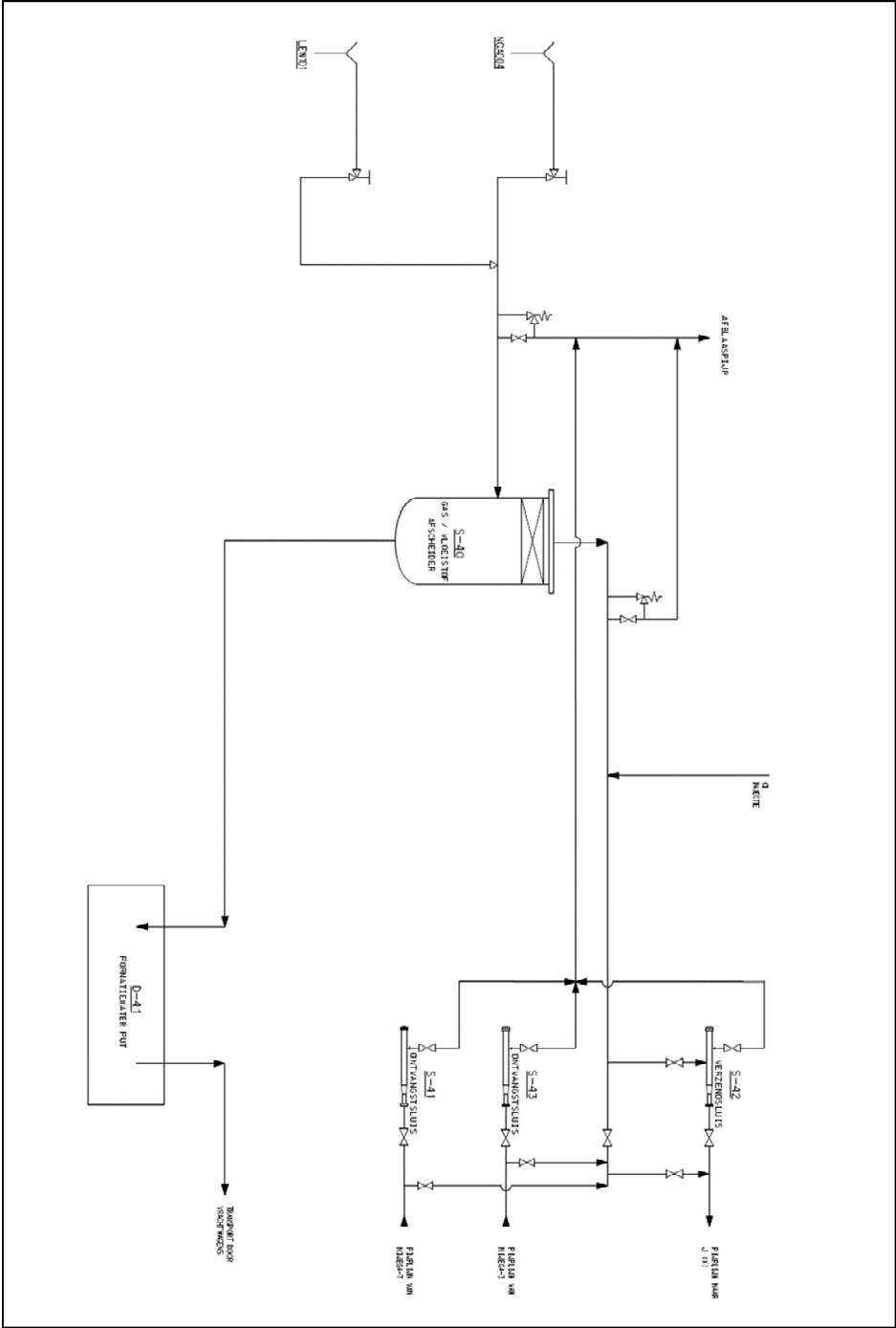
Locatie 'Nijega-4/Leeuwarden-101'



Proces-stroomdiagram 'Nijega-9/Leeuwarden-102'



Proces-stroomdiagram 'Nijega-4/Leeuwarden-101'



1-30-NY004-3-31-004 PFD V3

13 Bijlage: Detailschema putverbuizing

Figuur 13-1 Geplande detailschema van de verbuizing in de put LEW-102-S2 (LEW-102-ST2) na de geplande hercompletering op de Ten Boer formatie

VERMILION		FIELD : LEEUWARDEN		WELL : LEW-102-ST2	
RT/TH : 6.45 M		ANNULUS FLUID :			
COMPLETION DATE : 04-03-2014		1.05 SG INHIBITED KCL BRINE			
VOLUMES		DRILLING DEPTHS / RT			
TUBING : 9.3 m3		9 5/8" CSG SHOE 1430 m.			
ANNULUS : 32 m3		7" CSG 23 # 0-2015 M			
HOLE : 11 m3		7" CSG 29 # 2015- 2618 m.			
X-MASTREE					
TUBING HEAD	FMC				
TUBING HANGER	FMC				
L MASTER VALVE	FMC MANUAL GATE VALVE 3"1/8"-5K API				
U MASTER VALVE	FMC ACTUATOR VALVE 3"1/8"-5K API				
SWAB VALVE	FMC MANUAL GATE VALVE 3"1/8"-5K API				
WING VALVES	FMC MANUAL GATE VALVE 3"1/8"-5K API				
TOP CAP	FMC 6 1/2"- 4 ACME 5K				
STRING					
ITEM	QTY	DESIGNATION	L / M	Depth/TH bottom of item	ID/in
1	1	FMC TUBING HANGER WITH 3" CIW-H BPV PROFILE	0.420	0.26	2.996
2	1	X OVER 3.1/2" - 9.2# VT- VAGT PIPX PIN	0.840	1.10	2.992
3	1	JOINT 3.1/2" 9.2# VAGT	9.210	10.31	2.992
4	5	PUP JOINT 3.1/2" 9.2# VAGT	8.930	19.24	2.992
5	3	JOINT 3.1/2" 9.2# VAGT	27.520	46.76	2.992
6	1	X-OVER 3.1/2" 9.2# VAGT X VT	1.810	48.57	2.992
7	1	FLOW COUPLING, 3.1/2" -9.20# VT	1.750	50.32	2.992
8	1	Wellstar TRSSSV, 3.1/2" VT	1.560	51.88	2.813
9	1	FLOW COUPLING, 3.1/2" -9.20# VT	1.750	53.63	2.992
10	1	X-OVER 3.1/2" -9.20# VT X VAGT	1.210	54.84	2.992
11	207	JOINT 3.1/2" 9.2# VAGT L80	1947.380	2002.22	2.992
12	1	X-OVER 3.1/2" -9.20# VT X VAGT	1.880	2004.10	2.992
13	1	CHEMICAL INJECTION SUB	0.740	2004.84	2.813
14	1	PUP JOINT, 3.1/2" -9.20# VT 13 CR80	1.290	2006.13	2.992
15	1	PUP JOINT 3.1/2" 9.2# VT 13 CR80	1.850	2007.98	2.992
16	1	SSD XD 2.813" 9CR 3.1/2" -9.20# [UP TO CLOSE]	1.220	2009.20	2.813
17	1	PUP JOINT 3.1/2" 9.2# VT 13 CR80	1.240	2010.44	2.992
18	1	PUP JOINT 3.1/2" 9.2# VT 13 CR80	1.890	2012.33	2.992
19	1	ON-OFF TL, XL, 7X3.1/2"	0.770	2013.10	2.813
20	1	X-OVER 3.1/2" VT- 2.7/8 VT 13 CR80	0.240	2013.34	2.442
21	1	PUP JOINT 2.7/8" 6.4# VT 13 CR80	1.250	2014.59	2.442
22	1	7" AHR PACKER 23-29 #	1.750	2016.34	2.442
23	1	PUP JOINT 2.7/8" 6.4# VT 13 CR80	1.260	2017.60	2.442
24	1	2.313 X LANDING NIPPLE	0.340	2017.94	2.313
25	6	PUP JOINT 2.7/8" 6.4# VT 13 CR80	11.960	2029.90	2.442
26	1	2.313 XN LANDING NIPPLE	0.360	2030.26	2.205
27	1	PUP JOINT 2.7/8" 6.4# VT 13 CR80	1.160	2031.42	2.442
28	1	X-OVER 2.7/8" VT- 2.7/8 EUE	0.260	2031.68	2.442
29	1	BAR PRESSURE VENT SUB	0.390	2032.07	2.250
30	1	PUP JOINT 2.7/8" 6.4# EUE	3.060	2035.13	2.442
31	1	MECHANICAL TUBING RELEASE	0.510	2035.64	2.125
32	3	PUP JOINT 2.7/8" 6.4# EUE	9.220	2044.86	2.442
33	1	AUTO RELEASE FIRING HEAD	0.840	2045.70	2.125
DROPPED TCP GUNASSY W/ SPENT GUNS 16 M					
PERFORATIONS / RT					
A	WILKLAND	2953 TO 2957.5 M/RT	(SQUEEZED)		
B	TEN BOER	~2550 M/RT			
		PRTD is	2585 mKB		

Figuur 13-2 Bestaand detailschema van de verbuizing in de put NGA-04 (Nijega-4). De put zal eventueel een nieuwe completie krijgen met perforaties in de Ten Boer formatie en eventueel een geboorde aftakking naar deze doel formatie.

VERMILION		FIELD : LW EAST	WELL : NGA-04 (NIJEGA 4)
RT/TH : 5.35 m. COMPLETION DATE 4 / 1978		ANNULUS FLUID : SG 1.10 BRINE INHIBITED WITH CK 489	
VOLUMES		DRILLING DEPTHS / RKB	
TUBING : 8.8 m3		7" CASING SHOE @ 2390 m.	
ANNULUS : 26.7 m3		9 5/8" CASING SHOE @ 1338.40 m.	
HOLE : 41 m3		7" BRIDGE PLUG @ 2055 m.	
Xmas TREE			
TUBING HEAD	CAMERON 10"-5000 X 6"-5000		
TUBING HANGER	CAMERON WITH 3" BPV PROFILE		
L MASTER VALVE	CAMERON GATE VALVE 3"-5000		
U MATER VALVE	CAMERON GATE VALVE 3"-5000		
SWAB VALVE	CAMERON GATE VALVE 3"-5000		
WING VALVES	CAMERON GATE VALVE 3"-5000		
TOP CAP	MOT13"-5000 X 6 1/2"-4 ACME QUICK UNION		
STRING			
ITEM	QTY	DESIGNATION	Depth/Th ID/in
1	1	TUBING HANGER WITH 3" CAMERON H BPV PROFILE	0.15 3.000
2	2	PUP JOINT 3 1/2" VAM C75 9.2#	7.68 2.992
3	2	TUBING 3 1/2" VAM C75 9.2#	25.37 2.992
4	1	PUP JOINT 3 1/2" VAM C75 9.2#	28.05 2.992
5	1	3" B6 CAMCO SCSSSV NIPPLE	28.82 2.813
6	1	PUP JOINT 3 1/2" VAM C75 9.2#	29.73 2.992
7	1	TUBING 3 1/2" VAM C75 9.2#	1928.90 2.992
8	1	PUP JOINT 3 1/2" VAM C75 9.2#	1931.65 2.992
9	1	2.81" BAKER 'L' SSD WITH 2.81" 'F' PROFILE	1932.56 2.813
10	1	PUP JOINT 3 1/2" VAM C75 9.2#	1933.47 2.992
11	1	TUBING 3 1/2" VAM C75 9.2#	1942.92 2.992
12	1	PUP JOINT 3 1/2" VAM C75 9.2#	1943.92 2.992
13	1	TBG SEAL RECEPTACLE 'EL2' WITH 2.75" 'F' PROF	1945.62 2.750
14	1	ANCHOR TUBING SEAL ASSY SIZE 80-40	1945.82 3.000
15	1	BAKER 'F1' PACKER SIZE 85-40	4.000
VELOCITY STRING INSTALLED SUMMER 1996			
16	1	COILED TUBG DISCONNECT SUB OD 2.562"	35.00 1.700
17	1	6ft 2 1/16" HYDRILL CS PUP JOINT	1.751
18	1	BAKER 1.5" "F" NIPPLE	37.00 1.500
19	1	3ft 2 1/16" HYDRILL CS PUP JOINT	1.751
20	1	CAMCO MODEL "A" VELOCITY STRING HANGER / PACKOFF	1.625
21	1	CT CONNECTOR 1.9" HYDRILL CS X 2" CT	1.530
22	1	2" COILED TUBING VELOCITY STRING	1.688
23	1	CT CONNECTOR 1.9" HYDRILL CS X 2" CT	1948.00 1.530
24	1	1.9" HYDRILL CS PUP JOINT	1.530
25	1	BAKER 1.18" "F" NIPPLE	1950.00 1.180
26	1	1.9" HYDRILL CS PUP JOINT	1.530
27	1	HALF MULE SHOE / PUMP OUT SUB	1952.00 1.688
PERFORATIONS / RKB			
A FROM 1972.80 TO 1978.30 m 2 1/8" HYPERDOM			
A FROM 1978.30 TO 1983.80 m 2 1/8" HYPERDOM			
NORM CLASSIFIED : NO			
DEVIATION : VERTICAL			

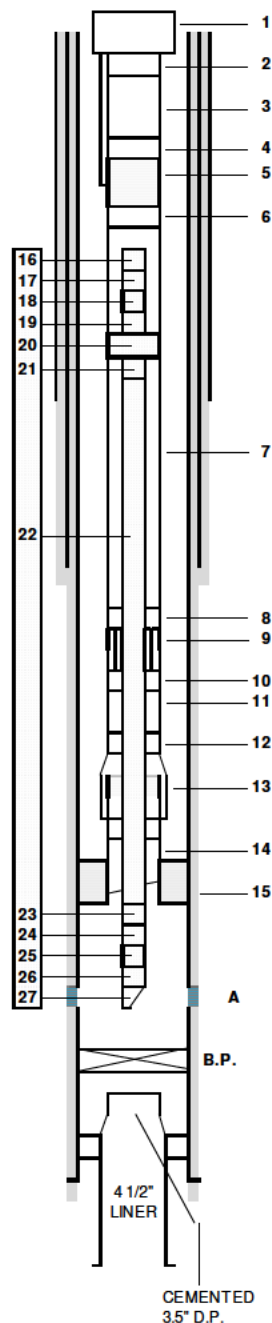
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27

A

B.P.

4 1/2" LINER

CEMENTED 3.5" D.P.



14.11.1996

Figuur 13-3 Bestaand detailschema van de verbuizing in put LEW-101 (LW-101). De put zal eventueel een nieuwe completie krijgen met perforaties in de Ten Boer formatie en eventueel een geboorde aftakking naar deze doel formatie.

Vermilion		FIELD : LW EAST	WELL : LEW-101
RT/TH : 5.10 m. COMPLETION DATE : 10/78		ANNULUS FLUID : INHIBITED FRESH WATER	
VOLUMES		DRILLING DEPTHS / RKB	
TUBING : 6 m3.		7" 23# CSG SHOE AT 2550.1 m.	
ANNULUS : 31.8 m3		CEMENT IN 7" CSG AT 2019.75 m.	
HOLE : 41.3 m3.			
Xmas TREE			
TUBING HEAD	11"-5000 X 7 1/16"-5000 X 3 1/8"-5000		
TUBING HANGER	PEROLO		
L MASTER VALVE	FMC MODEL 120 3 1/8"-5000 GATE VALVE.		
U MATER VALVE	FMC MODEL 120 3 1/8"-5000 GATE VALVE.		
SWAB VALVE	FMC MODEL 120 3 1/8"-5000 GATE VALVE.		
WING VALVES	FMC MODEL 120 3 1/8"-5000 GATE VALVE.		
TOP CAP	MOT13 1/8"-5000 X 6.5-4 ACME Q.U.		
STRING			
ITEM	QTY	DESIGNATION	Depth/Th ID/in
1	1	PEROLO TUBING HANGER WITH 3" CAMERON BPV PROFIL	.65 3.000
2	1	PUP JOINT 3 1/2" VAM 9.2# N 80	1.90 2.992
3	1	TUBING 3 1/2" VAM 9.2# N 80	30.22 2.992
4	1	CAMCO 2.81" B6 SCSSSV NIPPLE	30.83 2.813
5	1	TUBING 3 1/2" VAM 9.2# N 80	40.27 2.992
6	1	X OVER 3 1/2" VAM X 2 7/8" VAM	40.51 2.441
7		TUBING 2 7/8" VAM 6.4# N 80	1948.96 2.441
8	1	BAKER ANCHOR KBH 22	1949.96 2.410
9	1	BAKER 4 X 3 25 SAB 3 PACKER	1951.46 3.250
10	1	MILLOUT EXTENSION 5" VAM	1953.06 4.400
11	1	X OVER 5" VAM X 2 7/8" VAM	1953.31 2.441
12	1	TUBING 2 7/8" VAM 6.4# N 80	1962.76 2.441
13	1	BAKER 2 25" F NIPPLE	1963.07 2.250
14	1	TUBING 2 7/8" VAM 6.4# N 80	1972.51 2.441
15	1	BAKER 2.25" R NIPPLE	1972.84 2.197
16	1	TUBING 2 7/8" VAM 6.4# N 80	1982.31 2.441
17	1	TUBING SHOE 2 7/8" VAM	1982.51 2.441
18		1.5" velocity string installed, from 40 to 1885 M/the most likely tapered: from 0.109" to 0.156" wall thickness	
PERFORATIONS / RKB			
A FROM 1990.05 TO 2012.5 MTR.			

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

NORM CLASSIFIED : NO

DEVIATION :
MAX. 36 dg. AT 1133 m.

25.11.9

14 Bijlage: Geologische kaart & Type Log

In deze bijlage wordt eerst een type log van de Ten Boer geven. Daarop zijn de 5 cycles van de Ten Boer te zien, en het algemene karakter van zand/schalie afwisselingen met een gemiddelde netto fractie van rond de 20%.

Vervolgens wordt ook een geologische kaart van het Leeuwarden-101 voorkomen gegeven. Het wordt maar gedeeltelijk bedekt door 3D seismiek. De kaart is dus gemaakt op basis van 2D seismiek.

Zoals ook in de tekst besproken is er mogelijk een scheiding tussen het LEW-101 blok en het LEW-102 blok, en er zijn indicaties dat dat een breuk zou kunnen zijn. Die mogelijke breuk is gestippeld ingetekend op de kaarten hieronder.

Omdat druk-informatie in de Ten Boer cycles schaars is, is het niet zeker dat de Ten Boer lagen hetzelfde contact hebben als waargenomen is in de Slochteren. Er zijn twee hypothesen: een dat er een gedeeld contact is, en de ander dat het gasgevulde gebied in de verschillende lagen min of meer gelijk is, aan dat in de Slochteren (zie figuur hieronder). Dat leidt tot de gebruikte polygonen (Figuur 6-3; zie ook paragraaf 15.2). De twee kaarten hieronder relateren de polygonen aan de kaarten. Situatie A correspondeert met een groot polygon, situatie B met een klein.

Daarnaast is het niet zeker of er productie zal plaatsvinden uit het LEW-101 blok. De ondergrens is dus een combinatie van situatie B met productie uitsluitend uit het LEW-102 blok. De bovengrens is een combinatie van situatie A met productie uit beide blokken.

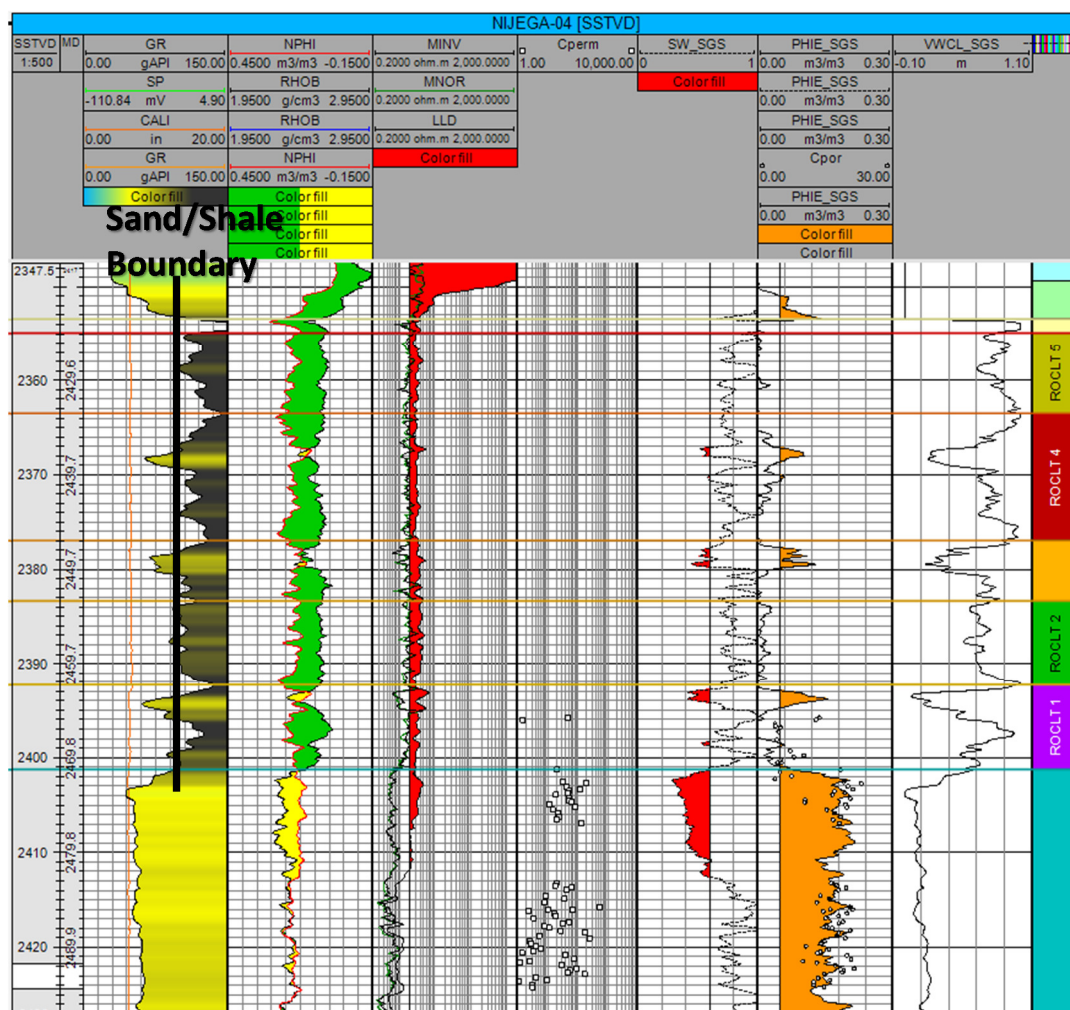
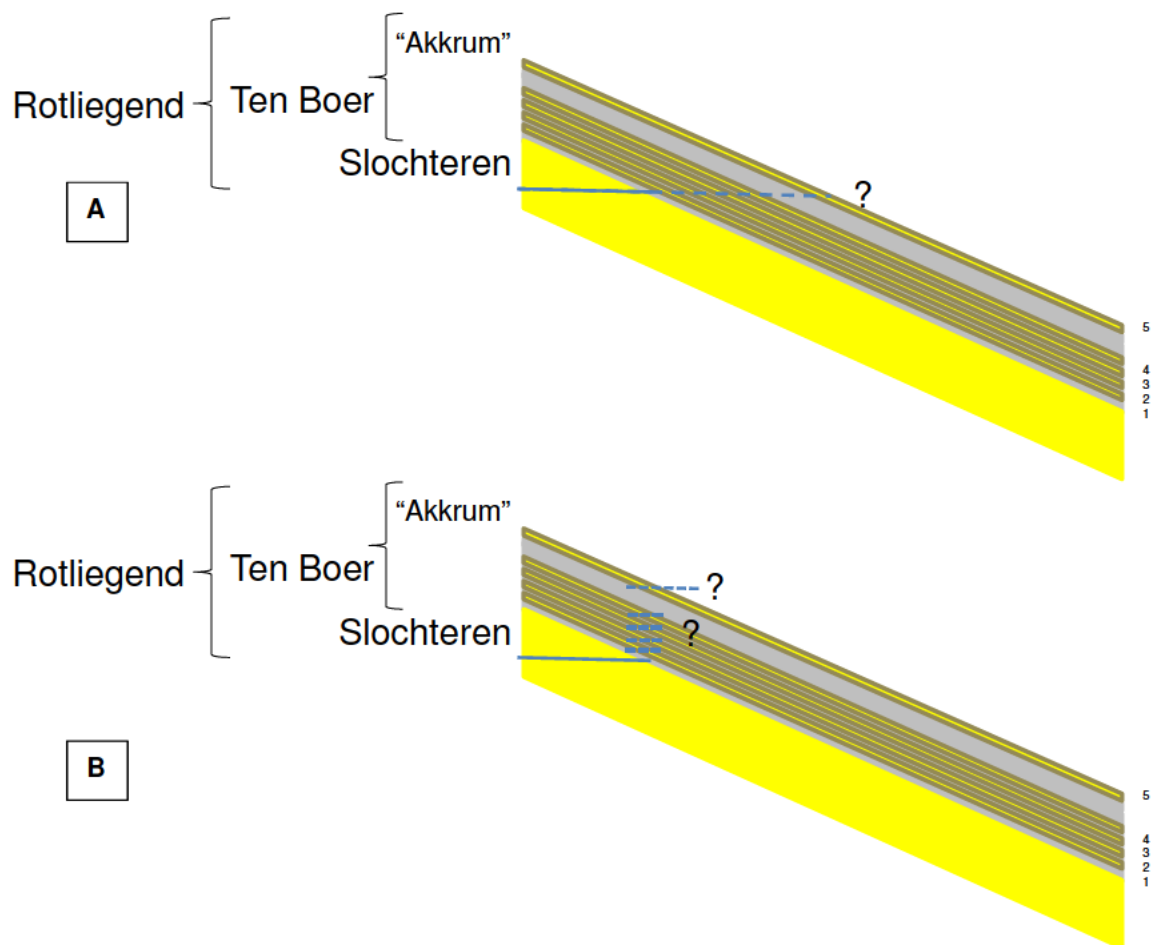
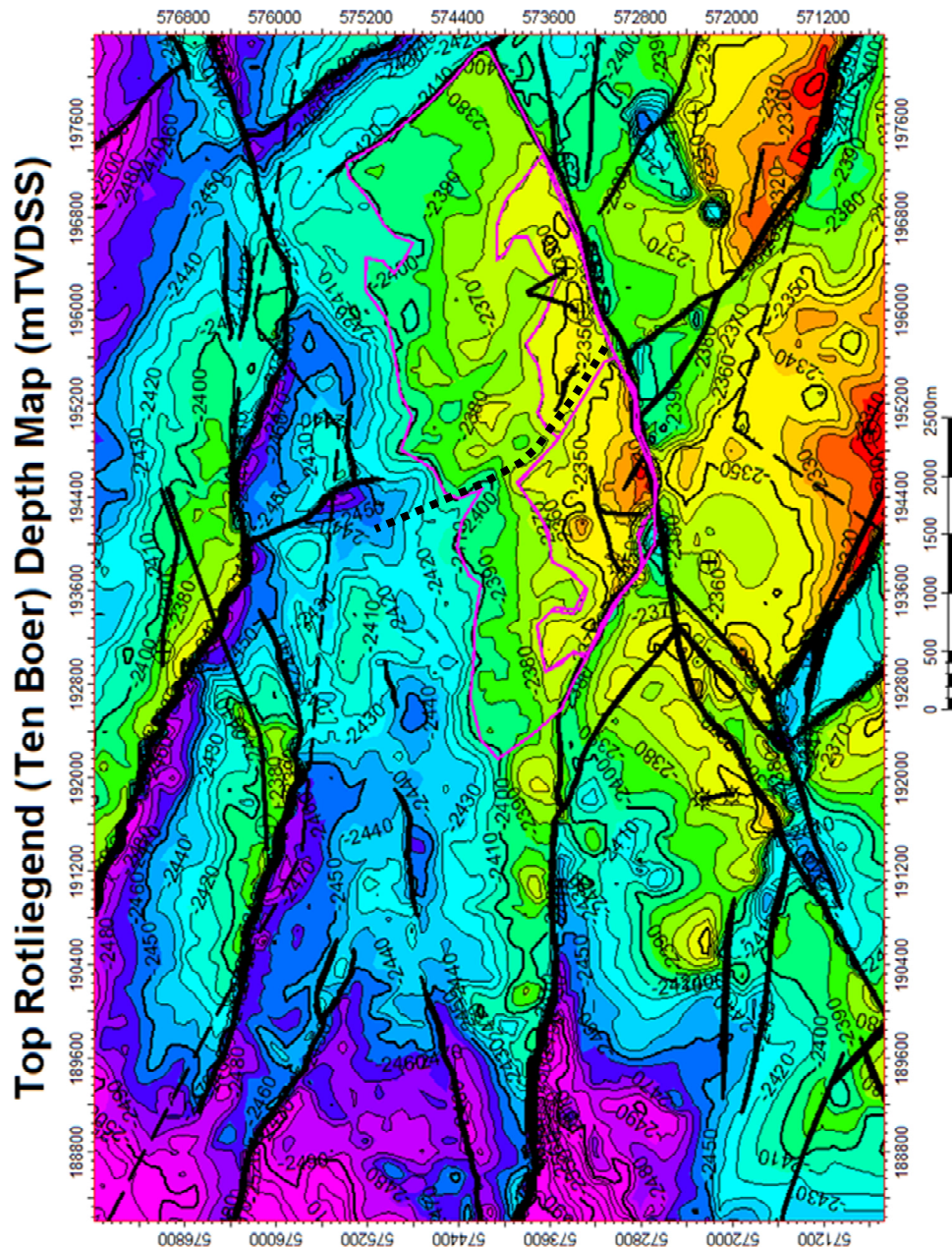
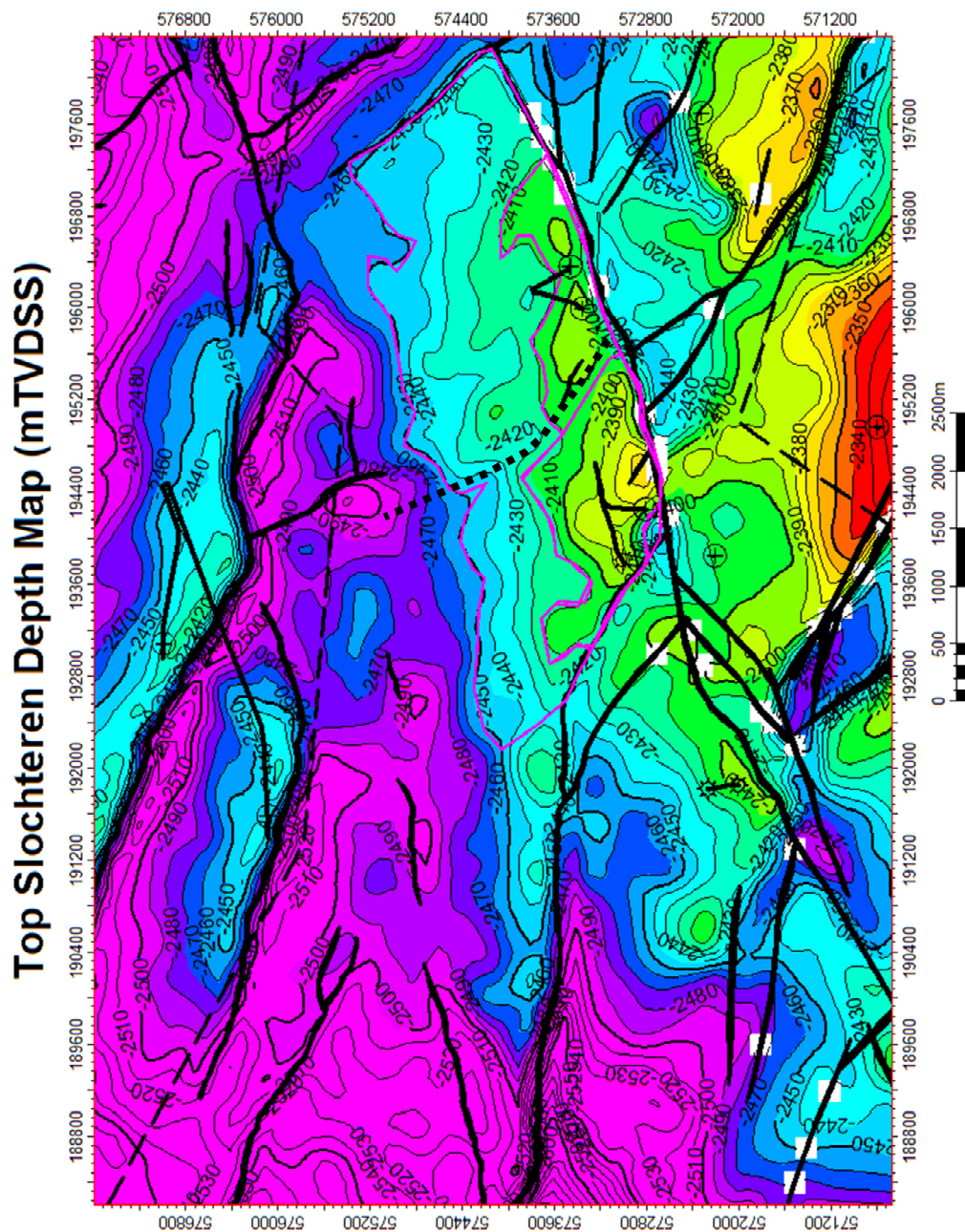


Figure 14-1 Log van NGA-04 over de Ten Boer. De zwarte lijn links geeft de geschatte net/non-net cut-off. Samen met een gelijkaardige analyse voor de andere putten, geeft dat een totale NTG van ongeveer 20% voor de Ten Boer. Merk op dat in deze put bijvoorbeeld cycle 5 slecht is, en cycle 4 goed, terwijl dat in andere putten anders is.



Figuur 14-1 GWC onzekerheid: zowel een situatie met een gedeeld GWC, als een situatie met een overeenkomend spill point per laag (i.e. een gelijkaardige vorm van het gasvoerend deel) zijn mogelijk.





Figuur 14-3 Kaart van diepte van de top van het Slochteren met de breuken (zwart) en de gebruikte polygonen. Het contact dat waargenomen is in de Slochteren (~2410) komt overeen met een lage schatting voor de charged area voor de Ten Boer cycles (zie paragraaf 15.2), en dus met de kleinere polygonen. De mogelijke breuk tussen LEW-101 en LEW-102 is gestippeld.

15 Bijlage: Analyse en Berekening Bodemdaling Meetplan Leeuwarden-101

15.1 Historische daling

Het Leeuwarden-101 voorkomen valt onder het Leeuwarden-Oost meetplan. In dit meetplan vallen diverse voorkomens met soms sterk overlappende dalingskommen.

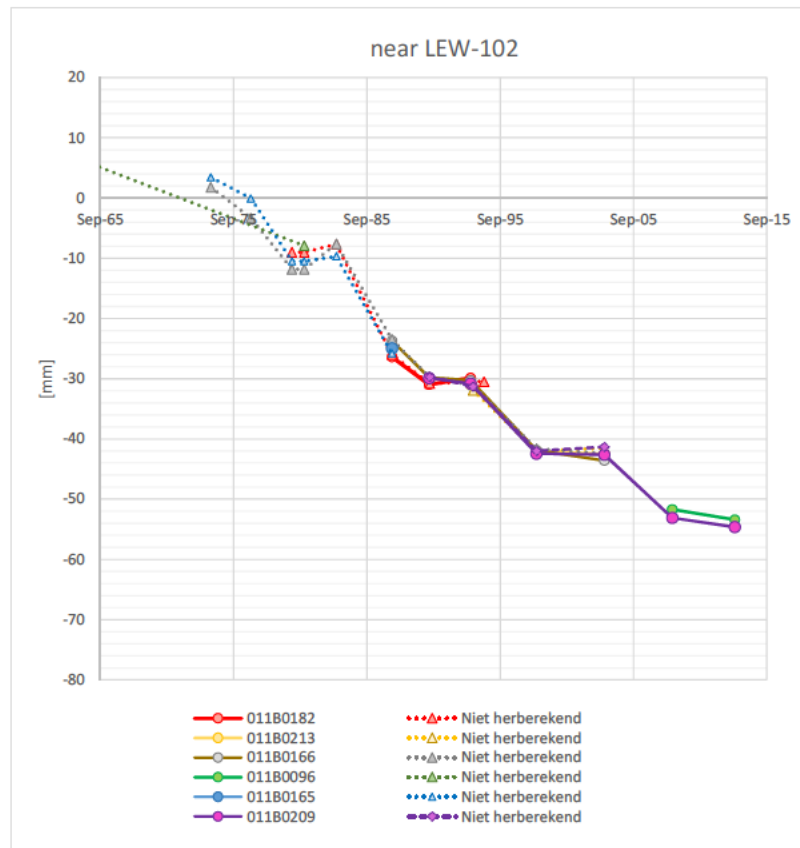
Aan de noord-oostrand van het meetplan is de invloed van de NAM voorkomens Suawoude en Tietjerksteradeel merkbaar. Deze voorkomens hebben op het diepste punt een veel grotere bodemdaling dan Leeuwarden-101.

In het meetplan Leeuwarden-Oost is in 2013 een meting gedaan (ref. 15, zie ook ref. 16). De metingen in de buurt van het Leeuwarden-101 voorkomen geven een bodemdaling van ongeveer 6 cm (Figuur 15-1). Merk op dat deze 6 cm niet alleen het gevolg zijn van winning uit het Leeuwarden-101 voorkomen, maar veeleer van die uit het Nijega voorkomen, zoals hieronder nader wordt besproken.

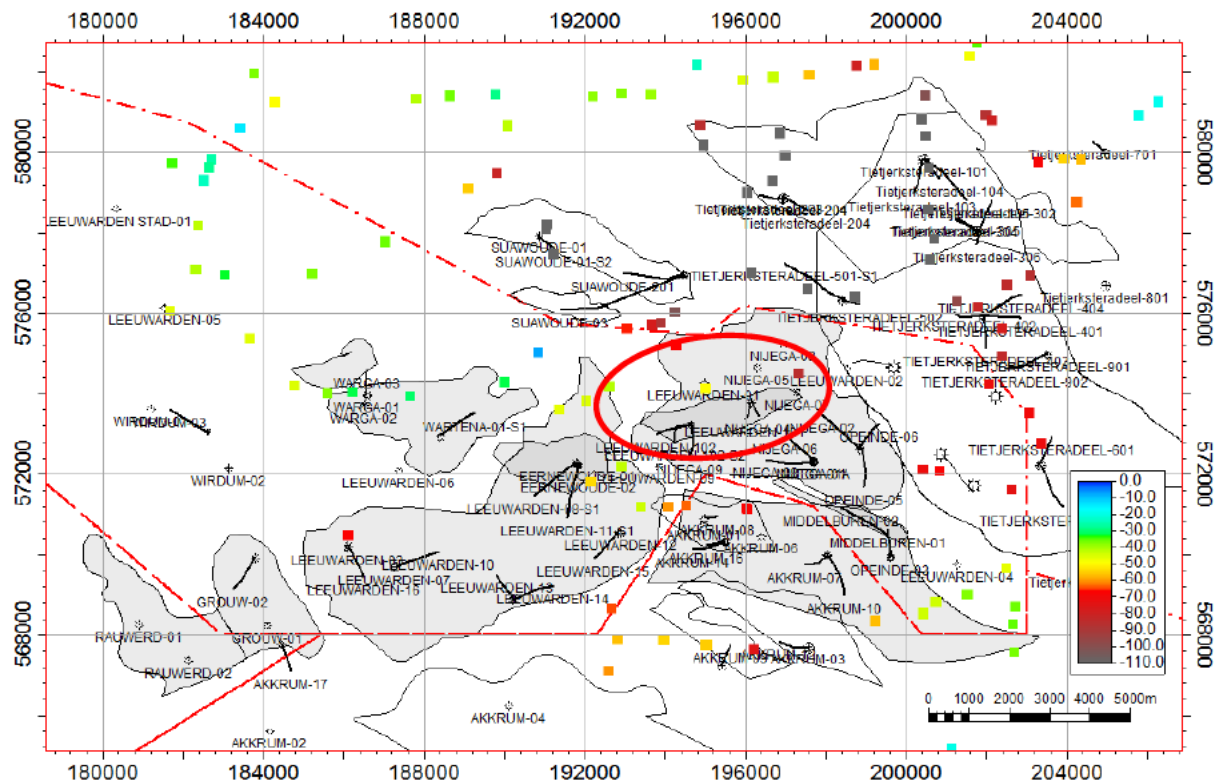
De metingen in het meetplan zijn geanalyseerd, en modelberekeningen zijn aan de metingen gekalibreerd over het hele gebied van het meetplan (ref. 18). Voor dit meetplan is de kalibratie problematisch. Allereerst is de coherentie tussen nabijgelegen peilmerken beperkt, suggererend dat er ook andere mechanismes 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 NAM-winningen.

Uiteindelijk is er voor gekozen de kalibratie conservatief (ruim) in te schatten, en geen correctie voor autonome bodemdaling toe te passen, 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 'Nijega-9/Leeuwarden-102' locatie, dan is de uitkomst ongeveer 6 cm (vgl. Figuur 6-6 met Figuur 15-1 en Figuur 15-2).

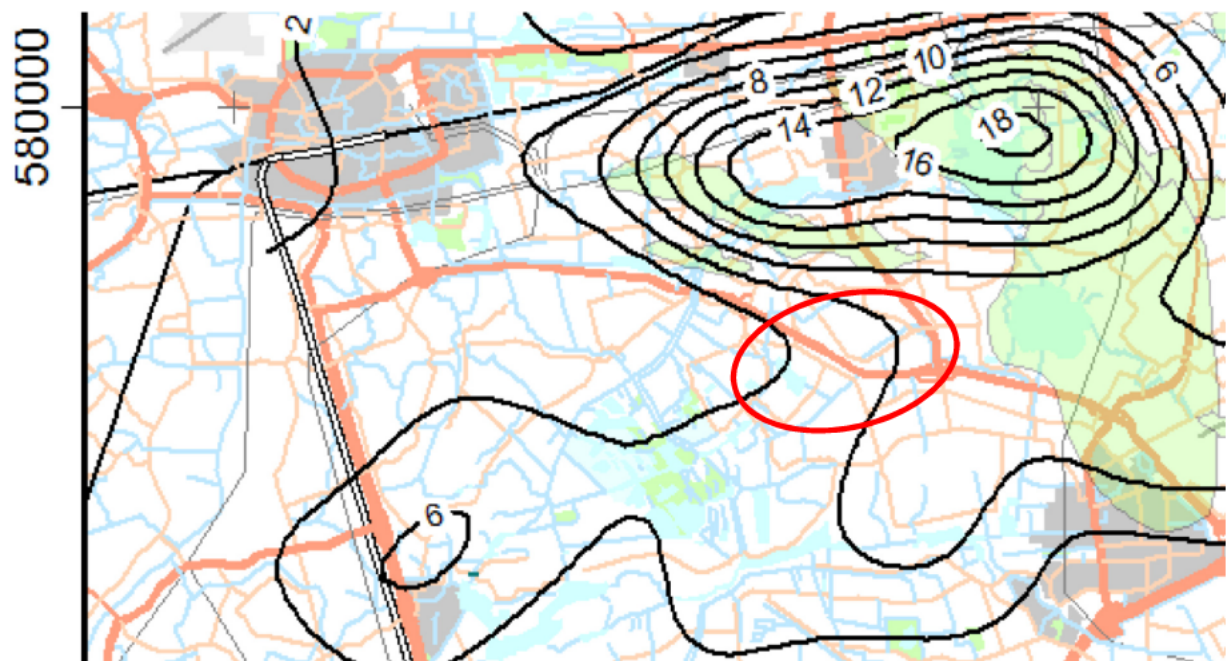
De geschatte toekomstige daling (die hier voornamelijk wordt veroorzaakt door na-ijlende, voortgaande compactie in het Nijega (Vlieland-zandsteen) voorkomen wordt op minder dan 2 cm geschat (ref. 18). Een kaart van de geschatte eindsituatie is weergegeven in Figuur 6-6 (daar moeten NAM dalingen, Figuur 15-4, bij opgeteld worden).



Figuur 15-1 Gedrag van NAP peilmerken in de buurt van de put LEW-102 in het Leeuwarden-101 voorkomen, uit de NAP database (ref. 17). De referentie voor de verticale as is arbitrair (als referentieput is 1970 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 peilmerkdaling van 5-6 cm in de periode 1970-2013 is zichtbaar (zie ref. 18, 18, 16). De NAP definitie is herzien in 2004, stippellijnen geven metingen van voor de herziening, getrokken lijnen van erna. Er is geen correctie voor autonome bodemdaling toegepast, ook al kan die in dit gebied 1-3 cm bedragen over deze 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 Leeuwarden-101 voorkomen waarop dit winningsplan betrekking heeft (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 5-6.5 cm geschat, waarvan een deel door NAM winning wordt veroorzaakt (Figuur 15-4).

15.2 Modellingering 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 van LEW-101 (historisch) en uit de Ten Boer (toekomstig) 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.

Specifiek is hier de rol die het depletiegebied speelt belangrijk. Op de eerste plaats is het GWC onzeker, en daarvoor zijn twee hypothesen opgesteld (zie bijlage, hoofdstuk 14). Daarnaast is het, omdat de Ten Boer cycles dunne zandjes zijn, lang niet zeker dat de zgn. *drainage radius* van een put het hele blok bestrijkt. Tenslotte kan het zo zijn dat het GWC ondiep is, maar de drainage radius toch relatief groot, in welk geval het watervoerende deel mee depleteert.

Deze onzekerheid is d.m.v. drie polygonen meegenomen. In werkelijkheid zal geen van deze drie precies kloppen, maar wij schatten dat dit drietal de mogelijke range omspant.

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 (grote) P10 daling leidt.

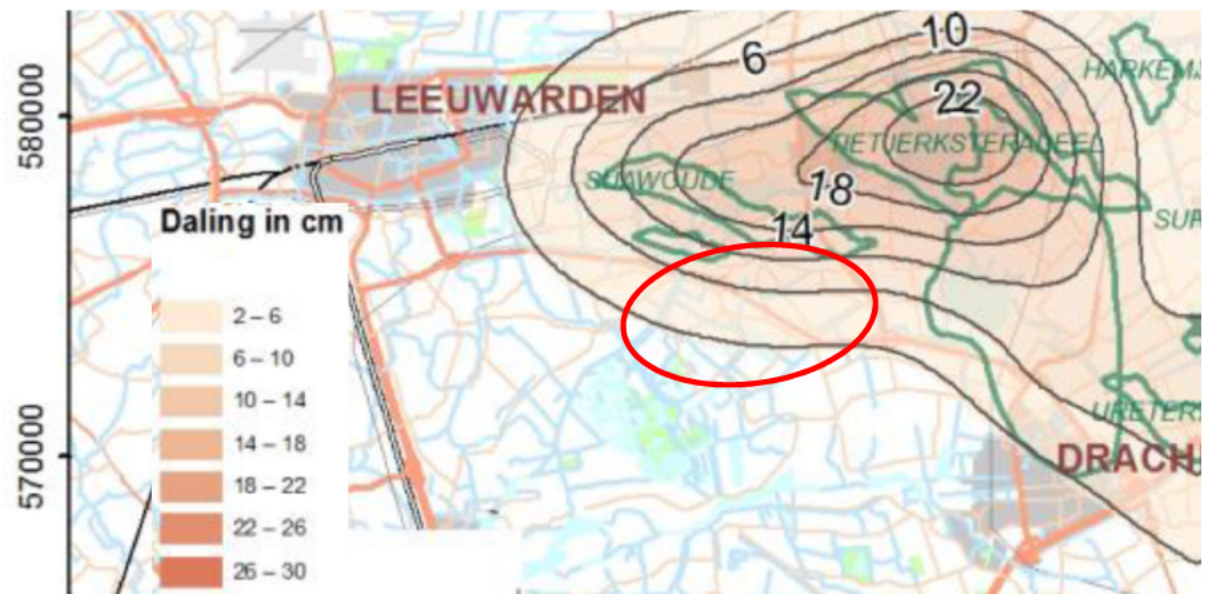
De tijdsafhankelijkheid is vervolgens gecalibreerd aan de metingen. Hierbij is voor de hoge case ervan uitgegaan dat alle daling gasgerelateerd is. Modelcurves die niet voldoen aan de gemeten waarden worden niet meegenomen in de voorspellingen. Dit proces leidt tot de curves in Figuur 6-7.

Tabel 15-1 Bodemdalings-parameters gebruikt voor de (toekomstige) Leeuwarden-101 Ten Boer winning

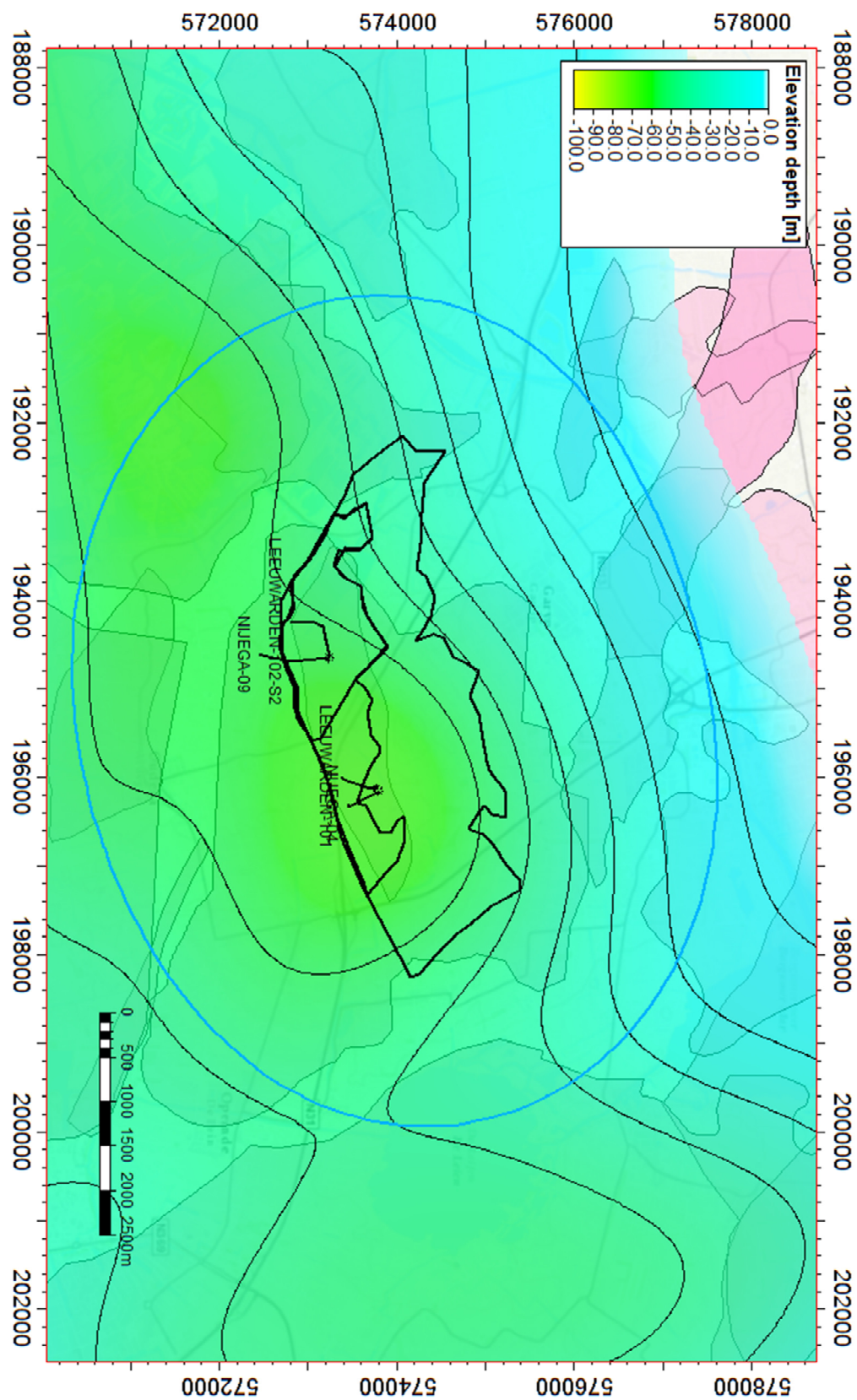
Name	Symbol	Values			Unit	Realization Probabilities			Comment
		L	M	H		L	M	H	
Depleted area	A	LEW-102-S2 block only	Extension	Full block		30%	40%	30%	Connected/filled area uncertain
Virgin Pressure	P_v	200	240	260	[bar]	30%	40%	30%	Possibly depleted
Abandonment Pressure	P_a	180	100	15	[bar]	0%	50%	50%	High-pressure watering out very unlikely
Poisson's Ratio	ν	0.25			[-]	100%			There is uncertainty, but it has low impact
Depth of the Formation	z	2410			[m]	100%			Uncertainty low compared to depth
Oedometric Compressibility	C_m	4.0E-6	6.0E-6	8.0E-6	[1/bar]	30%	40%	30%	Range e.g. from NAM report (2015)
Depleting Height	h	6.3	11.25	16.8	[m]	30%	40%	30%	NTG is main uncertainty
Rigid Basement Factor	RB	1.01	1.05	1.1	[-]	30%	40%	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 (historische; < 1992) Leeuwarden-101 Slochteren winning. In de metingen is de historische daling van deze winning niet te onderscheiden van andere (grotere) effecten, zoals de winning uit het Leeuwarden-Vlieland voorkomen (ref. 20).

Name	Symbol	Values			Unit	Realization Probabilities			Comment
		L	M	H		L	M	H	
Depleted area	A	Full block				100%			Slochteren is fairly large, clean column, low compartmentalisation risk (cf. aquifer support)
Virgin Pressure	P_v	260			[bar]	100%			Watered out at high pressure
Abandonment Pressure	P_a	220	202	185	[bar]	30%	40%	30%	Records not fully clear of pressure at watering out
Poisson's Ratio	ν	0.25			[-]	100%			There is uncertainty, but it has low impact
Depth of the Formation	z	2460			[m]	100%			Uncertainty low compared to depth
Oedometric Compressibility	C_m	4.0E-6	6.0E-6	8.0E-6	[1/bar]	30%	40%	30%	Range e.g. from NAM report (2015)
Depleting height	h	17	125		[m]	90%	10%		Depletion of full water leg not certain
Rigid Basement Factor	RB	1.01	1.05	1.1	[-]	30%	40%	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			N/A		[-]		N/A		Only final state calculated

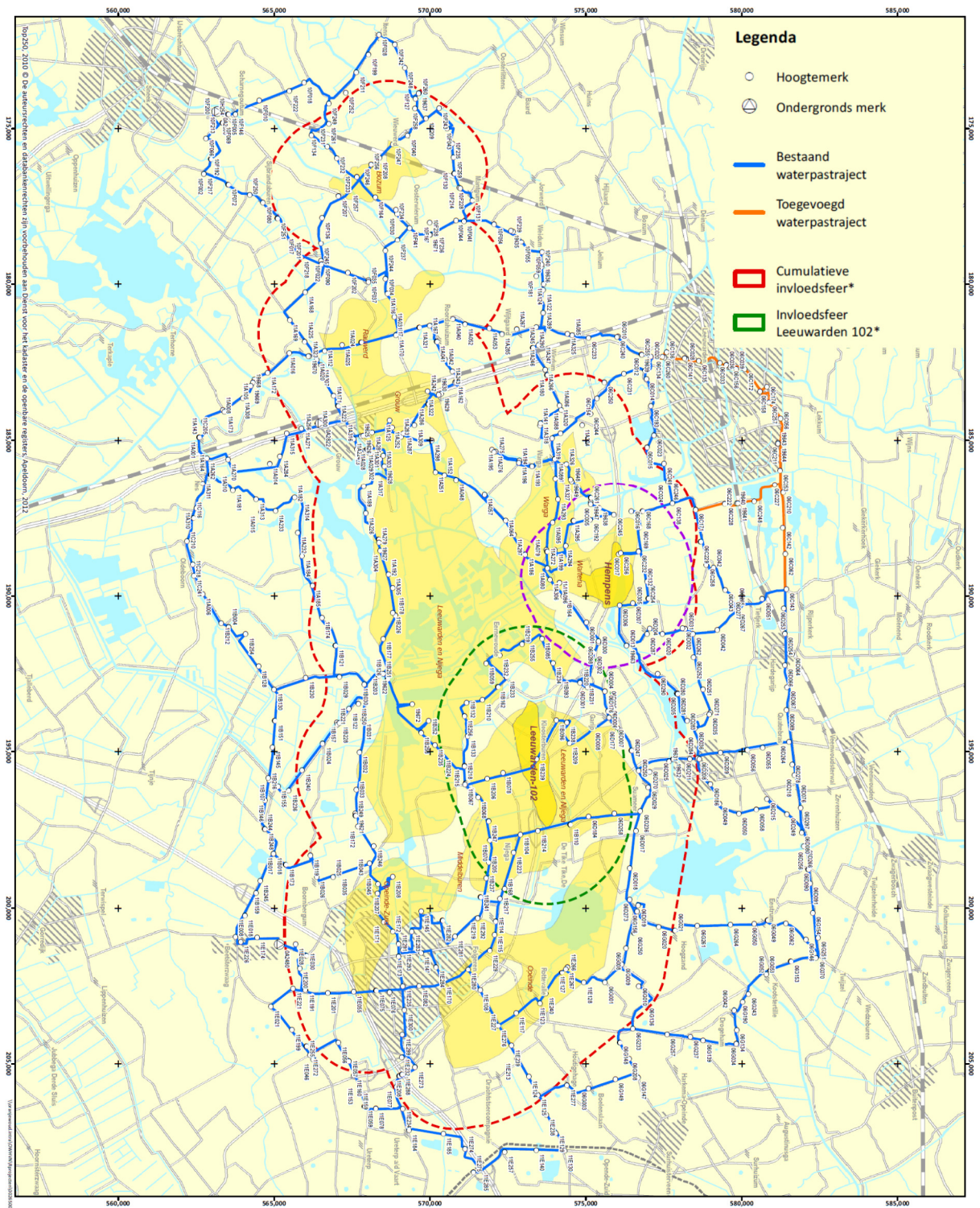


Figuur 15-4 NAM contourkaart van de prognose bodemdaling 2080, in (cm) (ref. 13). De rode cirkel geeft het gebied van dit winningsplan aan. Contouren zijn 2-6-10-... cm. I.t.t. Figuur 15-3 betreft het hier alleen daling t.g.v. NAM winning.



Figuur 15-5 Uitvergroting van Figuur 6-6, zie daar voor legenda [schaal in mm]. NAM daling is niet meegenomen (Figuur 15-4).

16 Bijlage: Meetnet Leeuwarden-Oost



Figuur 16-1: Overzicht meetplan Leeuwarden-Oost, zoals hermeten in 2013 (Ref. 15). De getekende invloedsfeer is voor zowel Slochteren als Ten Boer. Het hier ingeschetste polygon gemarkeerd 'Leeuwarden-102' is een ruwe versie van het middelste scenario (de twee groene delen in Figuur 6-3)

17 Bijlage: Seismische Risico Analyse: Details en Achtergronden

Verdere winning uit de Ten Boer in het Leeuwarden-101 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:

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

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-classes 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 Leeuwarden-101-Ten Boer deelvoorkomen zal deze grenswaarde waarschijnlijk overschrijden.

De het Leeuwarden-101-Slochteren productie ligt al meer dan 25 jaar in het verleden. Maar de productie in dat deelvoorkomen is destijds gestopt door water-productie een actieve aquifer bij een hoge druk (rond de 200 bar). De kans op aardbevingen uit de Slochteren was (en is) dus verwaarloosbaar.

Omdat er onzekerheid is over de uitgestrektheid van het gasvoerende gebied (zie bijlage, hoofdstuk 14), zijn er twee scenarios bekeken. Een uiterste waarin alleen een relatief klein gebied rond LEW-102 gas produceert, en een waarin beide blokken produceren, en de 5 Ten Boer cycles een gedeeld contact hebben.

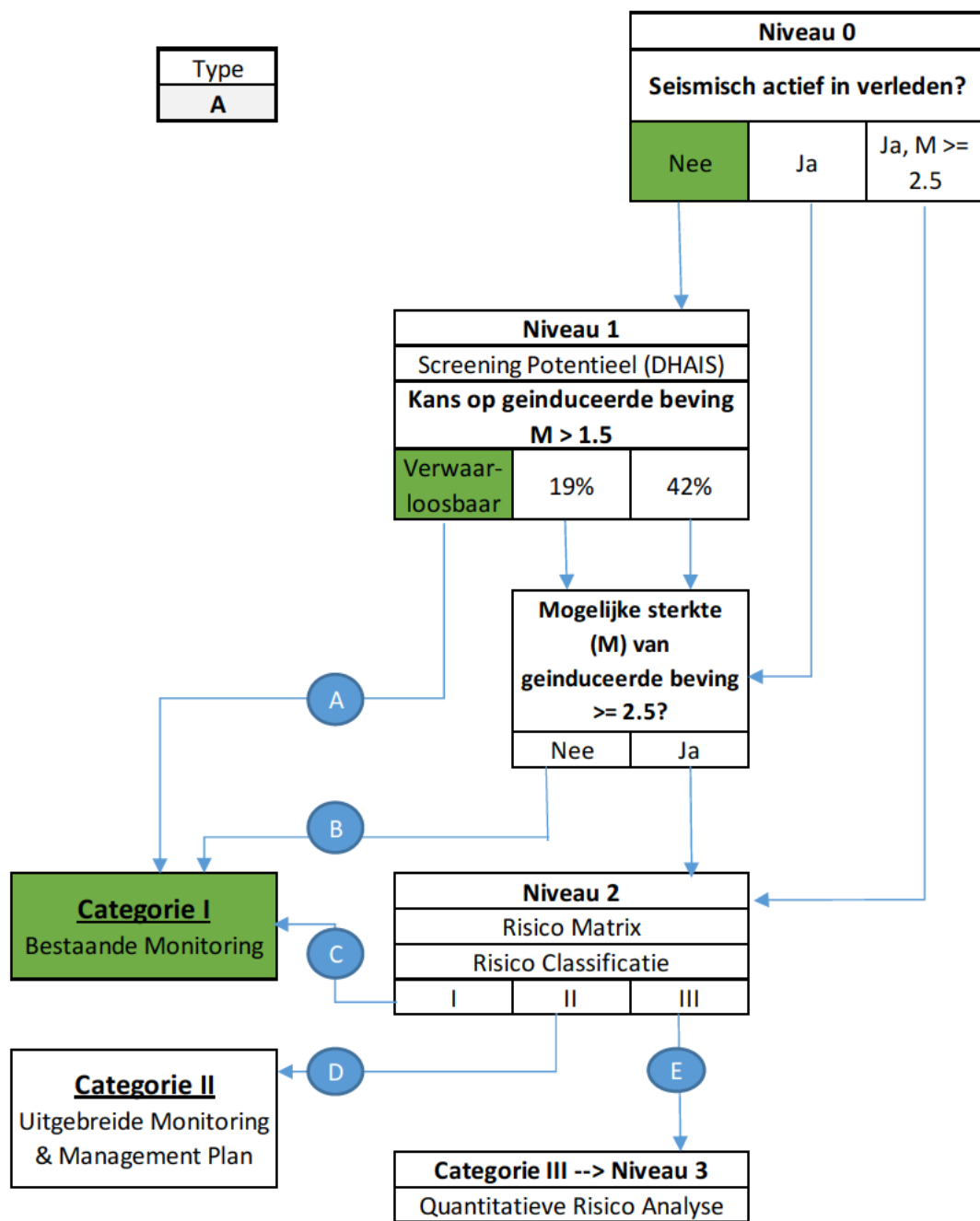
Voor wat betreft de breuken moet er in rekening gebracht worden dat de netto-fractie laag is (rond de 20%). De spanningsopbouw door depletie is dus veel lager dan geschat zou worden op basis van de bruto hoogte. In deze, extreme, omstandigheden zou een B-factor gebaseerd op een bruto-hoogte een ruime overschatting van het risico betekenen. Inderdaad is het zo dat als we kijken naar de velden in Nederland die aardbevingen met een $M > 1,5$ vertoond hebben, de kleinste depleterende hoogte 46 m is (Coevorden-ZEZ3C). Hier is de verwachte depleterende dikte minstens een factor 3 kleiner (Tabel 15-1).

Daarom is de B-factor berekend op de netto-hoogte, de B factor is dan op 0.71 en 0.63 voor beide scenario's respectievelijk het LEW-102-S2 blok en het volledige blok van het Leeuwarden-101 voorkomen. De gesteente-stijfheid is verwerkt in de E factor, die is berekend op 1.79 (Tabel 17-2).

Hierdoor is de kans op een trilling met een magnitude van minimaal 1.5 over de levensduur van het veld, verwaarloosbaar.

Het is dus niet nodig de maximaal realistische magnitude te schatten.

Het gevolg is dat een Niveau 2 analyse niet nodig is. Deze conclusie is schematisch weergegeven in Figuur 17-1.



Figuur 17-1 SRA beslisboom toegepast voor Leeuwarden-101 Ten Boer (volledig blok). De uitkomst is Categorie-I.

Tabel 17-2 Parameters voor SRA voor Leeuwarden-101 Ten Boer. De analyse is uitgevoerd voor twee gevallen, een 'Low case' met een relatief klein breukblok rond put LEW-102-S2, en een 'High case' met het gehele blok; in de high case is het wat waarschijnlijker dat er een vroege abandonnering door waterinflux plaatsvindt, daarom is de Dp/Pini daar wat kleiner (vgl. paragraaf 15.2).

Case		Leeuwarden-101 LEW-102-S2 Block	Leeuwarden-101 Full Block
Depth (GWC)	[mTVDss]	2410	2410
Initial pressure	[bar]	250	250
Dp/Pini	[-]	94%	70%
Total Fault Length	[m]	4526	12112
Longest Fault	[m]	1724	4440
Area @ GWC	[km2]	1.8	8.7
H (bruto)	[m]	45	45
H (netto)	[m]	16.8	16.8
B factor	[-]	0.71	0.63
Data sources E		APS-02 RO	APS-02 RO
		APS-02 ZE21	APS-02 ZE21
		GSB-01 RO	GSB-01 RO
		GSB-01 ZE21	GSB-01 ZE21
Overburden, Vp	[m/s]	5305	5305
Overburden, Vs	[m/s]	2964	2964
Overburden, rho	[kg/m3]	2796	2796
Reservoir, Vp	[m/s]	4054	4054
Reservoir, Vs	[m/s]	2436	2436
Reservoir, rho	[kg/m3]	2436	2436
Static E Overburden	[GPa]	39.70	39.70
Static E Reservoir	[GPa]	22.20	22.20
E factor	[-]	1.79	1.79

Historic Seismicity?		N	N
Mmax_hist		N/A	N/A
Num events > 1.5		0	0

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

De gebruikte hoogte is de netto hoogte van de Ten Boer. De Slochteren doet, zoals boven besproken, niet mee aan dit depletieproces. Bij de inschatting van de breuklengte is in de 'High Case' een ruime schatting van de lengte van de westelijke randbreuk genomen. Bovendien is in beide gevallen een breuk tussen de LEW-101 en LEW-102 blokken aangenomen, waarvan het bestaan niet zeker is (zie bijlage, hoofdstuk 14). Ook dit maakt het resultaat een bovenschatting.

17.2.2 Niveau 2: Risico Classificatie

Een niveau 2 analyse is niet nodig.