Vermilion Energy Netherlands

Actualisatie Winningsplan Opeinde-Zuid en Middelburen

Versie 4.0

6 augustus 2018

Inhoudsopgave

Inhoudsopgave 2
Samenvatting 5
Formulier aanvraag instemming winningsplan 7
1 Inleiding 10
1.1 Doel van het Winningsplan 10
1.2 Leeswijzer 10
2 Plaats van winning 12
2.1 Voorkomens in dit winningsplan 12
2.2 Overzicht ligging voorkomens, gasputten 12
2.3 Schematische weergave gas-behandeling en afvoer 15
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) 18
3.4 Plaats en wijze waarop koolwaterstoffen in put treden 18
3.5 Putbehandelingen 19
4 Ondergrond 20
4.1 Inleiding: hoe worden de ondergrond-eigenschappen gemeten 20
4.2 Geologie en gesteente-eigenschappen van het voorkomen 20
4.2.1 Gesteente-afzetting: reservoir-formaties en afsluitende lagen 20
4.2.2 Structuur 22
4.2.3 Bron koolwaterstoffen en migratie(patronen) 22
4.2.4 Geologische doorsnede van voorkomen(s) 23
4.3 Gesteente-eigenschappen van de bovenliggende lagen 27
4.4 Andere gebruiksmogelijkheden van de ondergrond 28
5 Ontwikkelingsvooruitzichten 29
5.1 Inleiding 29
5.2 Historische Productie 29
5.2.1 Opeinde-Zuid 29
5.2.2 Middelburen 29
5.3 Onzekerheden 30
5.4 Winningsstrategie & reservoir management 30
5.5 Winningssnelheid (hoeveelheden per voorkomen/per jaar) 31
5.5.1 Opeinde-Zuid 31
5.5.2 Middelburen 32
5.6 Duur van de winning 36
5.7 Jaarlijks eigengebruik bij winning 37
5.8 Jaarlijks bij winning afgeblazen/afgefakkelde koolwaterstoffen 37
5.9 Stoffen die jaarlijks worden mee geproduceerd 37
5.10 Jaarlijks bij winning in de ondergrond terug te brengen delfstoffen en andere stoffen 37

6 Bodemdaling 40
6.1 Inleiding: hoe komt bodemdaling tot stand 40
6.1.1 Gaswinning 40
6.1.2 De oorzaken van bodemdaling 41
6.1.3 Autonome bodemdaling 41
6.1.4 Meten en voorspellen van bodemdaling 43
6.2 Gemeten historische bodemdaling 43
6.3 Modelberekening toekomstige bodemdaling 44
6.3.1 Bodemdalingsmodel 44
6.3.2 Bodemdalingsberekening per voorkomen 44
6.4 Overzicht resultaten bodemdalingsberekening 52
6.5 Monitoring van bodemdaling 59
6.6 Mogelijke gevolgen van de verwachte bodemdaling 59
6.6.1 Gevolgen voor gebouwen en infrastructuur 59
6.6.2 Gevolgen voor natuur en milieu 59
6.7 Maatregelen om (gevolgen van) bodemdaling te voorkomen of te beperken 59
7 Bodemtrilling 61
7.1 Inleiding: hoe komen bevingen ten gevolge van gaswinning tot stand 61
7.2 Historische bevingen in de voorkomens van dit winningsplan 61
7.3 Algemeen kader voor Seismische Risico Analyse 62
7.4 Monitoring van bodemtrillingen 63
7.5 Mogelijke gevolgen van bevingen ten gevolge van gaswinning uit de voorkomens in dit winningsplan 63
7.5.1 Schade aan openbare infrastructuur door bevingen ten gevolge van gaswinning 63
7.5.2 Schade aan bouwwerken door bevingen ten gevolge van gaswinning 64
7.5.3 Schade aan natuur en milieu door bevingen ten gevolge van gaswinning 64
7.6 Maatregelen om (de gevolgen van) bodemtrillingen te voorkomen of te beperken 64
8 Overige Omgeving Aspecten 65
8.1 Inleiding 65
8.2 Bodem / Grondwaterverontreiniging 65
8.3 Luchtverontreiniging 65
8.4 Oppervlaktewaterverontreiniging 66
8.5 Externe veiligheid 66
8.6 Natuur 66
8.7 Locaties 66
8.8 Schade-afhandeling 66
8.9 Gedragscode 67
9 Verklarende woordenlijst 68
10 Referenties 69
11 Bijlage: Seismische Risico Analyse: Details en Achtergronden 70
11.1 Algemeen kader voor Seismische Risico Analyse 70
11.2 Seismische Risico Analyse voorkomen Opeinde-Zuid 70

11.3 Seismische Risico Analyse voorkomen Middelburen Slochteren 73
11.4 Seismische Risico Analyse voorkomen Middelburen Ten Boer 80
12 Bijlage: Locatie Plattegrond Mijnbouwlocatie 'Middelburen 1' 83
12.1 Locatiekaart van Mijnbouwlocaties 'Middelburen 1' en 'Nijega 1/6/8' 83
12.2 Plattegrondtekening Mijnbouwlocaties 'Middelburen 1' en 'Nijega 1/6/8' 83
13 Bijlage: Proces-stroomdiagram van de Middelburen 1 aardgaswinninglocatie 86
14 Bijlage: Schematische voorstelling putverbuizing(en) 87

Samenvatting

Dit winningsplan is een actualisatie van het winningsplan Opeinde-Zuid en Middelburen d.d. 23 augustus 2016.

De actualisatie is van belang omdat de productie van de bestaande putten anders is dan verwacht. Verder ziet Vermilion Energy Netherlands B.V. (Vermilion) mogelijkheden om de productie uit het gasvoorkomen Middelburen te optimaliseren door middel van wijzigingen in de bestaande putten en / of door het boren van een side-track in het Middelburen voorkomen. Deze nieuwe inzichten vereisen een actualisatie van de productie- en de bodemdalingsvoorspellingen.

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, de mate van bodemdaling en het risico op aardbevingen.

De maximale hoeveelheid productie en de uiterlijke productie datum staan aangegeven in de tabel hieronder.

Voorkomen: Opeinde-Zuid, formatie Vlieland		
Productie tot uiterlijk:	2036	
Hoeveelheid productie:	1000	miljoen nm³
waarvan na 1-1-2018:	62	miljoen nm³
Seismisch Risico Categorie:	Categorie I	
Verwachte maximale bodemdaling:	4	cm
waarvan na 1-1-2018 verwacht maximaal:	<1	cm
Samengestelde bodemdaling verwacht maximaal (*):	9	cm
waarvan na 1-1-2018 verwacht maximaal:	3	cm

Voorkomen: Middelburen, formatie Slochteren + Ten Boer		
Productie tot uiterlijk:	2028	
Hoeveelheid productie:	518	miljoen nm³
waarvan na 1-1-2018:	348	miljoen nm³
Seismisch Risico Categorie:	Categorie I	
Verwachte maximale bodemdaling:	6	cm
waarvan na 1-1-2018 verwacht maximaal:	3	cm
Samengestelde bodemdaling verwacht maximaal (*):	12	cm
waarvan na 1-1-2018 verwacht maximaal:	4	cm

* Er zijn samenstellingseffecten met NAM winning Ureterp, en met Nijega

Vermilion verwacht tussen de 10 en 62 miljoen nm³ aardgas te winnen over de periode 2018-2036 uit het voorkomen Opeinde-Zuid. Vermilion verwacht tussen de 96 en 348 miljoen nm³ aardgas te winnen over de periode 2018-2028 uit het voorkomen Middelburen, formatie Slochteren + Ten Boer. De uiteindelijke hoeveelheid te produceren gas zal afhangen van het succes van de operaties om het gas te produceren.

De hierboven genoemde bodemdaling is de daling aan het eind van de levensduur van het gasvoorkomen. De maximale voorspelde bodemdaling in het diepste punt van de bodemdalingskom boven de voorkomens Opeinde-Zuid en Middelburen is 12 cm, waarvan 8 cm op 1 januari 2018 al gerealiseerd is. De daadwerkelijk optredende bodemdaling wordt gemonitord via een meetnet van Vermilion, dat wordt gecontroleerd door Staatstoezicht op de Mijnen.

Het seismische risico voor het Opeinde-Zuid voorkomen is Categorie I, de laagste risico categorie. Het seismische risico voor het Middelburen voorkomen, formatie Slochteren, is Categorie I, de laagste risico categorie. Het seismische risico voor het Middelburen voorkomen, formatie Ten Boer, is Categorie I,

de laagste risico categorie. Het daadwerkelijk optreden van bodemtrillingen wordt gemonitord via het KNMI-meetnet.

Voor zowel bodemdaling als bodemtrillingen wordt geen schade verwacht. Mochten omwonenden toch een effect of schade ondervinden, dan kan dat gemeld worden bij Vermilion, of bij de Commissie Bodemdaling Aardgaswinning Fryslân.

Het winningsplan behoeft de instemming van de Minister van Economische Zaken en Klimaat. 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. Daarnaast wordt advies gevraagd aan de overheden binnen het gebied waar het winningsplan betrekking op heeft. De gasvoorkomens zijn gelegen onder het grondgebied van:

Provincie:	Friesland
Waterschap:	Wetterskip Fryslân
Gemeenten:	Smallingerland

Op het definitieve besluit van de Minister is beroep mogelijk bij de afdeling bestuursrechtspraak van de Raad van State.

Formulier aanvraag instemming winningsplan

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

Elektronisch in te dienen bij:

De Minister van Economische Zaken en Klimaat
Directoraat-Generaal voor Energie, Telecom en Mededinging
Directie Energie en Omgeving

Artikel 1)	***Onderwerp***	***Beschrijving***
Mw 34 lid 1	**Verzoek om instemming voor een wijziging / actualisatie van het winningsplan** Opeinde-Zuid en Middelburen	☐ een winningsplan voor voorkomens in het continentaal plat vanaf de 3 zeemijlszone ☒ een winningsplan voor voorkomens in Nederlands territoir tot 3 zeemijl De wijziging / actualisatie bestaat uit een actualisatie van de seismische risico analyse, productie- en bodemdalings-voorspellingen naar aanleiding van het reservoir gedrag.
	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	
	A1.5) Fax	
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) Voorkomens koolwaterstoffen**	Opeinde-Zuid en Middelburen
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 neemt plaats op bestaande winning ☐ 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 door middel van (een) mijnbouwwerk(en)	2
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, gasputten	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 lid1l	Jaarlijkse kosten onderverdeeld in investeringen, onderhoud, bedrijfsvoering	Confidentiële bijlage
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 alsmede de daarmee verband houdende activiteiten	6.1
Mb 24 lid 1m Mb 24 lid 1n Mb 24 lid 1o	Gekalibreerde bodemdaling en bodemdalingprognoses (uiteindelijk verwachte mate van bodemdaling)	**Error! Reference source not found.**, 6.4
Mb 24 lid 1q	Omvang en aard van de schade	6.6
Mb 24 lid 1r	Maatregelen om bodemdaling te voorkomen / te beperken	6.7
Mb 24 lid 1s Mw 35 lid 1f	Maatregelen die gevolgen van schade door bodemdaling beperken of voorkomen	6.7

	Gegevens inzake bodemtrilling als gevolg van de winning van koolwaterstoffen.	**Paragraaf**
Mw 35 lid 1f	Aard van de bodemtrilling alsmede de daarmee verband houdende activiteiten	7.1
Mb 24 lid 1p	Risicoanalyse bodemtrilling	7.3
Mb 24 lid 1q	Omvang en aard van de schade	7.5
Mb 24 lid 1r	Maatregelen om bodemtrillingen te voorkomen / te beperken	7.6
Mb 24 lid 1s Mw 35 lid 1f	Maatregelen die gevolgen van schade door bodemtrillingen beperken of voorkomen	7.6

	Overige veiligheidsaspecten	**Paragraaf**
Mw 35 lid 1g	De risico's voor omwonenden, gebouwen of infrastructurele werken of de functionaliteit daarvan met een risicobeoordeling, voor zover het winnen van delfstoffen niet geschiedt in het continentaal plat	8

Ondertekening Naam: [redacted] Functie: Commercial Manager	Datum: 6 augustus 2018 Plaats: Amsterdam

1 Inleiding

Dit winningsplan is een actualisatie van het Winningsplan Opeinde-Zuid en Middelburen d.d. 23 augustus 2016. Het productiegedrag van het Middelburen voorkomen, Ten Boer formatie, gaat langer door dan in het vorige winningsplan. Verder ziet Vermilion mogelijkheden om meer gas uit het Middelburen voorkomen, Slochteren formatie, te produceren via het boren van een aftakking.

De ontwikkelingsplannen, productie voorspellingen, bodemdaling voorspellingen en seismische risico analyse zijn geactualiseerd naar aanleiding van deze ontwikkelingen en gedocumenteerd in dit Winningsplan.

1.1 Doel van het Winningsplan

Vermilion Energy Nederland B.V. (Vermilion) 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.

De winningsvergunning Leeuwarden omvat meerdere gasvoorkomens met verschillende winningsplannen. Dit winningsplan is een actualisatie voor alleen de voorkomens Opeinde-Zuid en Middelburen. De andere voorkomens worden niet behandeld in dit winningsplan.

De redenen voor de actualisatie van het Winningsplan voor de voorkomens Opeinde-Zuid en Middelburen zijn:

- Productie uit het Middelburen voorkomen, formatie Ten Boer, zal langer doorgaan dan beschreven in het vorige winningsplan.
- Er is nog gas aanwezig in het Middelburen voorkomen, formatie Slochteren, wat geproduceerd kan worden door middel van het boren van een aftakking.
- Deze nieuwe inzichten vereisen een actualisatie van productie- en bodemdalings-voorspellingen.

Tabel 1-1: Geschiedenis winningsplan Opeinde-Zuid en Middelburen.

Datum	Versie	Opmerkingen
2003	1.0	Winningsplan Opeinde-Zuid
30/sep/2008	2.0	Actualisatie Winningsplan Opeinde-Zuid en Middelburen
23/aug/2016	3.0	Actualisatie Winningsplan Opeinde-Zuid en Middelburen
6 augustus 2018	4.0	Winningsplan actualisatie voor de gasvoorkomens Opeinde-Zuid en Middelburen (dit document).

1.2 Leeswijzer

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

De gasvoorkomens Opeinde-Zuid en Middelburen produceren gas vanaf de mijnbouwlocatie Middelburen 1. Op de mijnbouwlocatie Middelburen 1 worden de vloeistoffen van het gas gescheiden. Het gas gaat via een ondergrondse leiding naar het Garijp gas behandelstation en wordt daar verder op export kwaliteit gemaakt samen met het andere gas dat binnenkomt in het Garijp gas behandelstation. Het gas gaat na behandeling en meting via een ondergrondse transportleiding naar de afnemer. Het water en condensaat wordt gescheiden op de locatie Middelburen 1 en opgeslagen in tanks op de locatie Middelburen 1 en daarna per vrachtwagen afgevoerd. Paragraaf 2.2 geeft aan waar de productielocatie, de voorkomens en de producerende putten zich bevinden.

De verwachte bodemdaling door productie uit de voorkomens Opeinde-Zuid en Middelburen wordt beschreven in Hoofdstuk 6. Hierin worden de bodemdalingsresultaten beschreven bij de uiteindelijke minimale reservoirdruk van deze gasvoorkomens. De modellen laten zien dat de maximale

bodemdaling in het diepste punt van de samengestelde bodemdalingskom boven de voorkomens 12 cm zal zijn. De bodemdaling wordt regelmatig gemonitord volgens een meetplan dat is beoordeeld door Staatstoezicht op de Mijnen (SodM).

Hoofdstuk 7 gaat in op de seismische risico analyse. Het seismische risico voor het Opeinde-Zuid voorkomen is Categorie I, de laagste risico categorie. Het seismische risico voor het voorkomen Middelburen, Slochteren formatie, is Categorie I, de laagste risico categorie. Het seismische risico voor het voorkomen Middelburen, Ten Boer formatie, is Categorie I, de laagste risico categorie. Het daadwerkelijk optreden van bodemtrillingen wordt gemonitord via het KNMI-meetnet.

De berekeningen en inschattingen in dit winningsplan 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 zal aangepast worden als nieuwe inzichten tot een wijziging van de dalingsvoorspelling of seismische risicoanalyse leiden, bijvoorbeeld door meetresultaten. 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. Eventuele toekomstige activiteiten op de mijnbouwlocaties (b.v. additionele compressie) of in het gasvoorkomen (b.v. extra putten) zullen de gangbare vergunningsprocedures volgen. De overige benodigde vergunningen en in deze procedures te toetsen waarden, staan beschreven in Hoofdstuk 8. Wanneer sprake is van zowel een wijziging van het winningsplan als aanvragen voor overige vergunningen, worden deze procedures gecoördineerd.

Een klein onderdeel van het winningsplan wordt apart toegezonden aan het Ministerie van Economische Zaken en Klimaat. Dit vertrouwelijke deel bevat bedrijfsgevoelige informatie en kan Vermilion's concurrentiepositie in gevaar brengen. Dit onderdeel is daarom niet openbaar. Het onderdeel bevat informatie over de verwachte productiekosten en investeringskosten, alsmede concurrentiegevoelige details over putten en gasvolumeberekeningen.

2 Plaats van winning

2.1 Voorkomens in dit winningsplan

Dit winningsplan beschrijft de productie uit de Opeinde-Zuid en Middelburen aardgasvoorkomens. Uit het Middelburen voorkomen wordt gas geproduceerd uit de Slochteren en Ten Boer formaties. Uit het Opeinde-Zuid voorkomen wordt gas geproduceerd uit de Vlieland formatie.

De put MBN-01 is in 1979 geboord vanaf de mijnbouwlocatie Middelburen 1, waarbij de aardgasvoorkomens zijn aangetoond. De put MBN-01 heeft van 1981 t/m 1989 uit het Vlieland aardgasvoorkomen geproduceerd dat in dit winningsplan de naam Opeinde-Zuid draagt. De put OPE-03 is geboord in 1980 en produceert sinds dat jaar uit het Opeinde-Zuid aardgasvoorkomen.

De put MBN-01 heeft in 1980 en vanaf 2006 tot in 2010 geproduceerd uit het Middelburen voorkomen, Slochteren formatie. De put MBN-02, geboord in 2009, heeft van 2010 tot in 2012 ook uit dit aardgasvoorkomen geproduceerd. In 2016 is productie gestart uit het Middelburen voorkomen, Ten Boer formatie, met put MBN-01.

De reden van het actualiseren van het bestaande winningsplan is dat de productie uit het voorkomen Middelburen, Ten Boer formatie, hoger is dan eerder verwacht. Verder ziet Vermilion mogelijkheden om meer gas uit het voorkomen Middelburen, Slochteren formatie en Ten Boer formatie, te produceren via het boren van een aftakking. Tevens wordt in deze actualisatie de productieverwachting voor het Opeinde-Zuid voorkomen bijgewerkt t.o.v. de laatste versie uit 2016.

2.2 Overzicht ligging voorkomens, gasputten

De gasvoorkomens Opeinde-Zuid en Middelburen liggen in de winningsvergunning Leeuwarden. Er liggen meerdere gasvoorkomens in de winningsvergunning Leeuwarden maar deze worden niet in dit winningsplan behandeld.

Figuur 2-1 is een topografische kaart met de locatie van de gasvoorkomens Opeinde-Zuid en Middelburen, de mijnbouwlocatie waarvandaan het gasvoorkomen wordt geproduceerd, de putten en de pijpleidingen.

Tabel 2-1 geeft een lijst van de provincies, waterschappen en gemeenten waaronder de gasvoorkomens Opeinde-Zuid en Middelburen zijn gelegen.

Tabel 2-1: Lijst met provincie, gemeente(n) en waterschap(pen) waaronder de gasvoorkomens Opeinde-Zuid en Middelburen zijn gelegen.

Provincie:	Friesland	
Waterschap:	Wetterskip Fryslân	
Gemeenten:	Smallingerland	Zie Figuur 2-2

De kadastrale informatie van de mijnbouwlocatie ‘Middelburen 1’ is gegeven in Tabel 2-2. Bijlage 12 geeft een plattegrondtekening van de mijnbouwlocatie ‘Middelburen 1’.

Tabel 2-3 geeft weer welke putten zijn geboord in de voorkomens Opeinde-Zuid en Middelburen vanaf de mijnbouwlocatie ‘Middelburen 1’ en de huidige status van deze putten. Vermilion ziet mogelijkheden om de productie uit het Middelburen voorkomen te optimaliseren via het boren van een nieuwe put of het boren van een aftakking uit een bestaande put. Dit kan plaatsvinden vanaf 2 bestaande mijnbouwlocaties: de mijnbouwlocatie ‘Middelburen 1’ of de mijnbouwlocatie ‘Nijega 1/6/8’, zie Figuur 2-1. Tabel 2-4 geeft de kadastrale informatie van de mijnbouwlocatie ‘Nijega 1/6/8’. Tabel 2-5 geeft weer welke putten zijn geboord vanaf de mijnbouwlocatie ‘Nijega 1/6/8’ en de huidige status van deze putten. Momenteel produceren de putten vanaf mijnbouwlocatie ‘Nijega 1/6/8’ uit het voorkomen Nijega. Het voorkomen Nijega is geen onderdeel van dit winningsplan en wordt in dit document niet behandeld.

Tabel 2-2: Kadastrale gegevens Mijnbouwlocatie 'Middelburen 1'.

Kadastrale gegevens mijnbouwlocatie 'Middelburen 1'	
Gemeente	Smallingerland
Sectie	A
Perceelnummer	9300 + 13762
Adres	Bij de Steven 26 9206 AX Drachten

Tabel 2-3: Putten geboord vanaf de mijnbouwlocatie Middelburen 1 en de status van deze putten

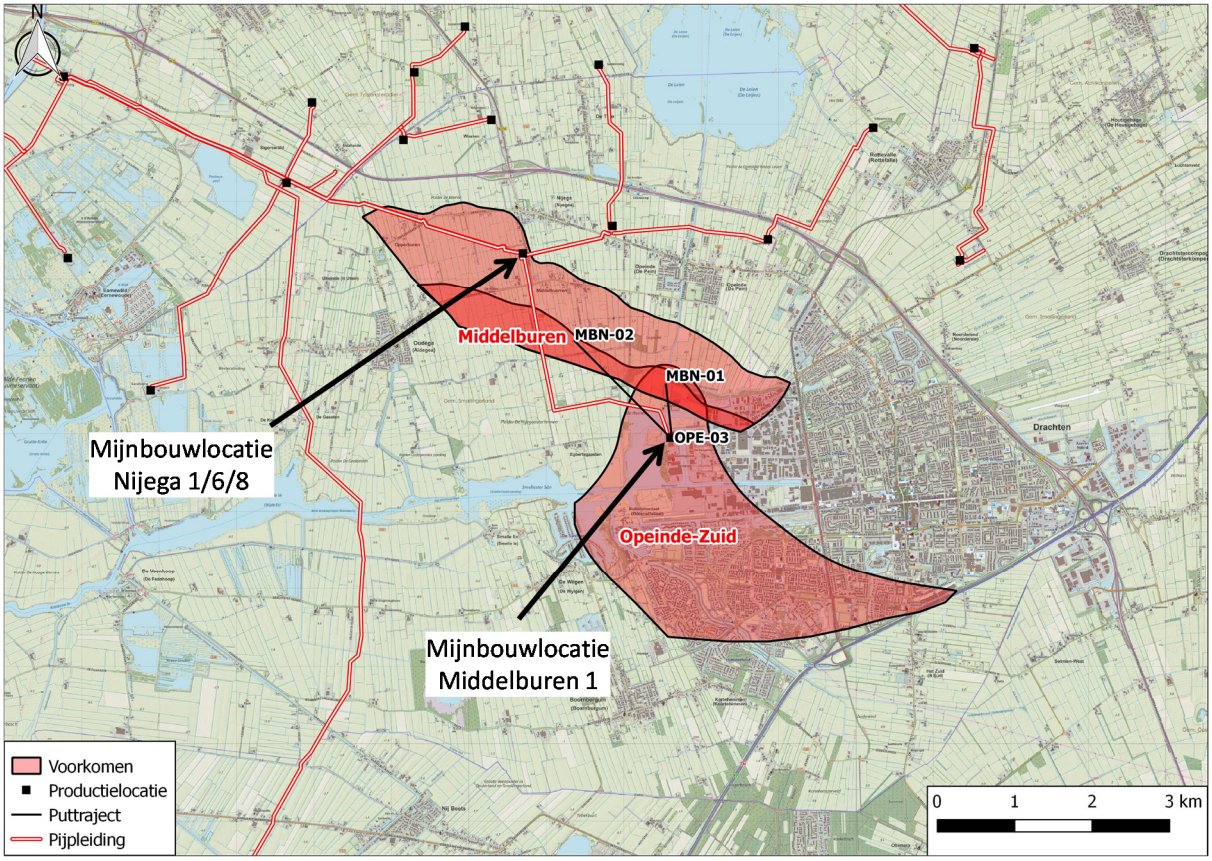
Put	Jaar geboord	Gas voorkomen	Formatie	Status
MBN-01	1979	Middelburen, Opeinde-Zuid	Slochteren, Ten Boer, Vlieland	Productie (Middelburen – Ten Boer)
MBN-02	2009	Middelburen	Slochteren, Ten Boer	Productie (Middelburen – Ten Boer)
OPE-03	1980	Opeinde-Zuid	Vlieland	Productie

Tabel 2-4: Kadastrale gegevens Mijnbouwlocatie 'Nijega 1/6/8'

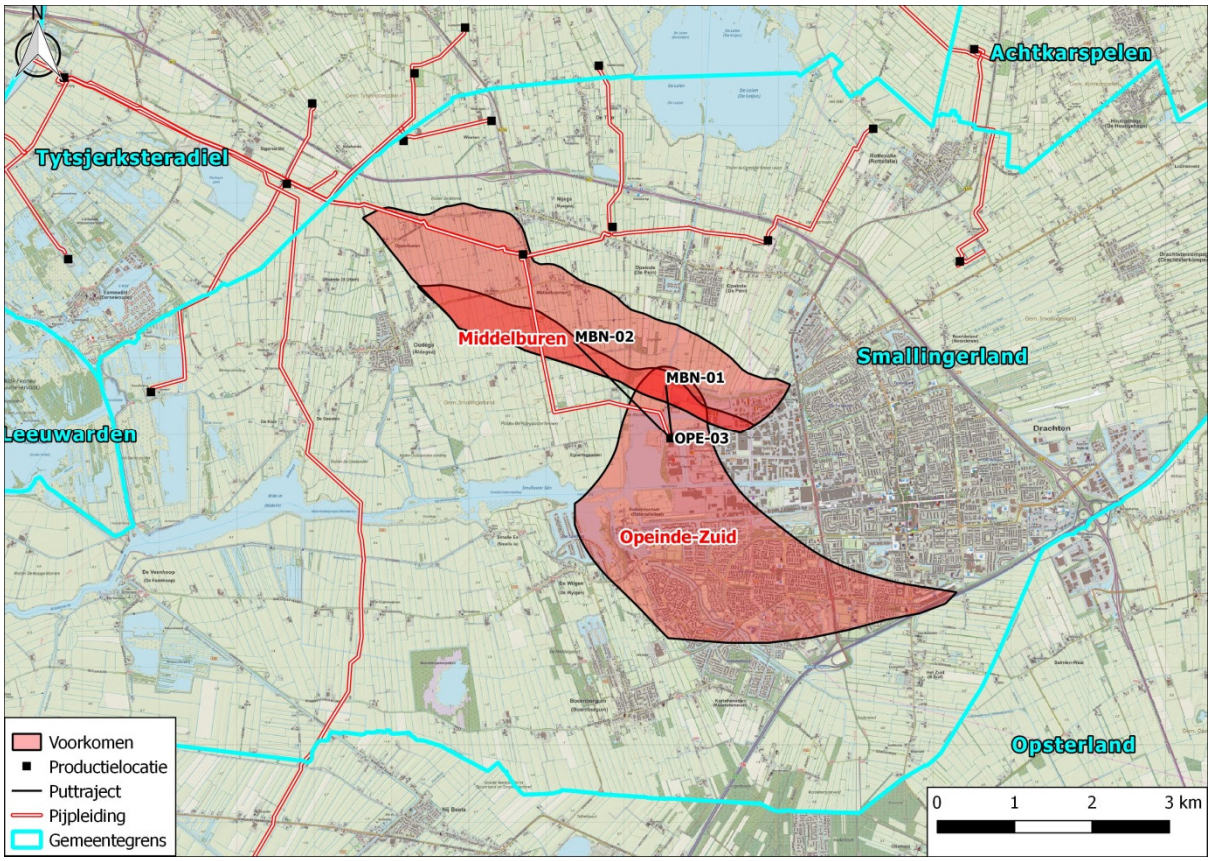
Kadastrale gegevens mijnbouwlocatie 'Nijega 1/6/8'	
Gemeente	Oudega
Sectie	F
Perceelnummer	2148, 2949, 2950
Adres	Kilometerwei 1 9217 VR Nijega

Tabel 2-5: Putten geboord vanaf de mijnbouwlocatie 'Nijega 1/6/8' en de status van deze putten. Op dit moment produceren deze putten uit het Nijega deelvoorkomen, dat in een ander winningsplan wordt behandeld. Het is mogelijk dat voor de geplande zijtak een van deze putten als "bronput" gebruikt wordt.

Put	Jaar geboord	Gas voorkomen	Formatie	Status
NGA-01A	1969	Nijega	Vlieland (NGA)	Productie
NGA-06	1977	Nijega	Vlieland (NGA)	Tijdelijk ingesloten
NGA-08	1980	Nijega	Vlieland (NGA)	Productie



Figuur 2-1: Topografische kaart met gasvoorkomens Middelburen en Opeinde-Zuid.



Figuur 2-2: Topografische kaart met gasvoorkomens Middelburen en Opeinde-Zuid en gemeenten.

2.3 Schematische weergave gas-behandeling en afvoer

Op de mijnbouwlocatie 'Middelburen 1' wordt het aardgas van de mee geproduceerde vloeistoffen gescheiden.

Bijlage 13 toont het proces-stroomdiagram van de mijnbouwlocatie Middelburen 1.

Het gas stroomt uit de gasvoerende laag via de perforaties in de diepste verbuizing van de geboorde put (zie schema's in paragraaf 3.3). Vanuit de verbuizing stroomt het gas in de zogenaamde tubing (ook wel 'stijgbuis' genoemd). Via de tubing stroomt het gas naar de oppervlakte en via een bovengrondse leiding naar een gas-vloeistof afscheider.

De gas-vloeistof afscheider scheidt deze stroom in een aardgasstroom en in een stroom bestaande uit productiewater en condensaat.

Het afgescheiden productiewater wordt opgeslagen in de bovengrondse productiewatertanks. Het productiewater wordt periodiek per tankwagen afgevoerd naar een erkende verwerker of wordt geïnjecteerd in een waterinjectieput van Vermilion.

Een gedeelte van het afgescheiden condensaat wordt opgeslagen in de bovengrondse opslagtanks. Dit condensaat wordt periodiek per tankwagen afgevoerd naar een erkende verwerker. Een ander gedeelte van het condensaat stroomt met het gas naar de aardgasbehandelingsinstallatie Garijp.

Het aardgas wordt in de afgaande aardgasleiding gebracht en via een ondergrondse aardgastransportleiding getransporteerd naar de aardgasbehandelingsinstallatie van Vermilion in Garijp, waar het aardgas na verdere behandeling wordt afgeleverd aan het transportnetwerk van de Gasunie.

3 Boringen

3.1 Inleiding: Algemene beschrijving van een put

Figuur 3-1 is een schematische weergave van een gasproductieput. 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 verbuizingen wordt voorkomen, dat stroming van vloeistoffen optreedt tussen verschillende aardlagen via de ruimte tussen boorgatwand en verbuizingen. Een liner is een metalen verbuizing die niet helemaal tot aan de oppervlakte gaat maar eindigt in de laatste metalen verbuizing. De liner wordt vast gecementeerd in de laatste metalen verbuizing en de boorgatwand.

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

De diepte waar een nieuwe buizenserie wordt aangebracht, hangt af van de diepte van het gat, de eigenschappen, de dikte en de druk van de vloeistoffen in de aardlagen. Nadat de laatste verbuizing is gecementeerd wordt de put afgewerkt.

Het aardgas wordt door een productie stijgbuis, ook wel tubing genoemd, geproduceerd. De productie stijgbuis zit onderin de put met een productie packer vast aan de metalen verbuizing. De ruimte tussen de productie stijgbuis en de metalen verbuizing wordt A-annulus genoemd.

Er worden perforaties gemaakt in de metalen verbuizing tegenover het gasvoorkomen. Door deze gaten stroomt het gas van het voorkomen de productieput in.

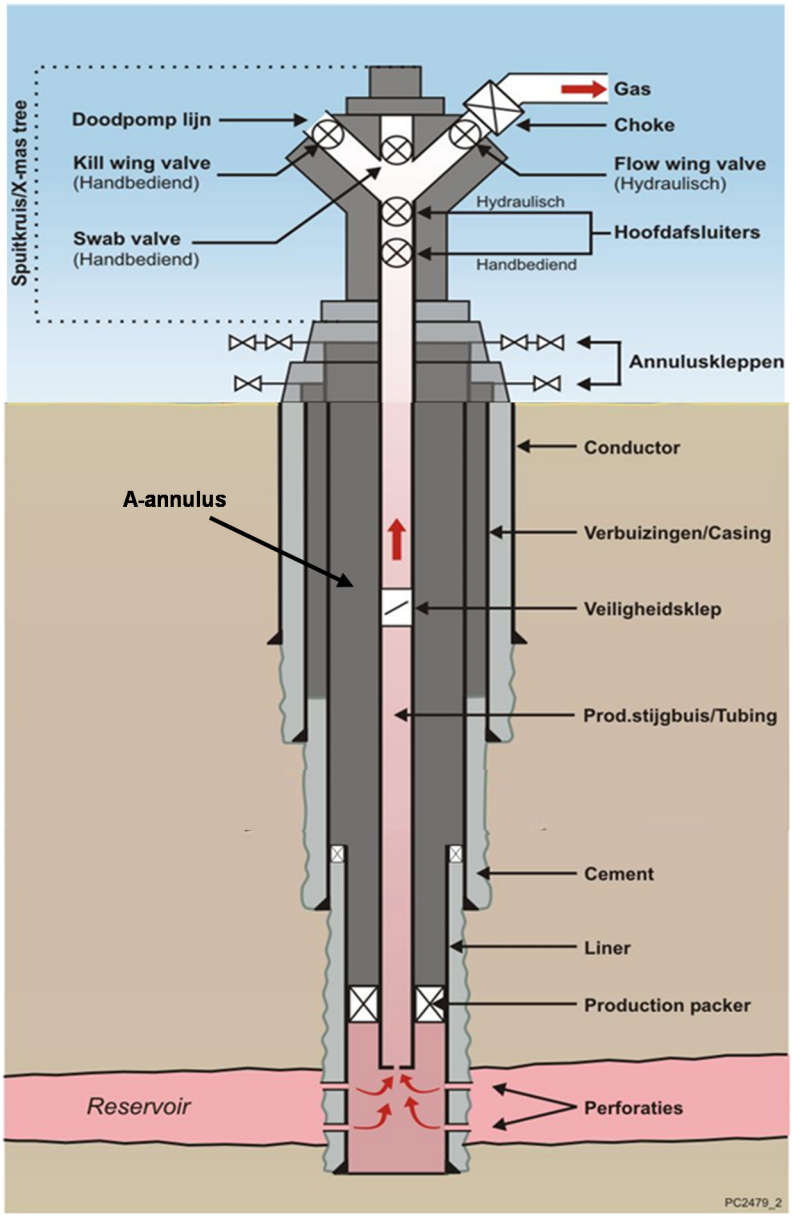
De put is voorzien van beveiligingskleppen, die met behulp van hydraulische druk kunnen worden geopend, respectievelijk kunnen worden opengehouden, en voorts (in noodgevallen) kunnen worden dicht gestuurd.

In de put zijn de volgende beveiligingskleppen aanwezig:

- een ondergrondse veiligheidsklep in de stijgbuis van de put
- er zijn 2 hoofdafsluiters op het spuitkruis van de put; de bovenste hoofdafsluiter wordt hydraulisch aangestuurd, de onderste hoofdafsluiter is handbediend.

Een producerende put is aan de oppervlakte voorzien van kraan- en afsluitwerk, het spuitkruis, om de gasstroom te verwerken. Het spuitkruis wordt ook wel de X-mas tree genoemd.

De put heeft een aansluiting voor het doodpompen van de put, ook well Kill Wing Valve genoemd. Dit doodpompen kan in uitzonderingsgevallen nodig zijn bij reparatie of storing aan de put.



Figuur 3-1: Schematische weergave van een gasproductieput.

3.2 Overzicht boringen in voorkomen

Tabel 3-1 is een overzicht van de geboorde putten in de voorkomens Opeinde-Zuid en Middelburen.

De put MBN-01 is in 1979 geboord vanaf de mijnbouwlocatie Middelburen 1, waarbij de twee aardgasvoorkomens zijn aangetoond. De put MBN-01 heeft van 1981 tot en met 1989 uit het Vlieland aardgasvoorkomen geproduceerd dat in dit winningsplan de naam Opeinde-Zuid draagt. De put OPE-03 is geboord in 1980 en produceert sinds dat jaar uit het Opeinde-Zuid aardgasvoorkomen.

De put MBN-01 heeft in 1980 en vanaf 2006 tot in 2010 geproduceerd uit de Slochteren formatie van het Middelburen aardgasvoorkomen waarna de put uitwaterde. De put MBN-02, geboord in 2009, heeft van 2010 tot in 2012 ook uit dit aardgasvoorkomen geproduceerd tot dat de put uitwaterde.

In 2016 is productie gestart uit het de Ten Boer formatie in het Middelburen voorkomens met put MBN-01 nadat de Slochteren formatie was afgesloten. In 2017 werd de Slochteren formatie afgesloten input MBN-02 en de Ten Boer formatie geopend. Hierna begon put MBN-02 ook productie uit de Ten Boer formatie van het Middelburen voorkomen.

Bijlage 14 laat de schematische putverbuizing zien van de putten.

Tabel 3-1: Status putten in de gasvoorkomens Opeinde-Zuid en Middelburen.

Put	Jaar geboord	Gas voorkomen	Formatie	Cumulatieve gas productie per 31 dec 2017 [x10^6 nm^3]	Status
MBN-01	1979	Opeinde-Zuid	Vlieland	55	Afgesloten in 1989
		Middelburen	Slochteren	84	Afgesloten in 2016
			Ten Boer	13	Productie
MBN-02	2009	Middelburen	Slochteren	67	Afgesloten in 2017
			Ten Boer	6	Productie
OPE-03	1980	Opeinde-Zuid	Vlieland	883	Productie

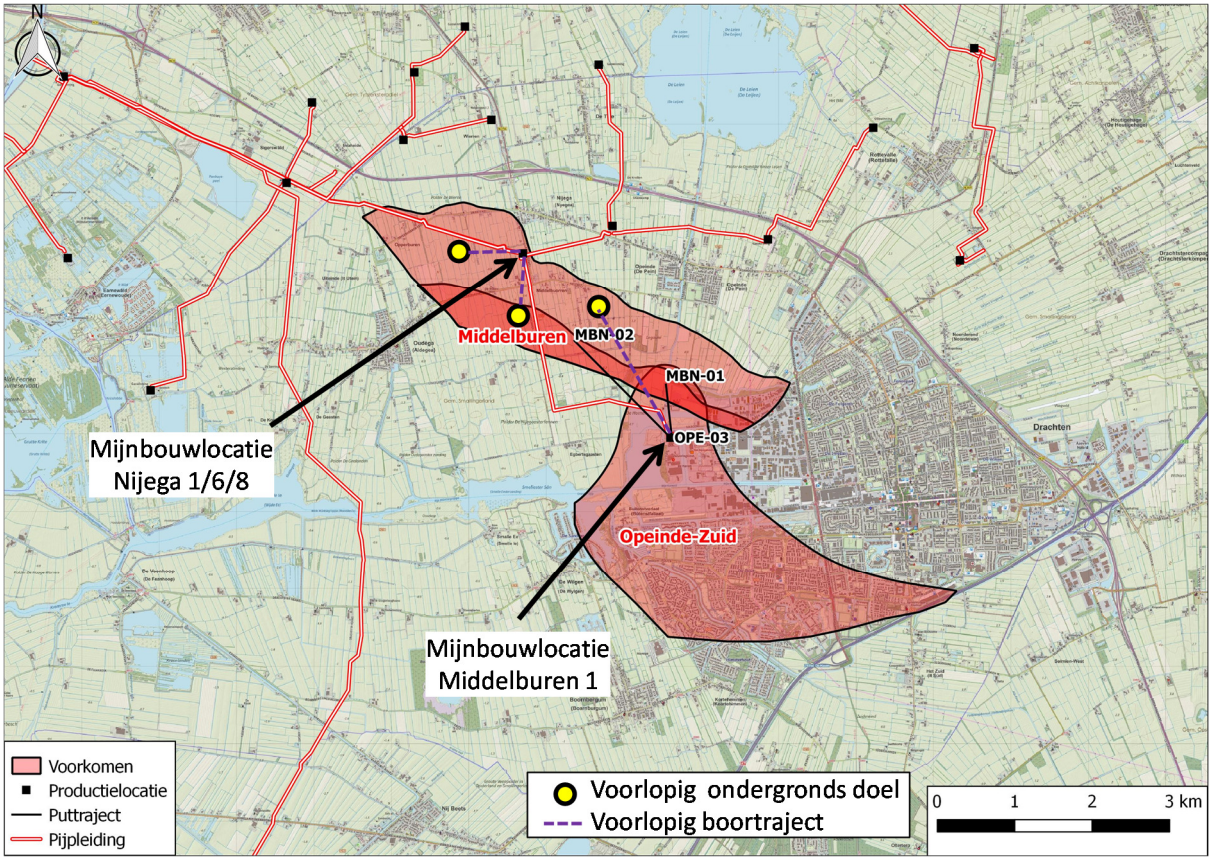
De Ten Boer formatie uit het Middelburen voorkomen kan waarschijnlijk niet optimaal geproduceerd worden met de putten MBN-01 en MBN-02. Verder zit er nog een hoeveelheid gas in de Slochteren formatie van het Middelburen voorkomen welke niet geproduceerd is door de putten MBN-01 en MBN-02. Vermilion onderzoekt de mogelijkheden om het gasvoorkomen Middelburen verder optimaal te produceren. Dit kan eventueel zijn via een side-track uit een bestaande put van de mijnbouwlocatie Middelburen 1 of een side-track uit een put van de mijnbouwlocatie Nijega 1/6/8, zie Figuur 3-2. De putten NGA-01, NGA-06 en NGA-08 zijn geboord vanaf op de mijnbouwlocatie Nijega 1/6/8 in het Nijega voorkomen. Bij het schrijven van dit winningsplan wordt nog onderzocht wat de beste oplossing is om het Middelburen voorkomen optimaal te produceren en vanaf welke mijnbouwlocatie de additionele put(ten) het beste geboord zouden kunnen worden. Figuur 3-2 geeft mogelijke voorlopige opties schematisch weer.

3.3 Schematische voorstelling putverbuizing(en)

De schematische putverbuizingen zijn weergegeven in Bijlage 14.

3.4 Plaats en wijze waarop koolwaterstoffen in put treden

De completering van de putten bestaat uit perforaties door de mantelbuis die het gasvoorkomen in verbinding stelt met de productie-stijgbuis. Via de productie-stijgbuis worden de koolwaterstoffen naar het oppervlak geproduceerd. De putschema's in Bijlage 14 laat dit zien voor de putten.



Figuur 3-2: Topografische kaart met gasvoorkomen Middelburen en Opeinde-Zuid en de relevante mijnbouwlocaties voor deze voorkomens. In bovenstaande figuur zijn voorlopige ondergrondse doelen aangegeven in gele cirkels en de voorlopige boortrajecten in paarse gestippelde lijnen. De ondergrondse locaties en boortrajecten van mogelijke aftakkingen worden geoptimaliseerd op basis van verdere productie uit de voorkomens, en kunnen dus enigszins afwijken van de hier getoonde.

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 routinehandeling, 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 het voorkomen met de put in communicatie te brengen. Dit duurt één of twee dagen en wordt uitgevoerd door een kleine onderhoudsploeg (er is geen boortoren nodig).

Verder kan het gebeuren dat een gedeelte van de perforaties geen gas meer produceren maar water. Deze perforaties kunnen dan afgesloten worden met behulp van een plug en / of cement in de put.

Tijdens het leven van de put kan het nodig zijn de diameter van de productie stijgbuis aan te passen, groter als de productiviteit van het voorkomen 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 gedurende de levensduur van een put diverse andere onderhoudshandelingen plaatsvinden aan verbuizingen, kleppen, etc.

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 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 fysische eigenschappen van gesteente, zoals dichtheid en snelheid (druk- en schuifgolven), zijn belangrijke parameters voor het bepalen van gesteente-eigenschappen als porositeit, saturatie en permeabiliteit (doorlaatbaarheid). Deze fysische eigenschappen worden gemeten door middel van boorgatmetingen die verkregen zijn na het boren van de put in het voorkomen Brakel.

Uit deze boorgatmetingen worden de gesteente-eigenschappen berekend rond de boorgaten. De eigenschappen van het voorkomen worden gecorreleerd tussen de verschillende boorgaten om een model van de ondergrond te maken. Inherent hieraan zijn relatief grote onzekerheden, omdat de eigenschappen van enkele putten over het hele voorkomen geëxtrapoleerd worden.

Het voorkomen Opeinde-Zuid heeft een oppervlakte van ongeveer $7{,}6 \times 10^6$ m^2. Het voorkomen Middelburen heeft een oppervlakte van ongeveer $1{,}5 \times 10^6$ m^2. Een boorgat heeft een diameter van gemiddeld 8½ inch of 0.22 m. Dit boorgat heeft dus een oppervlakte van 0.0366 m^2 in het reservoir doorboord en bemonsterd. In totaal zijn er 3 putten geboord rond de voorkomens. Deze berekening laat zien dat de put maar een klein oppervlakte van het reservoirgesteente bemonstert.

4.2 Geologie en gesteente-eigenschappen van het voorkomen

Opeinde-Zuid voorkomen
Het Opeinde-Zuid voorkomen is gelegen in het zuidoostelijke gedeelte van de Leeuwarden concessie. Het voorkomen is in 1979 ontdekt met de put Middelburen-01; er werd gas gevonden in de Vlieland zandsteen. De put Opeinde-03, die in 1980 geboord werd, heeft ook gas aangetroffen in de Vlieland zandsteen.

Middelburen voorkomen
Het Middelburen voorkomen is gelegen in het zuidoostelijke gedeelte van de Leeuwarden concessie. Er wordt gas geproduceerd uit twee verschillende formaties: Slochteren en Ten Boer. Het Middelburen voorkomen is geïsoleerd van de nabijgelegen Akkrum Slochteren accumulatie door een spil zone en een structurele afsluiting. Het Middelburen voorkomen is ontdekt in 1979 door de put MBN-01 die gas aantrof in de Ten Boer en Slochteren zandstenen, naast de ontdekking van gas in de Vlieland zandsteen (het Opeinde-Zuid voorkomen zoals eerder genoemd).

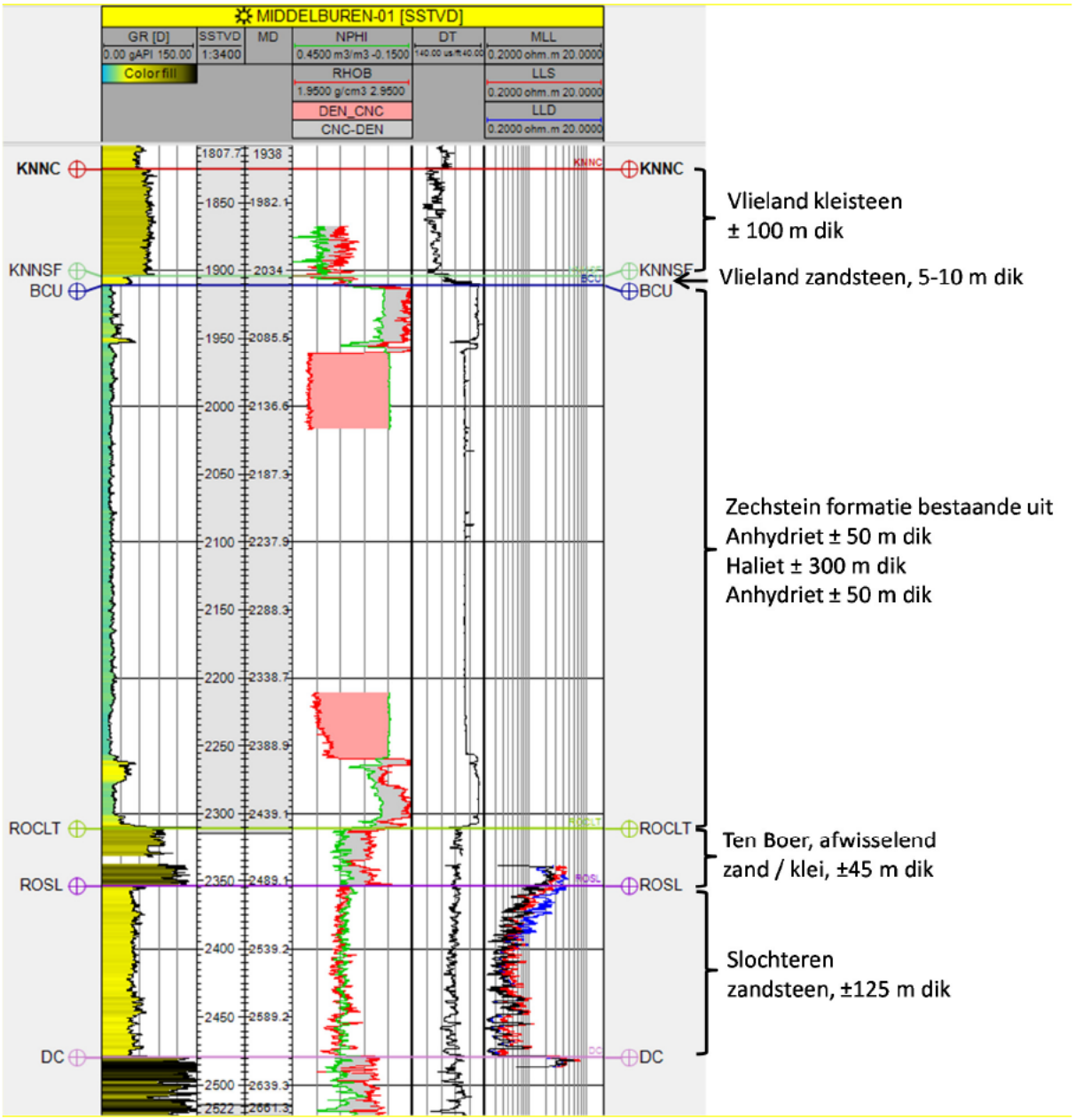
De gasvoorkomens zijn gekarteerd op basis van seismiek die is gekoppeld aan de omringende putten.

4.2.1 Gesteente-afzetting: reservoir-formaties en afsluitende lagen

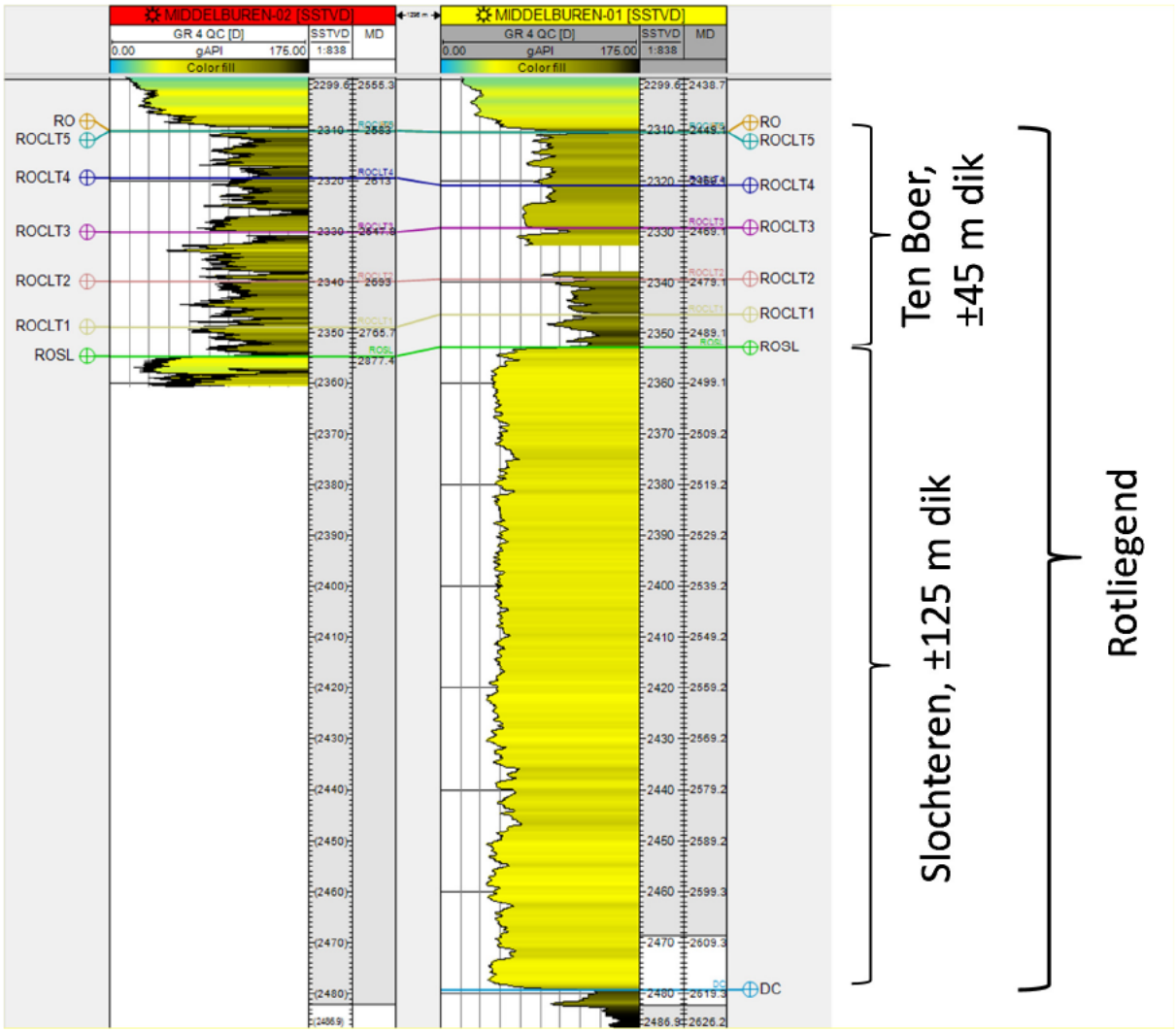
Opeinde-Zuid voorkomen (zie Figuur 4-1)
In het Opeinde-Zuid voorkomen bevindt het gas zich in de *Vlieland zandsteen (KNNSF)*. Deze laag is tussen de 5 en 10 meter dik in dit gebied. De afsluitende laag wordt gevormd door de bovenliggende *Vlieland kleisteen (KNNC).* Deze is ongeveer 100 meter dik in dit gebied. Deze kleisteen is impermeabel.

Middelburen voorkomen (zie Figuur 4-2)
In het Middelburen voorkomen bevindt het gas zich in de Rotliegend groep, die bestaat uit gelaagde pakketten van clastische sedimenten en enkele evaporieten. De *Ten Boer member (ROCLT)* is de bovenste laag van de Rotliegend en bestaat uit afwisselende lagen van zand- en kleistenen. De *Ten Boer* is ongeveer 45 meter dik, en afgezet in vijf cycli. De *Slochteren Member* (ROSL) is de

onderliggende zandsteen van ongeveer 125 meter dik. De afsluitende laag van het Middelburen voorkomen wordt gevormd door de bovengelegen Zechstein anhydriet (ZEZ1W). Daarboven bevinden zich nog enkele dikke lagen anhydriet en haliet, welke impermeabel zijn.



Figuur 4-1: Reservoir-formaties en afsluitende lagen van de voorkomens Opeinde-Zuid en Middelburen.



Figuur 4-2: Middelburen Ten Boer en Slochteren reservoirs.

4.2.2 Structuur

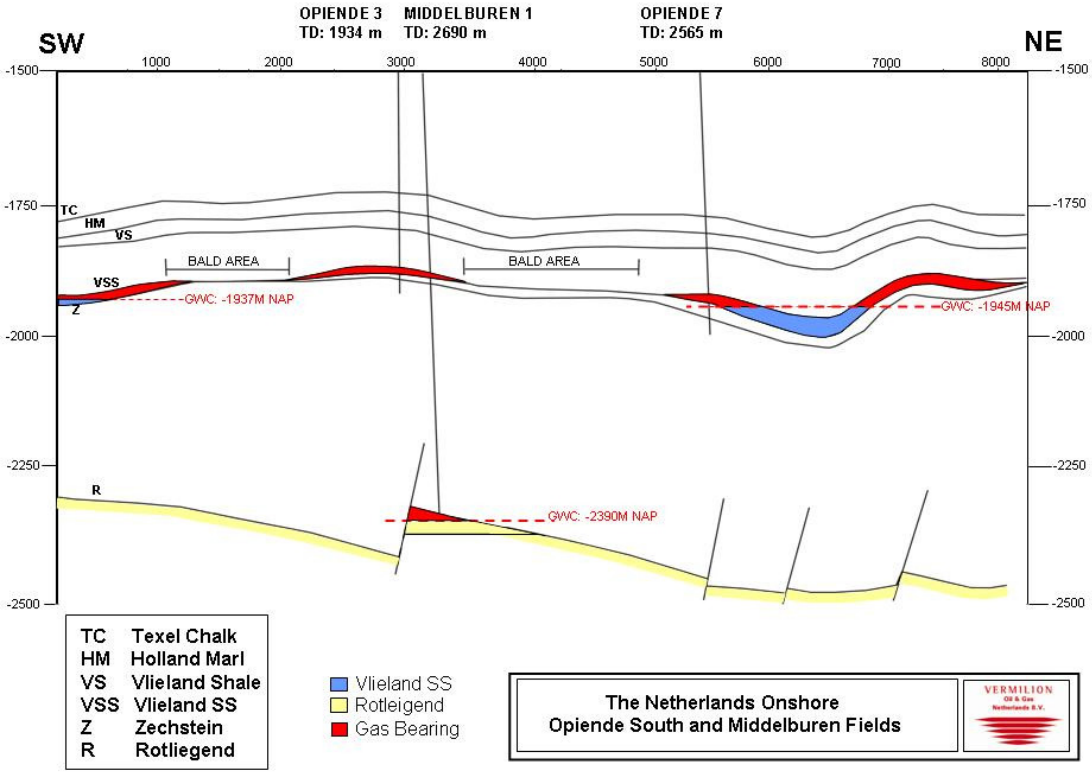
De lagen zijn over grote afstanden aanwezig. Door bewegingen van en botsingen tussen de aardplaten in de geologische geschiedenis zijn er golvingen ontstaan in de lagen. Omdat gesteente niet zo buigzaam is leidt dit tot breuken. In dit gebied is het resultaat dat het gesteente uit licht schuin-liggende 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.

4.2.3 Bron koolwaterstoffen en migratie(patronen)

De Rotliegend formatie is afgezet op een Carboon platform. De kolen van het Westfaal (onderdeel van het Carboon) zijn een bewezen bron voor koolwaterstoffen van omringende gasvelden. De sedimenten zijn snel begraven onder de laat Perm transgressie. Aan het eind van het Trias zakte het gebied verder. 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, waardoor koolwaterstoffen (aardgas) naar de bovenliggende formaties (o.a. Slochteren, Ten Boer en Vlieland) migreerden.

4.2.4 Geologische doorsnede van voorkomen(s)

Figuur 4-3 is een geologische doorsnede door de voorkomens Opeinde-Zuid en Middelburen.

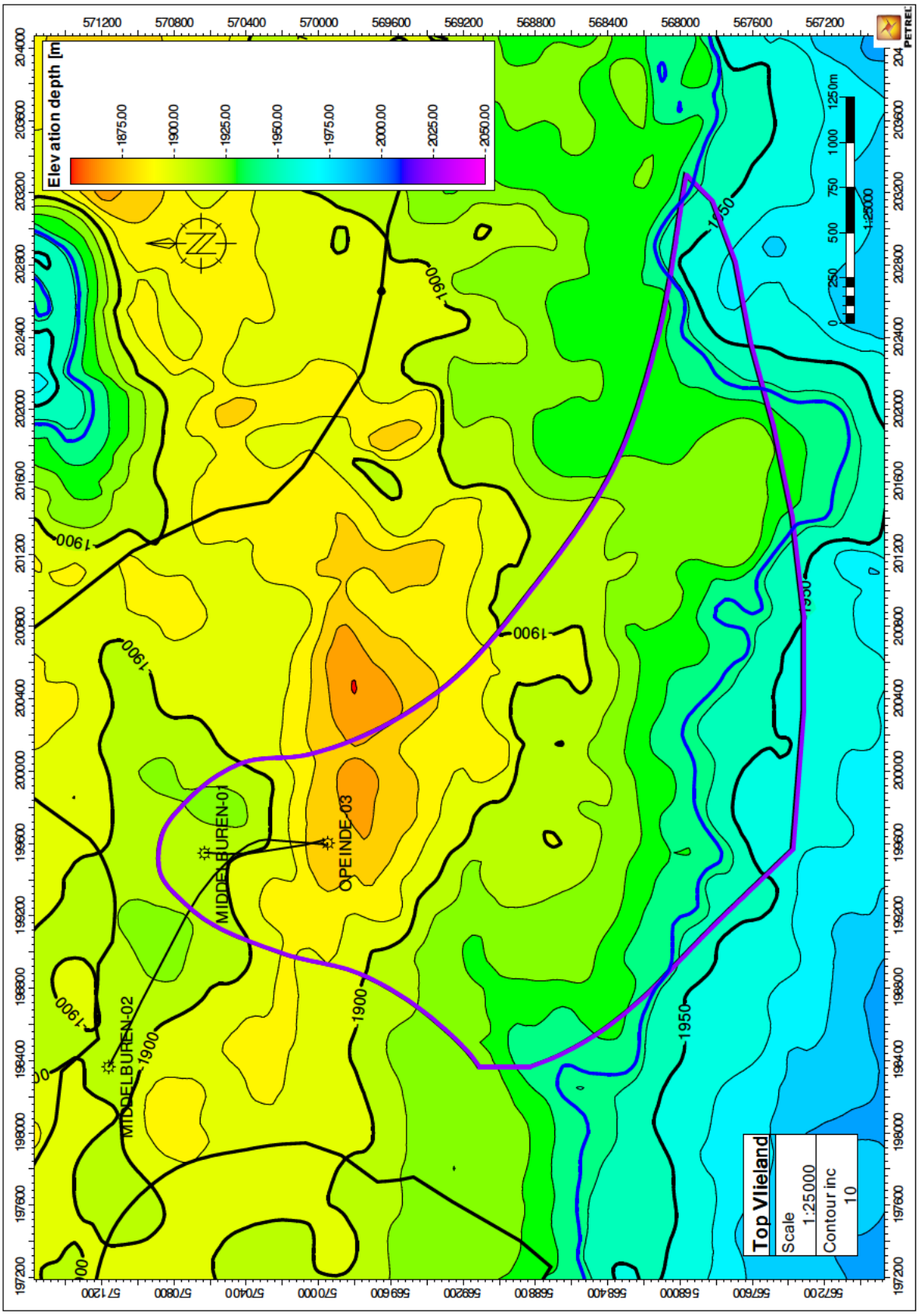


Figuur 4-3: Geologische doorsnede door de voorkomens Opeinde-Zuid en Middelburen. De annotatie geeft de top van de formatie-intervallen aan.

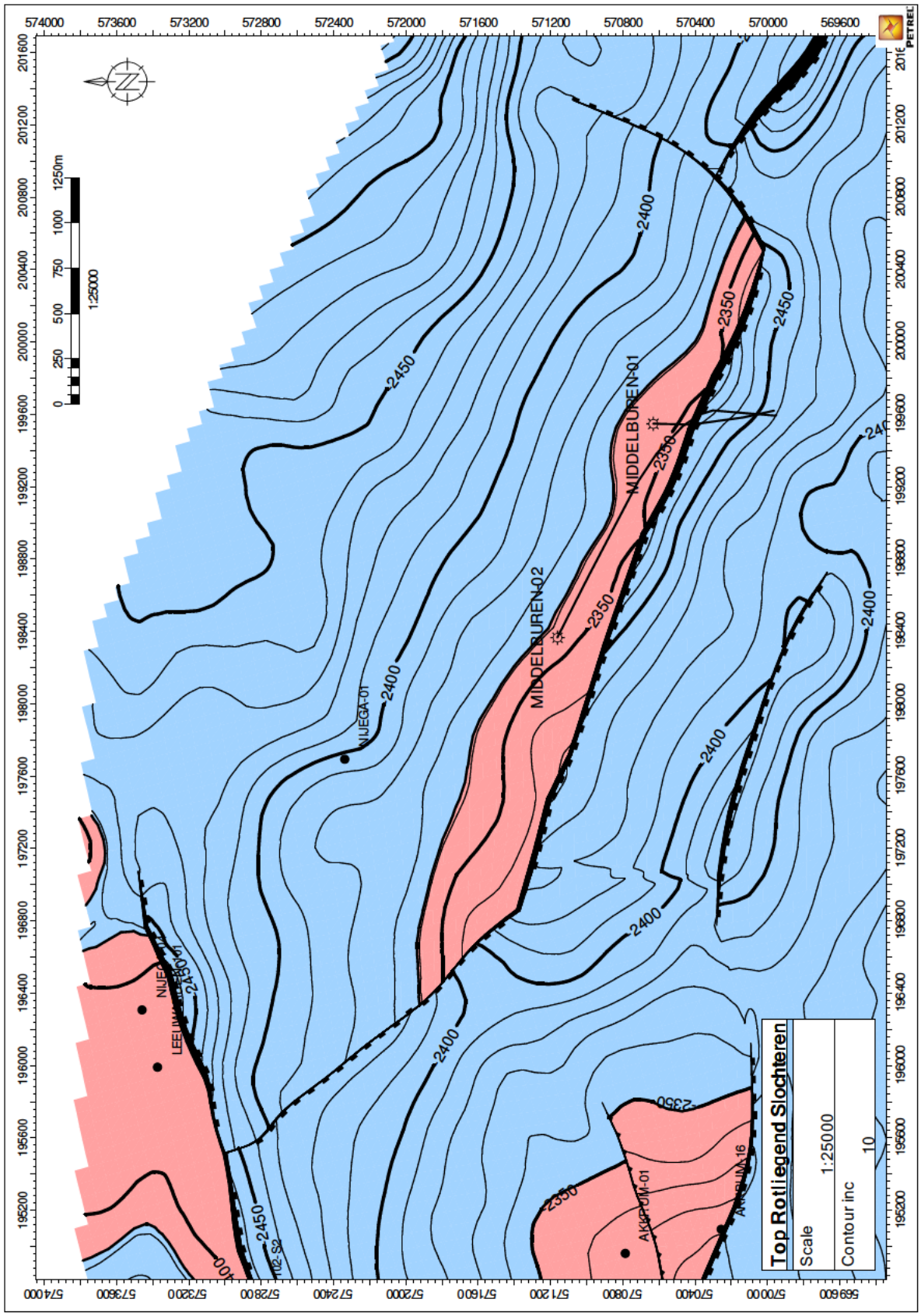
Figuur 4-4 is een top structuurkaart van het voorkomen Opeinde-Zuid. De paarse lijn geeft de omtrek van het Opeinde-Zuid voorkomen. Het gas water contact zit op 1937 mTVD; dit is de blauwe lijn. In het noordoosten wordt het voorkomen begrensd door een pinch-out; de Vlieland zandsteen is hier niet aanwezig. In het zuiden wordt het voorkomen begrensd door een combinatie van een pinch-out en het gas water contact op 1937 mTVDNAP. In het westen staat het Opeinde-Zuid voorkomen in contact met het Akkrum voorkomen. Het Akkrum voorkomen is ingesloten.

Figuur 4-5 is een top structuurkaart van het voorkomen Middelburen, Slochteren formatie; rood is gas, blauw is water. Het gas water contact zit op 2361 mTVD. Het voorkomen is een hellend breukblok. In het westen, zuiden en oosten wordt het voorkomen begrensd door het breukblok. In het noorden wordt het voorkomen begrensd door het gas water contact.

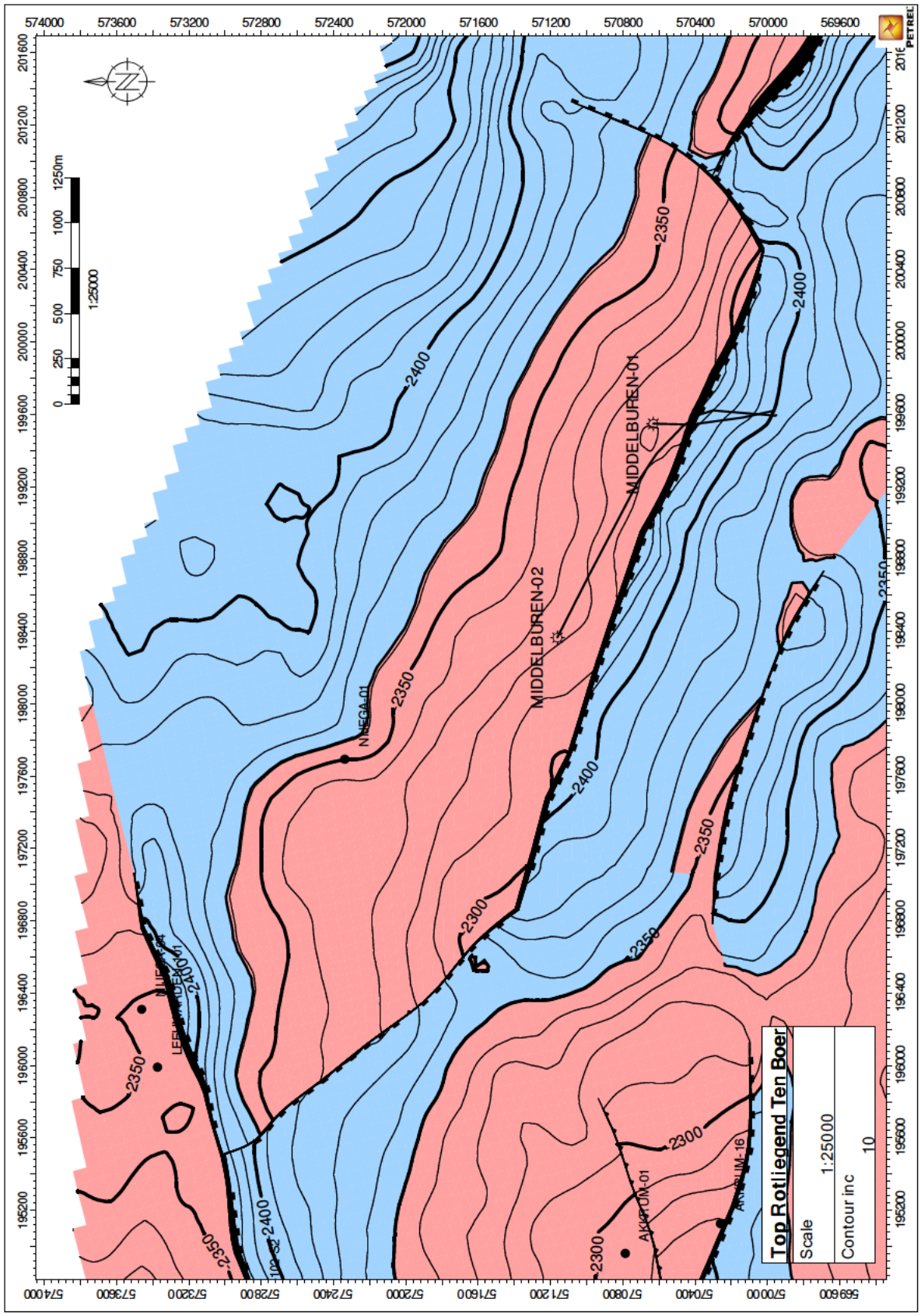
Figuur 4-6 is een top structuurkaart van het voorkomen Middelburen, Ten Boer formatie; rood is gas, blauw is water. Het gas water contact zit op 2361 mTVD. Het voorkomen is een hellend breukblok. In het westen, zuiden en oosten wordt het voorkomen begrensd door het breukblok. In het noorden wordt het voorkomen begrensd door het gas water contact.



Figuur 4-4: Top structuur kaart van Opeinde-Zuid voorkomen. De begrenzing van het voorkomen wordt gevormd doordat de dikte van de zandsteen naar nul gaat (zgn. 'pinch-out').



Figuur 4-5: Top structuur kaart van Middelburen Slochteren voorkomen.



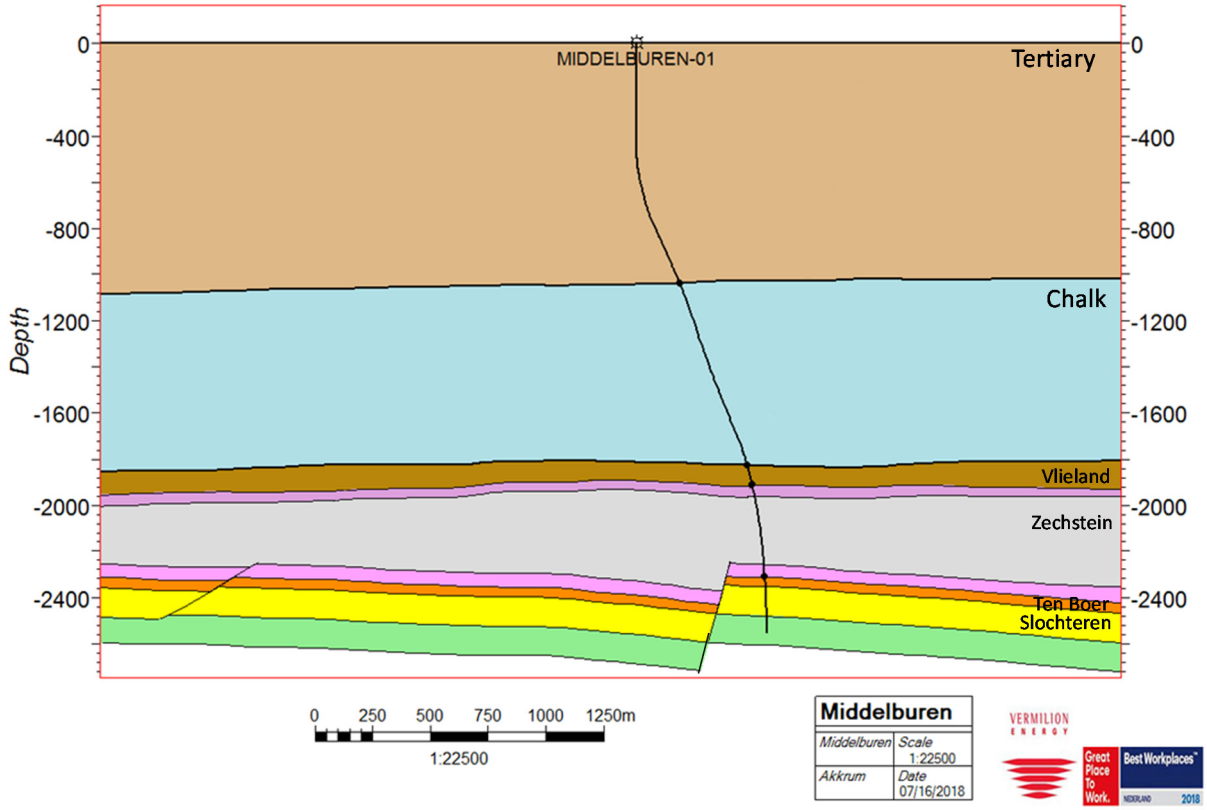
Figuur 4-6: Top structuur kaart van Middelburen Ten Boer voorkomen.

4.3 Gesteente-eigenschappen van de bovenliggende lagen

Boven de gasvoerende voorkomens, welke hierboven besproken zijn, bevindt zich nog ongeveer 1800 m gesteente (zie Figuur 4-7):

- Tertiair
  - Boven-Noordzee
    Deze formatie bestaat uit niet-doorlatende (*impermeabele*) kleilagen afgewisseld met zandlagen en beslaat de bovenste 375 m. Eventueel grondwater bevindt zich hier.
  - Onder-Noordzee
    Deze formatie bestaat uit impermeabele kleilagen afgewisseld met zandlagen.
- Krijt (Chalk)
  - Ommelanden
  - Texel
    Deze formaties bestaan uit krijtsteen
  - Holland
    Deze formatie bestaat uit impermeabele kleilagen en mergel.
- Vlieland
  Het bovenste gedeelte van de Vlieland is de Vlieland kleisteen, welke het afsluitend gesteente van het Opeinde-Zuid voorkomen vormt.

De gasvoorkomens Opeinde-Zuid en Middelburen zijn dus op grote diepte gelegen en er bevinden zich een groot aantal impermeabele (niet-doorlatende) lagen tussen deze voorkomens en het maaiveld.



Figuur 4-7: Doorsnede door Middelburen 1 put met bovenliggende lagen. De Slochteren en Ten Boer (Middelburen) zijn in geel/oranje aangegeven, de Vlieland Zandsteen (Opeinde-Zuid) is het onderste deel van de 'Vlieland'.

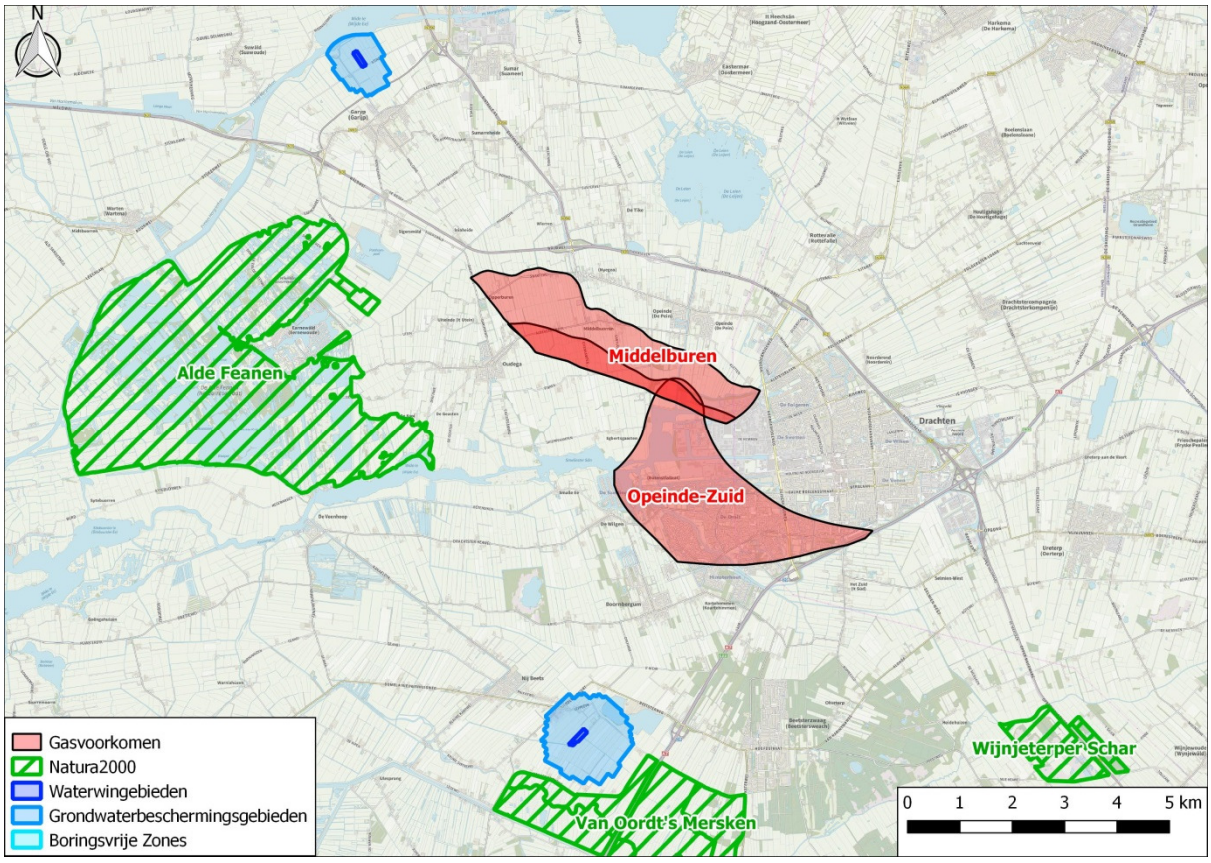
4.4 Andere gebruiksmogelijkheden van de ondergrond

Figuur 4-8 is een kaart met grondwaterbeschermingsgebied en boringsvrije zones rond de voorkomens in de winningsvergunning Leeuwarden rond deze voorkomens.

Hieruit blijkt dat de voorkomens Opeinde-Zuid en Middelburen ver van de grondwater beschermingsgebieden liggen. Deze voorkomens hebben dus geen invloed op de grondwater beschermingsgebieden.

Het Slochteren reservoir zou eventueel een goed reservoir zijn voor geothermie vanwege de dikte, permeabiliteit, temperatuur en aquifer. Er is momenteel geen geothermie project in de directe omgeving van deze voorkomens.

Gasopslag, zoutwinning of andere gebruiksmogelijkheden van de diepe ondergrond zijn niet voorzien rond deze voorkomens.



Figuur 4-8: Beschermde zones rond de voorkomens Opeinde-Zuid en Middelburen.

5 Ontwikkelingsvooruitzichten

5.1 Inleiding

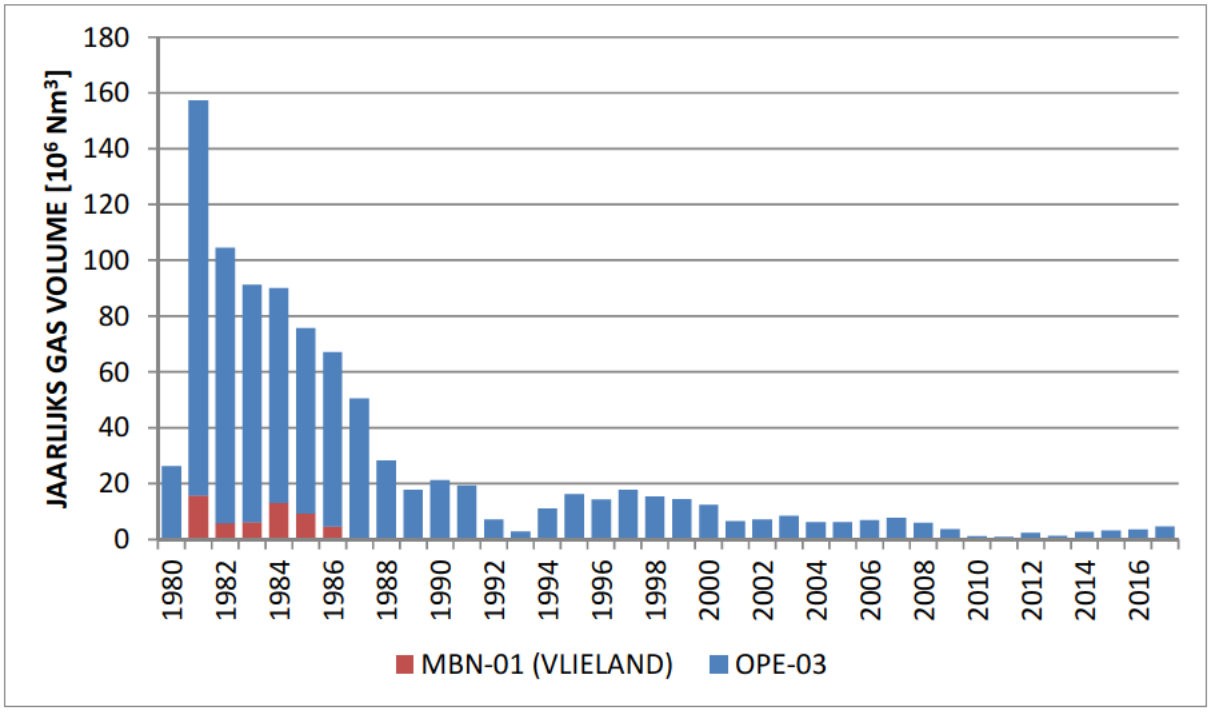
De winningsvergunning Leeuwarden ligt in de provincie Friesland. Vanaf de mijnbouwlocatie Middelburen 1 wordt gas gewonnen uit de voorkomens Opeinde-Zuid en Middelburen met 3 putten. De verwachting is dat extra putten nodig zijn om al het gas efficiënt te kunnen produceren.

5.2 Historische Productie

5.2.1 Opeinde-Zuid

Figuur 5-1 laat de productie historie zien van het voorkomen Opeinde-Zuid. Productie begon in 1980 met put OPE-03. Deze put produceert nu nog steeds in 2018, op een veel lagere productie snelheid zoals de grafiek duidelijk laat zien.

Put MBN-01 startte productie in 1981 van het Opeinde-Zuid voorkomen. Productie stopte in 1988.



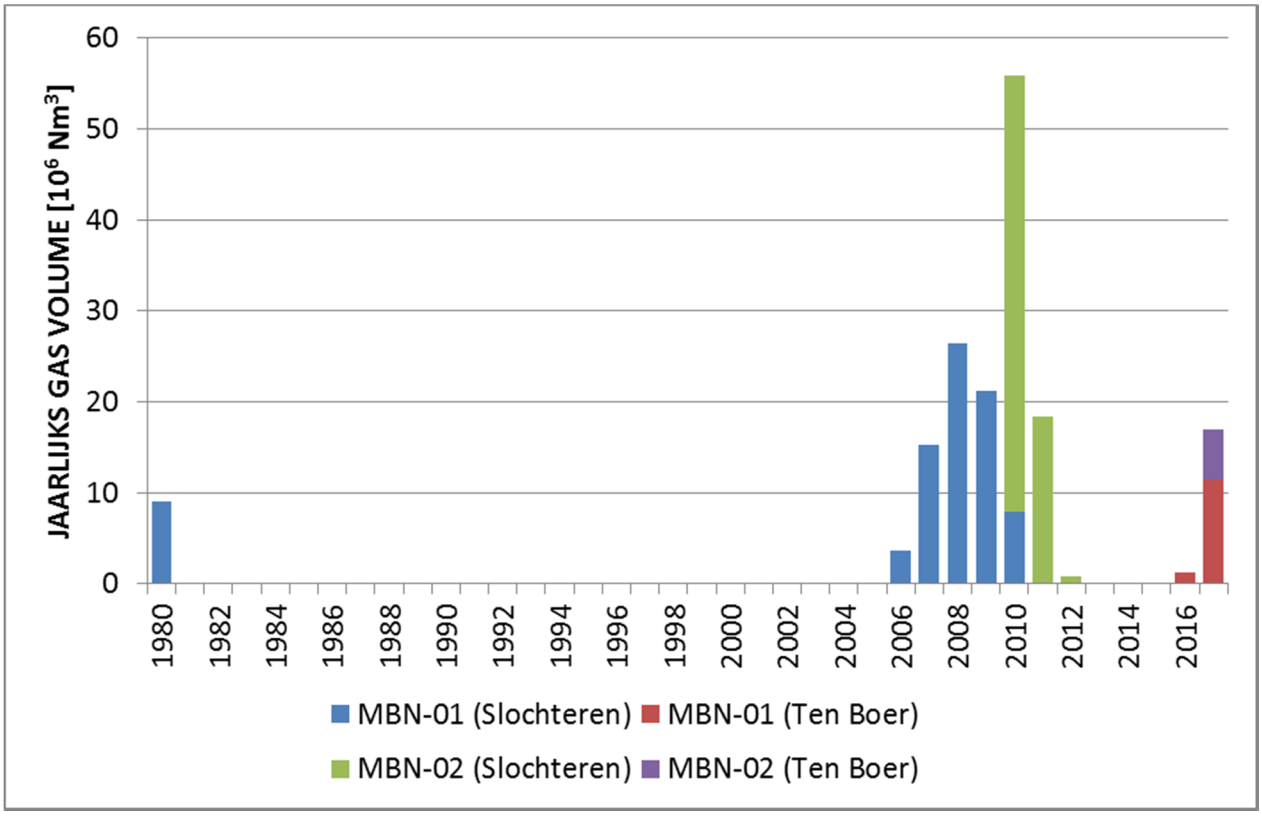
Figuur 5-1: Productie historie Opeinde-Zuid voorkomen.

5.2.2 Middelburen

Het Rotliegend reservoir bestaat uit twee producerende formaties: Slochteren en Ten Boer, zie Figuur 4-2. De Slochteren formatie is een zandsteen van ±125 m dik. De Ten Boer formatie is een afwisseling van zand / klei lagen.

Figuur 5-2 laat de productie historie van het Middelburen voorkomen zien. Productie begon in 1980 met put MBN-01 vanuit het Slochteren reservoir. De put produceerde snel water waarna de Slochteren zone werd afgesloten en de put begon te produceren uit het Opeinde-Zuid voorkomen (zie paragraaf 5.2.1). Uiteindelijk stopte de productie uit het Opeinde-Zuid reservoir. In 2006 werd de put MBN-01 weer klaargemaakt voor productie uit het Slochteren reservoir. De Slochteren productie stopte in 2010 vanwege een te hoge water-influx. In 2016 vond er een interventie plaats om de water producerende Slochteren reservoir af te sluiten om vanuit de Ten Boer zanden te produceren. Eén Ten Boer zand werd geperforeerd in november 2016. De productie was succesvol. Hierna werden de andere Ten Boer zanden in MBN-01 geperforeerd in januari 2018.

In 2010 werd de put MBN-02 geboord en begon deze put te produceren uit het Slochteren reservoir. De put stopte in 2012 vanwege water influx. In 2017 vond er een interventie plaats om de Slochteren zanden af te sluiten in put MBN-02 om de Ten Boer zanden te perforeren en te produceren, na het succes in MBN-01 met het perforeren van een van de Ten Boer zanden. Dit was gedeeltelijk succesvol; de Ten Boer zanden produceren gas, maar er is ook nog steeds veel water productie. Tot nu toe waren de operaties niet succesvol om de water producerende zone in te put af te sluiten. Er zal een interventie plaatsvinden in 2018 om het water af te sluiten.



Figuur 5-2: Productie historie Middelburen voorkomen.

5.3 Onzekerheden

De gasvoorkomens begonnen met productie in 1980, maar er zijn nog steeds een aantal onzekerheden. Deze zijn:

1. Hoe lang de put OPE-03 kan blijven produceren op een lage gas snelheid uit het Opeinde-Zuid voorkomen. Het einde van productie van een put is lastig te voorspellen.
2. Hoeveel gas er zit in de Ten Boer formatie en hoe goed dit gas naar de put kan stromen. Dit is lastig te voorspellen vanwege het zand / klei gehalte in het reservoir.
3. De hoeveelheid gas die is achtergebleven in Middelburen Slochteren.
4. Het tijdstip van doorbreken van water in de putten en de mogelijkheid om dit water af te sluiten is lastig te voorspellen.

De onzekerheden zullen afnemen door monitoring van het gedrag van het gasvoorkomen naarmate er meer geproduceerd wordt en nieuwe putgegevens beschikbaar komen.

5.4 Winningsstrategie & reservoir management

Het Opeinde-Zuid aardgasvoorkomen en het Middelburen aardgasvoorkomen zullen zodanig worden gewonnen dat de faciliteiten optimaal worden benut.

De Slochteren formatie heeft een sterke aquifer. In de Slochteren formatie wordt de winning beperkt door waterinstroming.

De Ten Boer formatie heeft geen actieve aquifer en produceert op basis van depletie.

De Vlieland formatie heeft geen actieve aquifer en produceert op basis van depletie.

Momenteel vindt er geen compressie plaats van het aardgas op de putlocatie. Indien de reservoirs verder uitgeput raakt, bestaat de kans dat de druk in de aardgasvelden te laag is geworden om het aardgas zelfstandig door de productie-installaties te laten stromen en vervolgens via de ondergrondse aardgastransportleiding te kunnen transporteren naar Garijp. In dat geval kan eventueel compressie van het aardgas op de locaties geïnstalleerd worden waarmee de gasproductie weer op gang kan worden gebracht. Hiervoor is een revisie van de huidige milieuvergunning noodzakelijk.

De reservoirprestaties worden gemonitord door:

- Regelmatige drukmetingen.
- Water, aardgascondensaat en gasproductie metingen.
- Saturatie logs om het gas water contact in het reservoir te monitoren tegen de tijd.
- Productie logs om te kijken welke reservoir lagen bijdragen aan productie.

De winningsfactor van het Opeinde-Zuid voorkomen is geschat op 82% tot 85%, gebaseerd op de huidige dataset.

De winningsfactor van het Middelburen voorkomen is geschat op 50% tot 80%, gebaseerd op de huidige dataset. De grootte range is het gevolg van de aquifer waardoor water influx snel zou kunnen optreden om de gas recovery negatief te beïnvloeden.

De winningsfactor van het Middelburen voorkomen, Ten Boer formatie, is geschat op 80% tot 90%, gebaseerd op de huidige dataset.

Er zijn waarschijnlijk putbehandelingen noodzakelijk om de productie op peil te houden, zoals zuurbehandeling, her-perforaties, toevoegen van nieuwe perforaties, installeren van een kleinere diameter productie stijgbuis, of toepassen van nog verdere compressie (zie ook paragraaf 3.5).

5.5 Winningssnelheid (hoeveelheden per voorkomen/per jaar)

De productie op de mijnbouwlocatie Middelburen 1 zal binnen de grenzen blijven die door de relevante vergunningen gesteld zijn. De productie filosofie zal mede bepaald worden aan de hand van hetgeen vergund is in de omgevingsvergunning en de daadwerkelijke winning zal deze grenzen niet overschrijden. Elke productieput is voorzien van een choke waarmee de productie verhoogd en verlaagd kan worden.

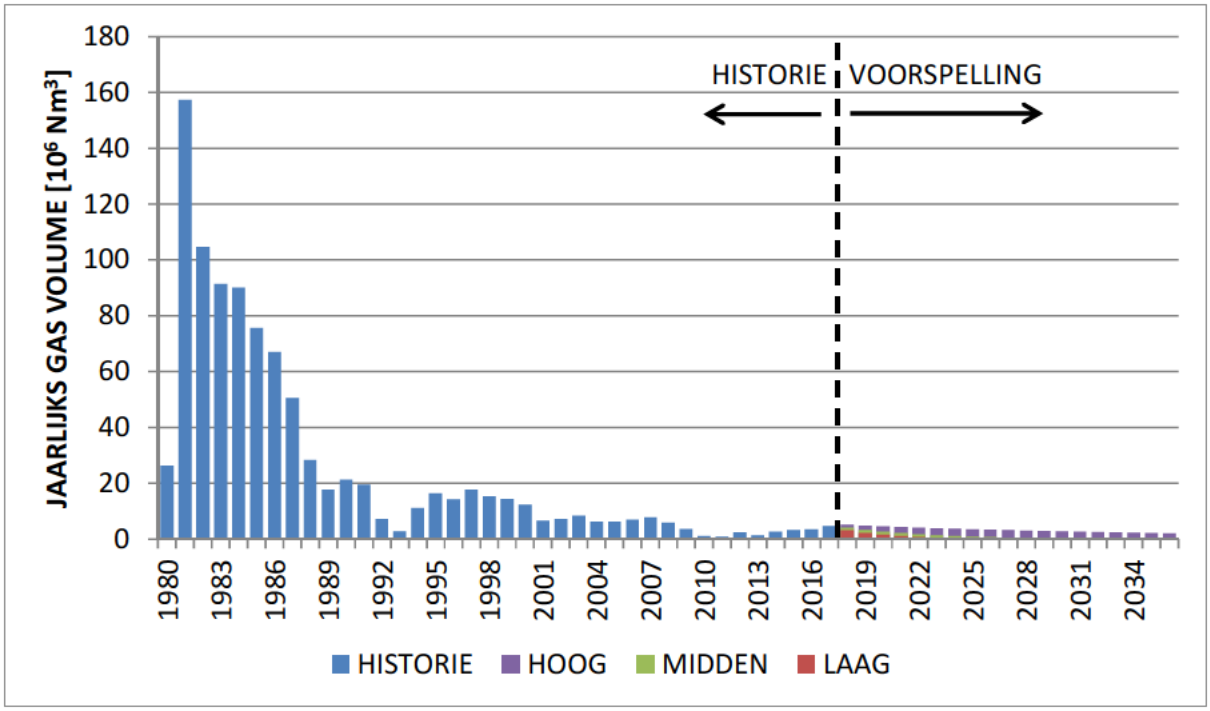
5.5.1 Opeinde-Zuid

De voorspelde productieprofielen voor Opeinde-Zuid zijn gegeven in Figuur 5-3. Deze grafiek laat de voorspelling zien samen met de productie historie. Dit laat duidelijk zien dat het meeste gas al geproduceerd is uit het Opeinde-Zuid voorkomen. Figuur 5-4 laat alleen de productievoorspelling zien en is een zoomed in versie van Figuur 5-3.

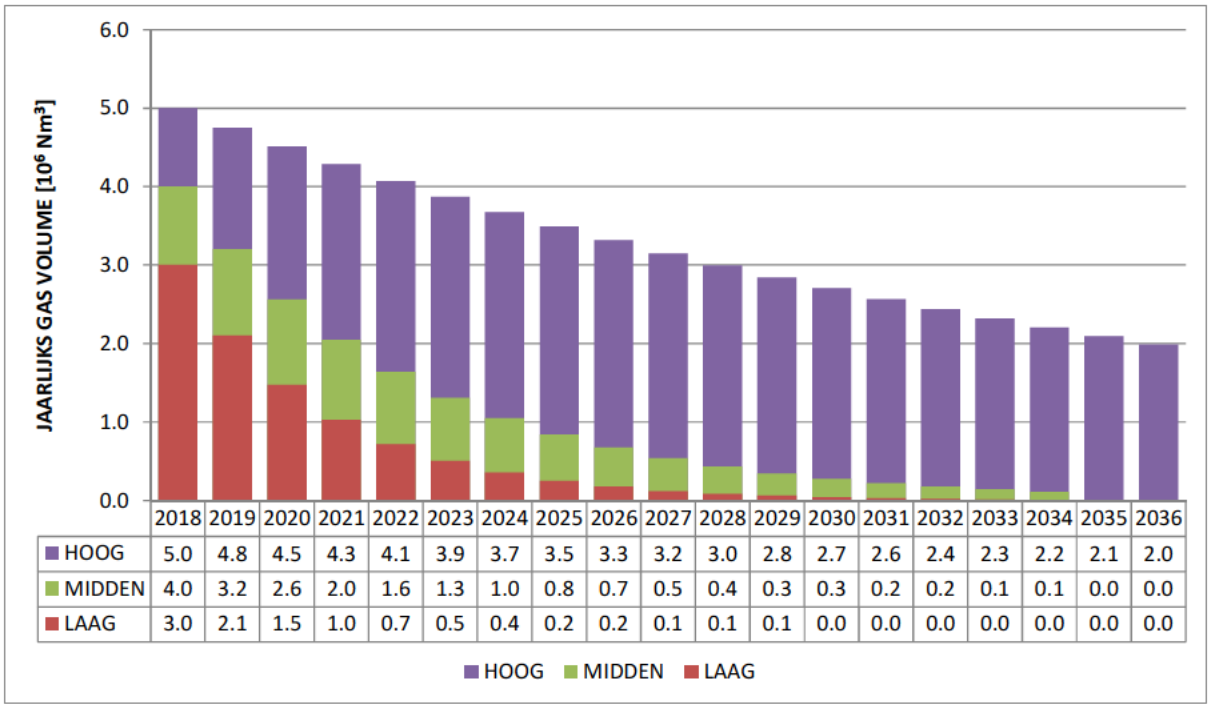
Productie zal alleen plaatsvinden uit put OPE-03. Er zijn drie productieprofielen gegeven (Laag, Midden, Hoog) om de onzekerheid in tijd & volume aan te geven. Het einde van productie van een put is lastig te voorspellen, zeker bij deze lage gassnelheid.

Cumulatieve productie tot en met 31 december 2017 is 938 $x10^6nm^3$. De nog voorspelde productie voor de drie scenario's is: 10 $x10^6nm^3$ (Laag) / 20 $x10^6nm^3$ (midden) / 62 $x10^6nm^3$ (Hoog).

De werkelijk gerealiseerde productie zal niet overeenkomen met (één van) de geschetste profielen. Deze productieprofielen zijn indicatief.



Figuur 5-3: Opeinde-Zuid voorkomen productie historie en voorspellingen.



	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036
HOOG	5.0	4.8	4.5	4.3	4.1	3.9	3.7	3.5	3.3	3.2	3.0	2.8	2.7	2.6	2.4	2.3	2.2	2.1	2.0
MIDDEN	4.0	3.2	2.6	2.0	1.6	1.3	1.0	0.8	0.7	0.5	0.4	0.3	0.3	0.2	0.2	0.1	0.1	0.0	0.0
LAAG	3.0	2.1	1.5	1.0	0.7	0.5	0.4	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Figuur 5-4: Opeinde-Zuid voorkomen productie voorspellingen (zoomed in).

5.5.2 Middelburen

Het Middelburen voorkomen heeft twee reservoir zanden: Slochteren en Ten Boer. Om beide zanden optimaal te ontwikkelen zijn extra putten noodzakelijk.

Slochteren

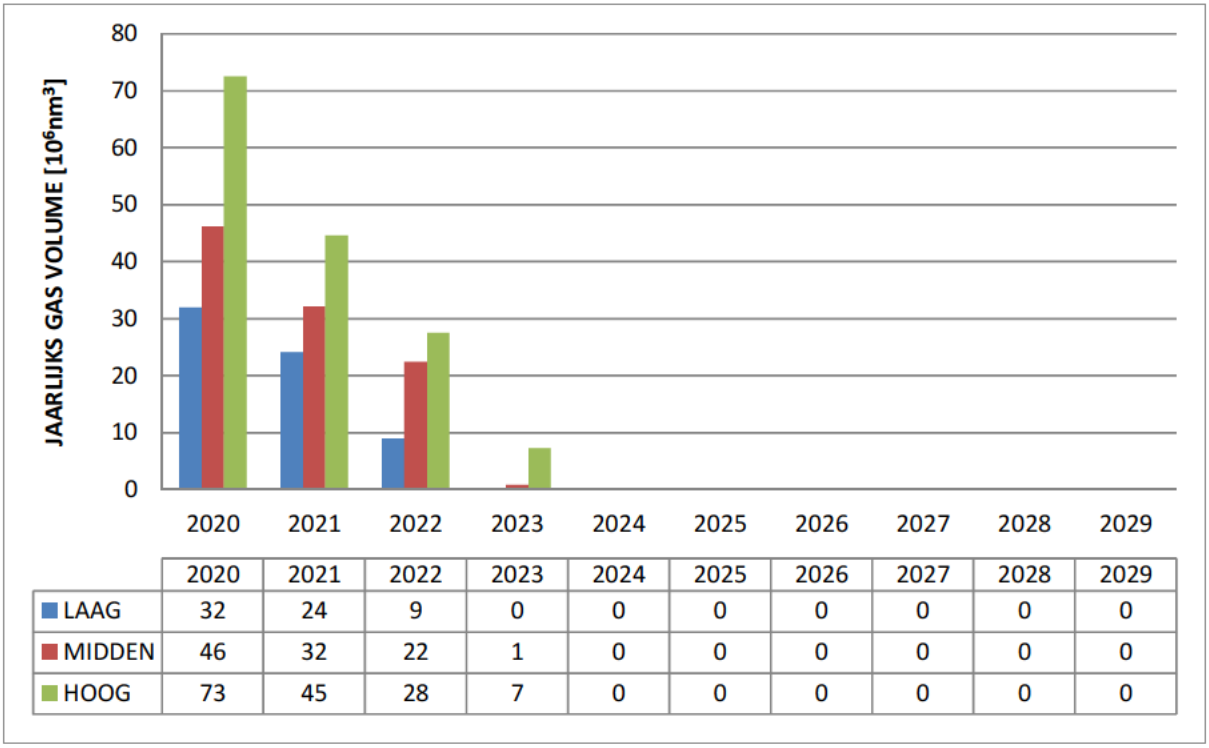
Figuur 5-6 de top structuur kaart van de Slochteren zandsteen. De structuur heeft als hoogste punt een diepte van 2335 m. Het gas water contact (GWC) is gelegen op 2361 m TVDNAP (verticale diepte). Het GWC is bepaald aan de hand van metingen in put MBN-01. Putten MBN-01 en MBN-02 hebben al

geproduceerd uit dit voorkomen en zijn uitgewaterd. Het GWC is omhoog gekomen tot 2356.5 m TVDNAP; dit is het hoogste producerende punt van put MBN-02. Het rode gebied in de Figuur 5-6 is het gebied met gas, van 2356.5 m TVDNAP tot top structuur op 2335 m TVDNAP. Het gele gebied is wat al geproduceerd is, van 2361 m TVDNAP tot 2356.5 m TVDNAP. Blauw is water.

De magenta lijn is een doorsnede door het voorkomen. Deze doorsnede is weergegeven in Figuur 5-7. De gele zone is dus de zone al geproduceerd door de putten MBN-01 en MBN-02. Het GWC is nu geschat op 2356.5 mTVDNAP; dit is het hoogste producerende punt van horizontale put MBN-02, ook aangegeven met het punt TD in Figuur 5-7.

Uit deze analyse blijkt dat er nog een gaskolom van 2356.5 – 2335 = 21,5 meter is in het Slochteren reservoir. Hiervoor zal een nieuwe put geboord moeten worden naar de top van de structuur. Deze put kan als aftakking geboord worden vanaf de mijnbouwlocatie 'Middelburen 1', of eventueel de mijnbouwlocatie 'Nijega 1/6/8', of als een nieuwe put van één van deze mijnbouwlocaties, zie ook Figuur 3-2.

De nog voorspelde productie uit het Slochteren reservoir is: 65 x10^{6}nm^3 (Laag) / 102 x10^{6}nm^3 (Midden) / 152 x10^{6}nm^3 (Hoog). Figuur 5-5 laat de productievoorspelling zien voor het Middelburen Slochteren reservoir. De productievoorspellingen geven een range aan. De werkelijk gerealiseerde productie zal niet overeenkomen met (één van) de geschetste profielen. Deze productieprofielen zijn indicatief. De startdatum en het volume wat per jaar geproduceerd zal worden kan anders zijn dan hier aangegeven. Tabel 5-1 geeft de cumulatieve gas productie verwachtingen uit het Slochteren reservoir.

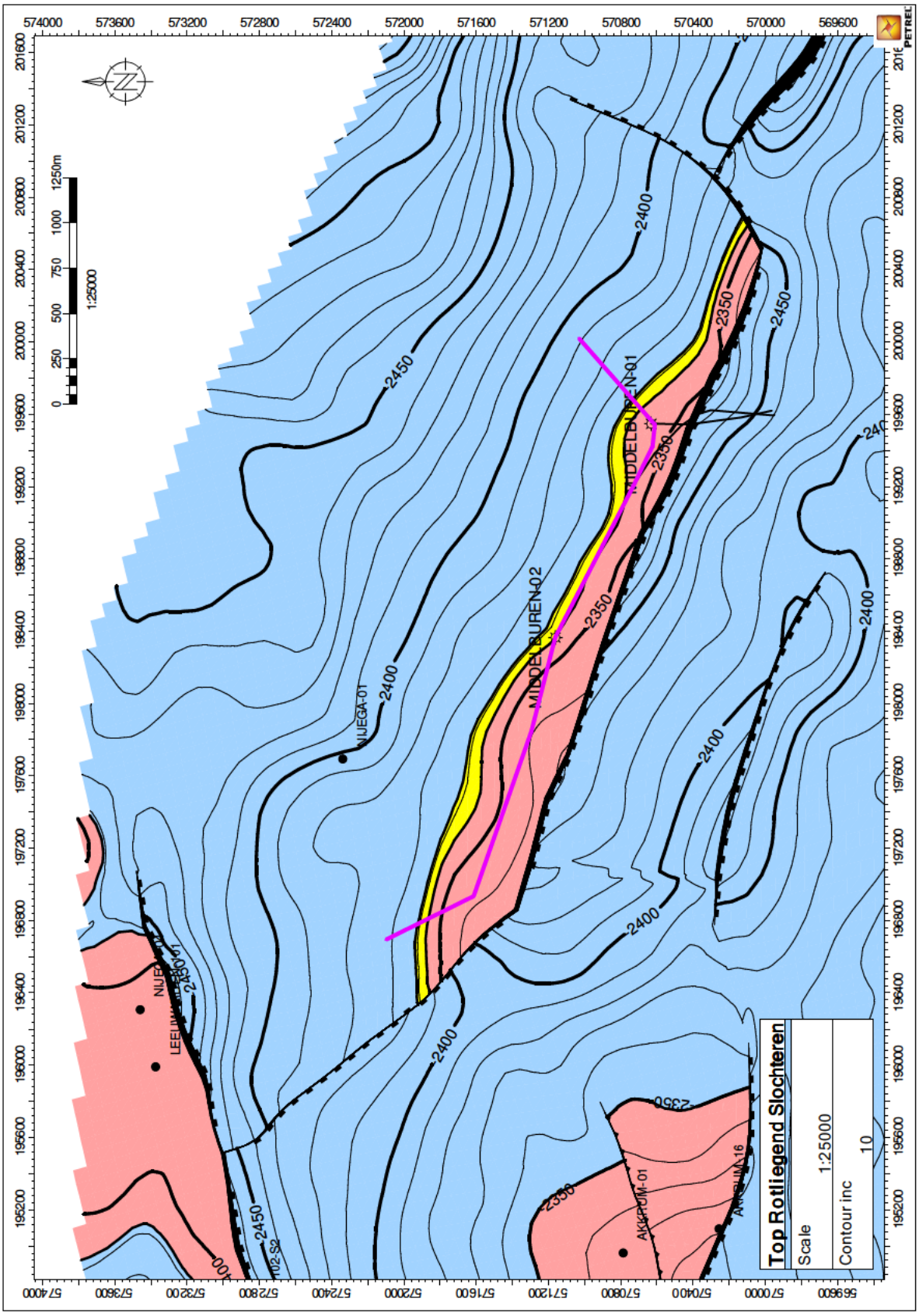


	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029
LAAG	32	24	9	0	0	0	0	0	0	0
MIDDEN	46	32	22	1	0	0	0	0	0	0
HOOG	73	45	28	7	0	0	0	0	0	0

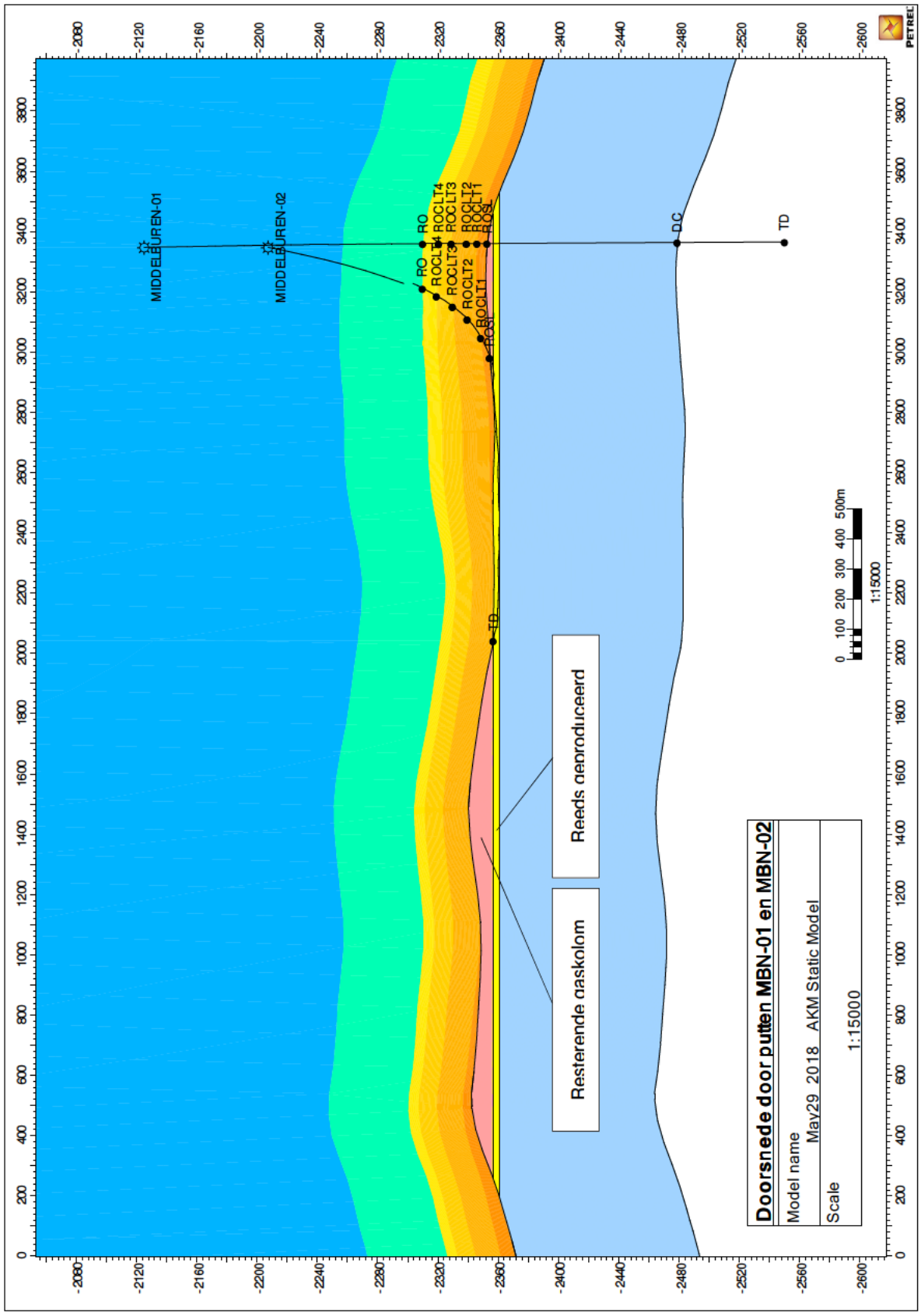
Figuur 5-5: Productievoorspelling voor Middelburen Slochteren.

Tabel 5-1: Cumulatieve gas productie verwachtingen uit het Slochteren reservoir.

Put	***Cumulatieve Productie [10^{6}nm^3]***		
	Laag	**Midden**	**Hoog**
MBN-01 (uit geproduceerd)		84	
MBN-02 (uit geproduceerd)		67	
Nieuwe boring(en)	65	102	152
Totaal	**216**	**253**	**303**



Figuur 5-6: Top structuur kaart van Middelburen Slochteren voorkomen. De magenta lijn geeft weer waarlangs de doorsnede van Figuur 5-7 genomen is.

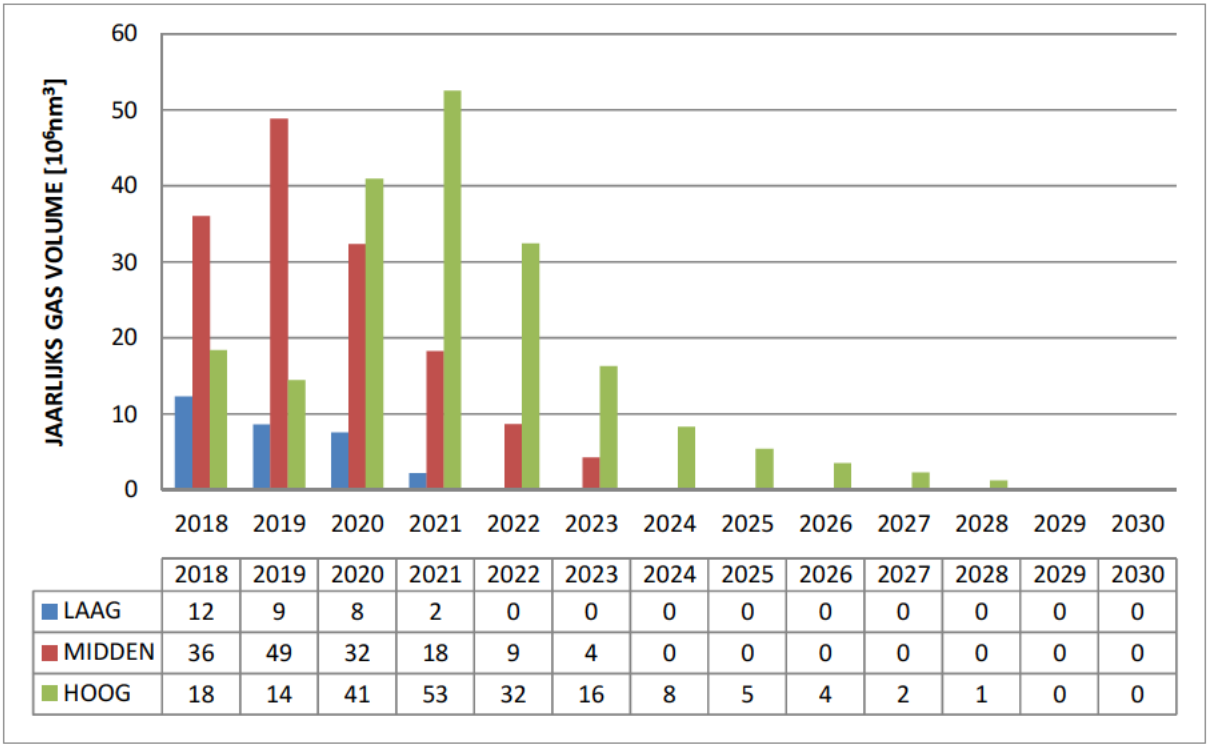


Figuur 5-7: Doorsnede door de putten MBN-01 en MBN-02.

Ten Boer

Momenteel produceren beide putten MBN-01 en MBN-02 uit het Ten Boer reservoir. Beide putten hebben operationele problemen waardoor de productie niet optimaal is. Een optie is om een put interventie uit te voeren in 2018 en/of 2019 om de productie in één van deze putten of beiden te optimaliseren. De productie optimalisatie kan ook bereikt worden door het boren van een nieuwe put(ten) in het voorkomen. Deze put(ten) kan (kunnen) als aftakking geboord worden vanaf de mijnbouwlocatie 'Middelburen 1', of eventueel de mijnbouwlocatie 'Nijega 1/6/8', of als een nieuwe put(ten) van één van deze mijnbouwlocaties, zie ook Figuur 3-2.

De nog voorspelde productie uit het Ten Boer reservoir is: 31 x10^6nm^3 (Laag) / 148 x10^6nm^3 (Midden) / 196 x10^6nm^3 (Hoog). Figuur 5-8 laat de productievoorspelling zien voor het Middelburen Ten Boer reservoir. De startdatum van de nieuwe put(ten) ligt niet vast en zal afhangen van onder andere het moment waarop de noodzakelijke vergunningen worden verleend, wanneer de boring(en) zal(zullen) plaatsvinden en het reservoir gedrag. De productievoorspellingen geven een range aan. De werkelijk gerealiseerde productie zal niet overeenkomen met (één van) de geschetste profielen. Deze productieprofielen zijn indicatief. De startdatum en het volume wat per jaar geproduceerd zal worden kan dus anders zijn dan hier aangegeven. Tabel 5-2 geeft de al geproduceerde en voorspelde cumulatieve gas productie uit het Ten Boer reservoir.



	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
LAAG	12	9	8	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MIDDEN	36	49	32	18	9	4	0	0	0	0	0	0	0
HOOG	18	14	41	53	32	16	8	5	4	2	1	0	0

Figuur 5-8: Productievoorspelling voor Middelburen Ten Boer.

Tabel 5-2: Cumulatieve gas productie verwachtingen uit het Ten Boer reservoir.

Put	***Cumulatieve Productie [10^6nm^3]***		
	Laag	**Midden**	**Hoog**
MBN-01 (t/m 31/dec/2017)		13	
MBN-02 (t/m 31/dec/2017)		6	
Nieuwe boring(en)	31	148	196
Totaal	**50**	**167**	**215**

5.6 Duur van de winning

De verwachte productie vanuit het Opeinde-Zuid voorkomen gaat door tot en met uiterlijk 2036.

De verwachte productie vanuit het Middelburen voorkomen gaat door tot en met uiterlijk 2028.

Het productie gedrag van de put, de connectiviteit van de put met het hele reservoir en het succesvol afsluiten van water producerende zones zijn moeilijk te voorspellen zoals de ervaring met deze putten heeft laten zien. Deze aspecten zijn ook van invloed op de einddatum van productie. De exacte einddatum van productie is daardoor onzeker.

De productie zal worden gestopt als de totale productiekosten de productie opbrengsten zullen overstijgen. Einde van de productie zou eerder of later kunnen plaatsvinden als gevolg van onverwachte technische of andere oorzaken.

5.7 Jaarlijks eigengebruik bij winning

Het is niet voorzien dat geproduceerd aardgas wordt aangewend voor eigen gebruik.

5.8 Jaarlijks bij winning afgeblazen/afgefakkelde koolwaterstoffen

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

5.9 Stoffen die jaarlijks worden mee geproduceerd

Tabel 5-4 is een gedetailleerde analyse van het Opeinde-Zuid gas.

Tabel 5-5 is een gedetailleerde analyse van het Middelburen gas.

Met het aardgas worden water en aardgascondensaat mee geproduceerd. In de tabel hieronder is een schatting gemaakt van de mee geproduceerde vloeistoffen. De hoge productiesnelheid voor water kan plaatsvinden na een water doorbraak. Zodra dit gebeurd zal er gekeken worden of de water productie kan worden gestopt in de put door de water producerende laag af te sluiten; zie paragraaf 3.5.

Tabel 5-3: Schattingen van mogelijk met MBN-OPZ productie meegeproduceerde vloeistoffen

Waterproductie	2 - 250 m^3/dag
Aardgascondensaat	2 - 10 m^3/dag

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

Het afgescheiden productiewater wordt op locatie opgeslagen in de bovengrondse productiewatertanks. Het productiewater wordt periodiek per tankwagen afgevoerd naar een erkende verwerker of wordt geïnjecteerd in een waterinjectieput van Vermilion.

Tabel 5-4: Gedetailleerde analyse van het Opeinde-Zuid gas.

Vermilion O&G the Netherlands b.v.
LABORATORY Harlingen

VERMILION OIL & GAS NETHERLANDS B.V.

Gas analysis report			
Sample origin	Opeinde 3	**Field :**	LW EAST
Cylinder number		**Pressure (bar)**	
Sampling conditions	spot sample		
Sample date	24-04-2008		
Analysis date	12-May-08		

Gas analysis according ISO 6974		
COMPONENTS		**% MOLAR**
Helium	He	0.043
Oxygen	O2	0.000
Nitrogen	N2	12.385
Carbon Dioxyde	CO2	1.091
Methane	CH4	84.827
Ethane	C2H6	1.085
Propane	C3H8	0.345
2-Methyl-propane	C4H10	0.052
Normal-Butane	C4H10	0.081
2,2 Dymethyl-Propane	C5H12	0.019
2-Methyl-Butane	C5H12	0.024
Normal-Pentane	C5H12	0.019
2,2 Dymethyl-Butane	C6H14	0.009
2 Methyl-Pentane	C6H14	0.004
3 Methyl-Pentane	C6H14	0.001
Normal-Hexane	C6H14	0.006
Benzene + Cyclo-Hexane	C6H6	0.006
2 Methyl-Hexane	C7H16	0.000
Normal-Heptane	C7H16	0.003
Methyl-Cyclo-Hexane	C7H14	0.000
Toluene	C7H8	0.000
2,2,4-Trimethyl-Pentane	C8H18	0.000
Normal-Octane	C8H18	0.000
Components sum		100.000
sum C5+ concentration		0.091

Calculations according ISO 6976:1995(E)TABLE3	
Real superior calorific value at 298.15 K	35.203 MJ/Nm3
Real superior caloric value of C5+ components	0.150 MJ/Nm3
Wobbe index	44.389 MJ/Nm3
Real relative density	0.6289
Real density at o degC 101.325 kPa	0.8132 kg/m3
Molar mass	18.1853 kg/kmol

Remarks
Analysis conditions: cyl.at 20degr C temp.

Tabel 5-5: Gedetailleerde analyse van het Middelburen gas.

Vermilion O&G the Netherlands b.v.
LABORATORY Harlingen

VERMILION OIL & GAS NETHERLANDS B.V.

Gas analysis report			
Sample origin	Middelburen 1	**Field :**	LW EAST
Cylinder number	1	**Pressure (bar)**	Unknown
Sampling conditions	spot sample		
Sample date	29-Apr-08		
Analysis date	06-May-08		

Gas analysis according ISO 6974		
COMPONENTS		**% MOLAR**
Helium	He	0.104
Oxygen	O2	0.000
Nitrogen	N2	11.025
Carbon Dioxyde	CO2	2.179
Methane	CH4	85.060
Ethane	C2H6	1.024
Propane	C3H8	0.331
2-Methyl-propane	C4H10	0.059
Normal-Butane	C4H10	0.092
2,2 Dymethyl-Propane	C5H12	0.018
2-Methyl-Butane	C5H12	0.035
Normal-Pentane	C5H12	0.027
2,2 Dymethyl-Butane	C6H14	0.008
2 Methyl-Pentane	C6H14	0.007
3 Methyl-Pentane	C6H14	0.011
Normal-Hexane	C6H14	0.000
Benzene + Cyclo-Hexane	C6H6	0.011
2 Methyl-Hexane	C7H16	0.000
Normal-Heptane	C7H16	0.007
Methyl-Cyclo-Hexane	C7H14	0.000
Toluene	C7H8	0.000
2,2,4-Trimethyl-Pentane	C8H18	0.000
Normal-Octane	C8H18	0.000
Components sum		100.000
sum C5+ concentration		0.125

Calculations according ISO 6976:1995(E)TABLE3	
Real superior calorific value at 298.15 K	35.324 MJ/Nm3
Real superior caloric value of C5+ components	0.207 MJ/Nm3
Wobbe index	44.356 MJ/Nm3
Real relative density	0.6342
Real density at o degC 101.325 kPa	0.8200 kg/m3
Molar mass	18.3366 kg/kmol

Remarks
Analysis conditions: cyl.at 20degr C temp.

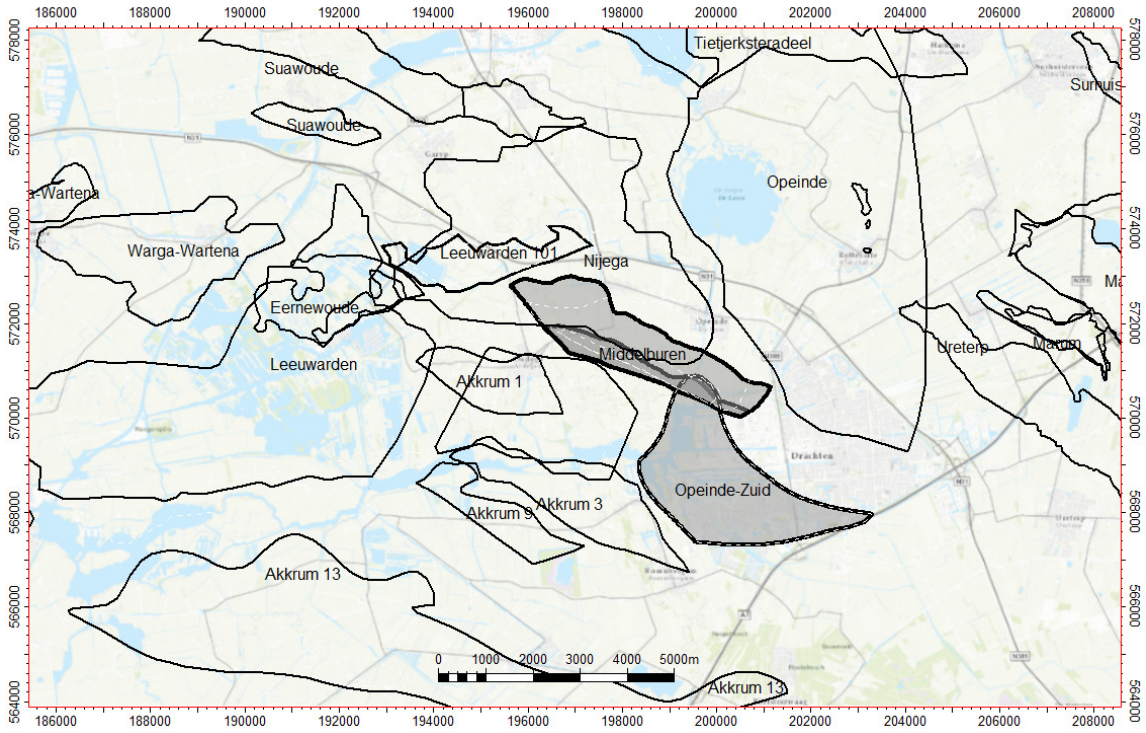
6 Bodemdaling

Er zijn meerdere voorkomens in het gebied rond Opeinde-Zuid, Middelburen Slochteren en Middelburen Ten Boer meegenomen voor de bodemdalingsberekeningen aangezien de dalingskommen van de voorkomens overlappen.

De samengestelde bodemdaling in 2018 is 8 cm boven de voorkomens Opeinde-Zuid en Middelburen, deels door invloed van voorkomens buiten dit winningsplan (met name Nijega, Opeinde).

De nog voorspelde maximale samengestelde bodemdaling is 4 cm in het diepste punt van de samengestelde bodemdalingskom vanaf 2018.

De maximaal voorspelde uiteindelijke samengestelde bodemdaling is 12 cm in het diepste punt van de samengestelde bodemdalingskom.



Figuur 6-1: Overzicht voorkomens rond Opeinde-Zuid en Middelburen. De 'Akkrum' velden maken deel uit van de vroegere Chevron Akkrum winning die sinds 2002 gestopt is.

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 kalksteenlagen. Het gasvoorkomen wordt afgesloten door een niet-doorlatend gesteente, bijvoorbeeld een kleisteen of steenzout.

De lagen zijn in het algemeen over grote afstanden aanwezig. Door tektonische bewegingen in de geologische geschiedenis zijn er golvingen ontstaan in de lagen. Het gas zal, omdat het lichter dan water is, zich verzamelen in de hoogste punten; boringen zullen dan ook op zulke punten gericht zijn.

Bij gaswinning laat men het gas ontsnappen door een put die in het hoogste punt van het gasvoorkomen geplaatst wordt. Als gevolg van het ontsnappen van het gas zal de druk in het voorkomen 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 gesteente van het gasvoorkomen volloopt met water.

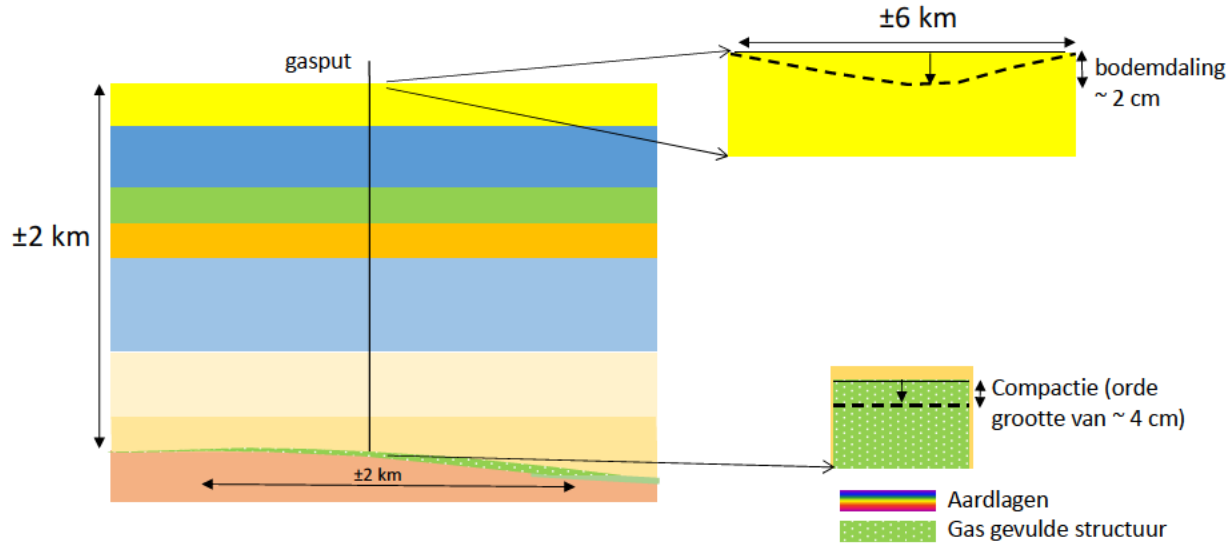
6.1.2 De oorzaken van bodemdaling

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

De 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 gasvoorkomen bedraagt bij maximale drukdaling in het gasvoorkomen.

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

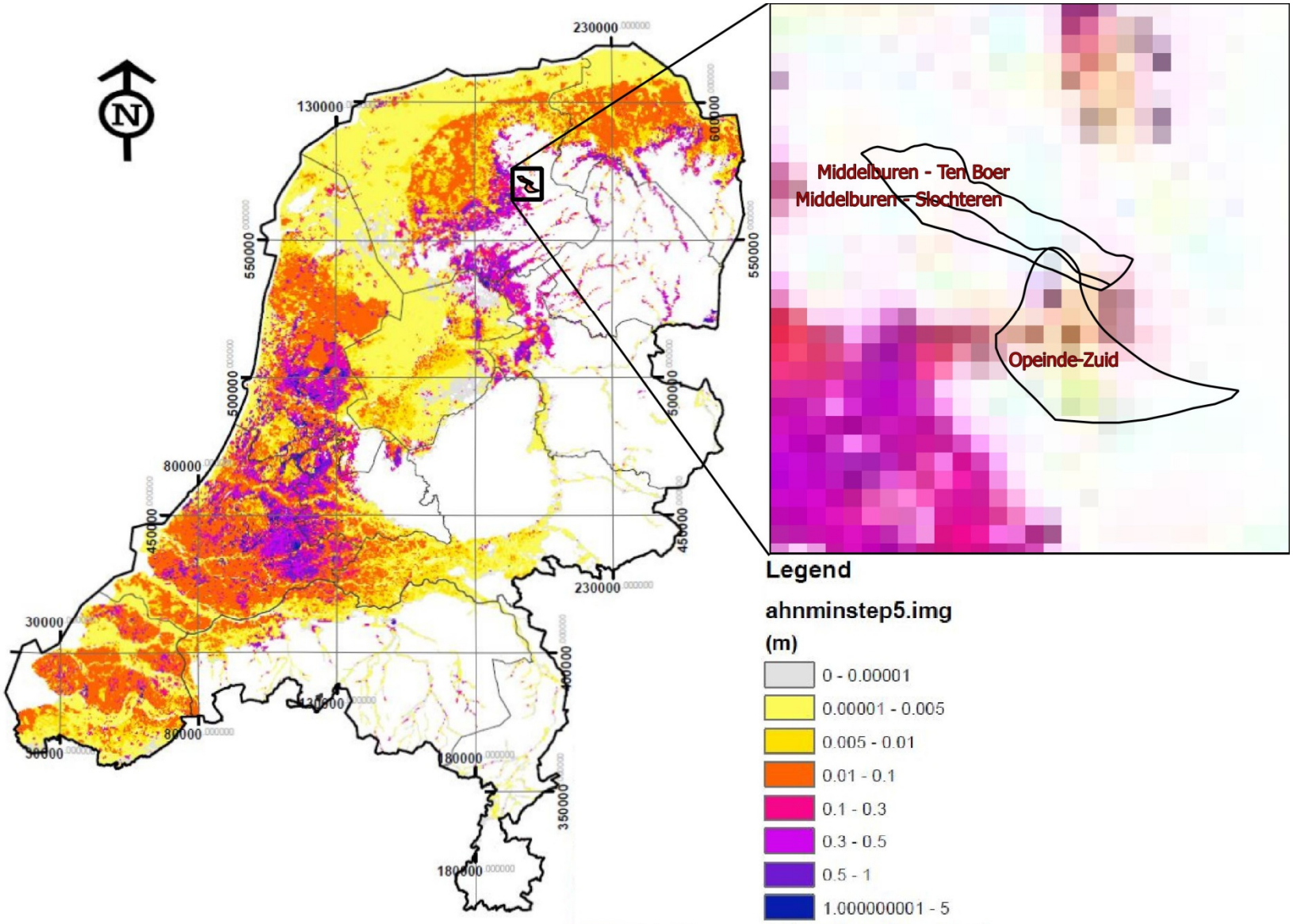
Naarmate het veld geproduceerd wordt, daalt de druk. De bodemdaling ijlt na bij de drukdaling. Met andere woorden, het effect van de productie is pas na enkele jaren (typisch 2-5) aan het oppervlak te zien.



Figuur 6-2: Schetsmatige, generieke, doorsnede van een gasreservoir.

6.1.3 Autonome bodemdaling

Naast bodemdaling door gas- en zoutwinning, vindt ook zogenaamde *autonome* bodemdaling plaats. Dat gebeurt door verschillende mechanismes, waar veen- en klei-inklinking er één van is. Autonome bodemdaling is bijvoorbeeld door Deltares in kaart gebracht, zie Figuur 6-3. Die bodemdaling is gerelateerd aan de samenstelling van de ondiepere ondergrond (bijvoorbeeld aan de aanwezigheid van veen en klei). De uitvergroting in Figuur 6-3 is het gebied rond de voorkomens Opeinde-Zuid en Middelburen. Boven deze voorkomens komen waarden van 0 tot 0.3 meter over een periode van 50 jaar voor.



Figuur 6-3: Autonome bodemdaling 50 jaar na 2011 (Deltares, Ref 1), de schaal is in meter.

6.1.4 Meten en voorspellen van bodemdaling

In het kader van de bodemdaling ten gevolge van gaswinning moet een meetplan opgesteld worden. Hierbij wordt de bodemdaling in een ruim gebied gemeten. Dat gebeurt door waterpassing, vaak aangevuld met GPS metingen op specifieke locaties. Voor het opstellen van een meetplan zijn regels vastgesteld in de industrieleidraad [Ref. 2]. De TCBB beheert deze industrieleidraad. De leidraad wordt door de toezichthouder, SodM, gebruikt als toetsingskader. De frequentie van de metingen wordt gekozen in overeenstemming met de industrieleidraad. Het meetplan wordt ter controle aan het SodM toegestuurd. De meetresultaten, de meetregisters, worden op compleetheid en juiste uitvoering gecontroleerd door Rijkswaterstaat en daarna gedeeld met SodM.

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.

Als de bodemdalingsgebieden van verschillende voorkomens overlappen, dan zullen ook de meetplannen overlappen. In sommige gevallen kan er dan voor gekozen worden de meetplannen samen te voegen.

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 ondergrondsituatie. De parameters in het model zijn gebaseerd op ervaringen in eerdere, soortgelijke, voorkomens. De verwachte maximale bodemdaling wordt vastgelegd in het winningsplan.

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 van de grootte van een gasvoorkomen.

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 in het winningsplan besproken.

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

6.2 Gemeten historische bodemdaling

De voorkomens Opeinde-Zuid en Middelburen vallen onder het meetplan Leeuwarden-Oost / Oosterend.

Het meetplan ‘Leeuwarden-Oost / Oosterend’ bestrijkt een reeks voorkomens die produceren sinds de jaren 70. Het overgrote deel van die productie ligt voor de meeste voorkomens al jaren in het verleden; de putten produceren weliswaar nog steeds, maar met lage productiesnelheden.

In de jaren 70 waren de standaarden voor bodemdalingsmetingen niet dezelfde als nu. Bovendien zijn niet alle peilmerken die toen aanwezig waren, nog steeds bruikbaar. Tenslotte zijn er in dit gebied ook een aantal natuurgebieden. Dat maakt dat de dichtheid van bodemdalingsinformatie in dit gebied lager is dan elders. Omdat er ook heterogeniteiten in de ondiepe bodemopbouw zitten, vertonen de bodemdalingsmetingen redelijk wat “ruis”, i.e. lokaal veroorzaakte variaties.

De voorkomens in dit gebied liggen dicht bij elkaar, deels overlappen ze elkaar. Omdat winningen vaak kort na elkaar gestart zijn, is het gevolg dat de bijdragen van individuele voorkomens moeilijk te scheiden zijn.

De volgende waterpasmetingen zijn uitgevoerd:

1. De waterpas nulmeting in 1970.
2. De waterpas herhalingsmetingen in 2003, 2008 en 2013.

Het meetplan 'Leeuwarden-Oost/Oosterend' is in 2013 voor het laatst gewaterpast [Ref. 9]. Een herhaling is gepland voor 2018. De gegevens van deze meting zijn nog niet beschikbaar bij het schrijven van dit document.

Naast het Vermilion meetplan, is ook naar gegevens van de NAM (ref. 10) en van Rijkswaterstaat (ref. 12) gekeken. Er is in ref. 11 een schatting gemaakt van de bijdragen van de individuele voorkomens, maar vanwege de hierboven geschetste factoren (karakter meetnet, karakter gebied, onzekerheid over autonome daling, overlappende kommen) is die toebedeling ook door enige onzekerheid omgeven.

6.3 Modelberekening toekomstige bodemdaling

6.3.1 Bodemdalingsmodel

Gas productie leidt tot drukdaling (Δp) in het gasvoorkomen. Drukdaling in het gasvoorkomen leidt tot compactie (Δh) die aan de (depleterende) hoogte h gerelateerd is via de compactie-coëfficiënt C_m:

$$\Delta h = C_m \times h \times \Delta p$$

Compactie leidt vervolgens tot bodemdaling. De modellering van dit proces is gedaan conform de methode van G.H.C. van Opstal [Ref. 7]. Deze methode is verwerkt in het computer programma MATLAB, volgens een methode die door TNO opgezet is, en door SodM goedgekeurd.

Gebaseerd op beschikbare gegevens van de diepe ondergrond en het productiescenario zoals beschreven in dit winningsplan is een prognose opgesteld voor de bodemdaling ten gevolge van de voorgenomen winning van de voorkomens Opeinde-Zuid en Middelburen.

Er zijn meerdere voorkomens in dit gebied die overlappen. De bijdragen van de individuele velden en lagen is niet te onderscheiden omdat de bodemdalingskommen overlappen. Al de bodemdalingskommen die overlappen worden bij elkaar opgeteld om de uiteindelijke totale bodemdaling te berekenen. Gezien de lange geschiedenis van het meetplan, zijn er veel veranderingen in het meetplan geweest, waardoor de schatting van bodemdaling van een specifiek voorkomen aan onzekerheid onderhevig is. Dit is meegenomen als variatie in input parameters voor de bodemdaling berekeningen.

6.3.2 Bodemdalingsberekening per voorkomen

Tabel 6-1 is een tabel met de parameters die zijn gebruikt voor de bodemdaling berekeningen voor Opeinde-Zuid. De parameters zijn gebaseerd op eerdere bodemdalingservaringen in het gebied. Voor sommige parameters bestaat er een onzekerheid welke is meegenomen in de bodemdalingsberekeningen. Tabel 6-1 laat de variatie in parameters zien. Bodemdalingsberekeningen zijn gemaakt voor alle mogelijke parameter combinaties.Figuur 6-5 laat het resultaat van deze 27 berekeningen zien, waarbij is aangenomen dat elke parameter combinatie dezelfde kans heeft. De a priori p90 / p50 / p10 waarden voor bodemdaling in het diepste punt van de bodemdalingskom zijn respectievelijk 0,6 / 1,6 / 4,0 cm. Na kalibratie wordt deze range nauwer; in Figuur 6-6 is de gekalibreerde bodemdaling uitgezet tegen de tijd voor de p90 / p50 / p10 cases. Dit laat zien dat het grootste gedeelte van de bodemdaling al geweest is aangezien het grootste gedeelte van de productie in het verleden heeft plaatsgevonden. Op basis van deze berekeningen is de nog te verwachten maximale bodemdaling in het diepste punt minder dan 1 cm, waarvan het grootste deel na-ijl-daling is van verleden productie. Er wordt dus geringe bodemdaling verwacht op basis van het produceren van de laatste hoeveelheid gas zoals weergegeven in paragraaf 5.5.

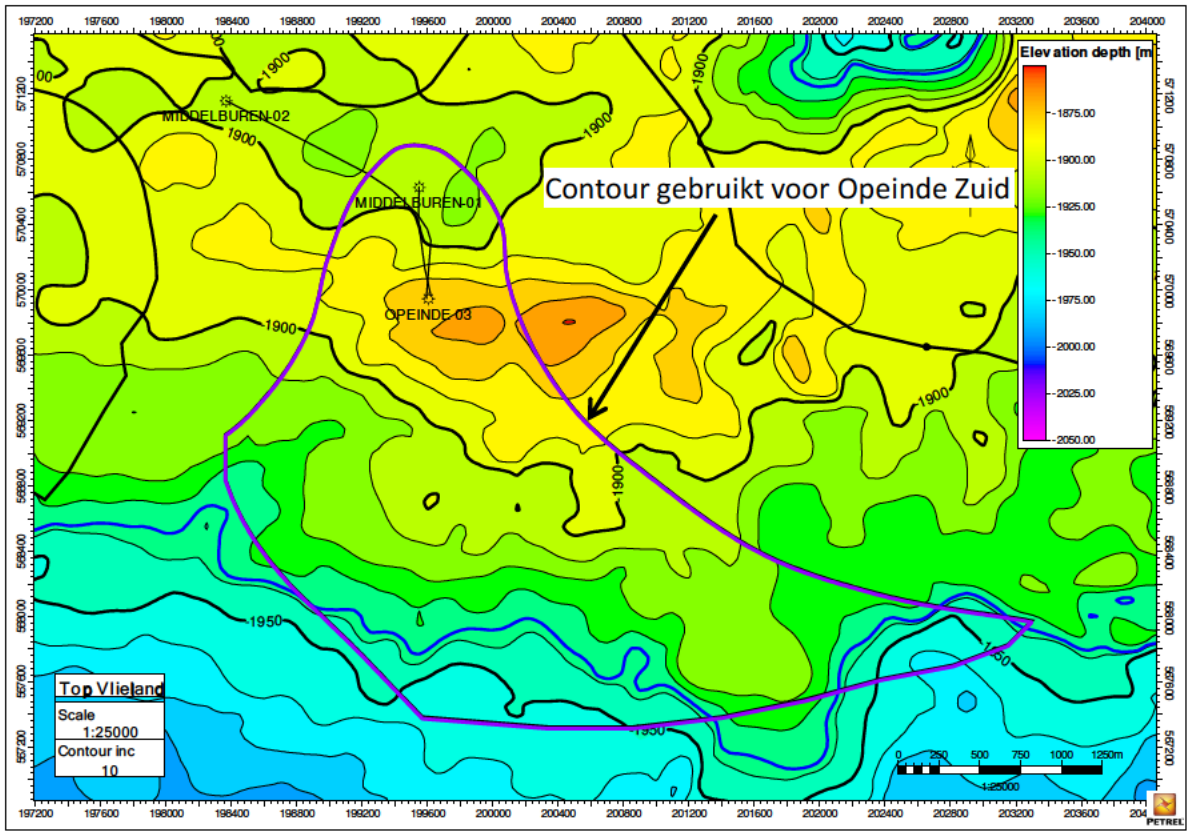
Tabel 6-2 is een tabel met de parameters die zijn gebruikt voor de bodemdaling berekeningen voor Middelburen Slochteren. De parameters zijn gebaseerd op eerdere bodemdalingservaringen in het gebied. Voor sommige parameters bestaat er een onzekerheid welke is meegenomen in de bodemdalingsberekeningen. Tabel 6-2 laat de variatie in parameters zien. Bodemdalingsberekeningen zijn gemaakt voor alle mogelijke parameter combinaties.Figuur 6-8 laat het resultaat van deze 54

berekeningen zien, waarbij is aangenomen dat elke parameter combinatie dezelfde kans heeft. De a priori p90 / p50 / p10 waarden voor bodemdaling in het diepste punt van de bodemdalingskom zijn respectievelijk 0,5 / 1,4 / 5,0 cm. Na kalibratie wordt deze range nauwer; in Figuur 6-9 is de gekalibreerde bodemdaling uitgezet tegen de tijd voor de p90 / p50 / p10 cases. De nog te verwachten bodemdaling is 0,2 / 0,6 / 2,6 cm voor de verschillende productie scenario's zoals beschreven in paragraaf 5.5, waarbij met name de onzekerheid in de te bereiken einddruk een rol speelt..

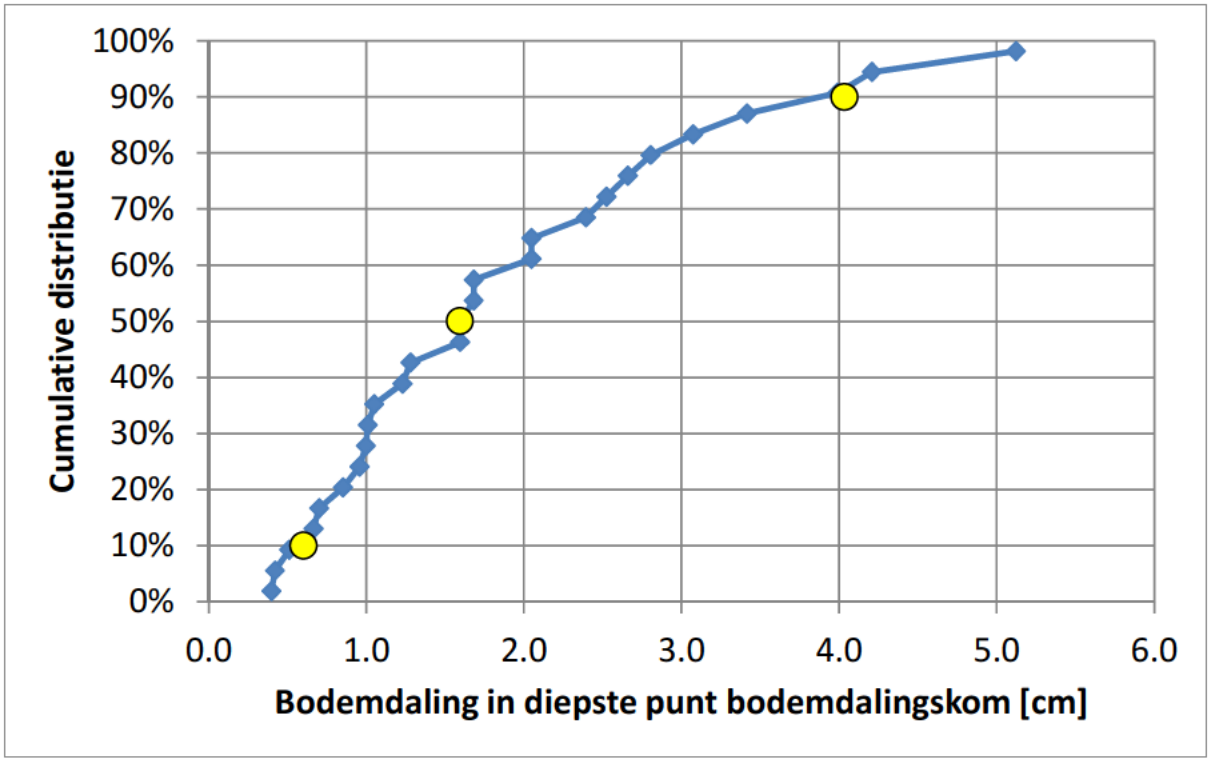
Tabel 6-3 is een tabel met de parameters die zijn gebruikt voor de bodemdaling berekeningen voor Middelburen Ten Boer. De parameters zijn gebaseerd op eerdere bodemdalingservaringen in het gebied. Voor sommige parameters bestaat er een onzekerheid welke is meegenomen in de bodemdalingsberekeningen. Tabel 6-3 laat de variatie in parameters zien. Bodemdalingsberekeningen zijn gemaakt voor alle mogelijke parameter combinaties. Figuur 6-11 laat het resultaat van deze 27 berekeningen zien, waarbij is aangenomen dat elke parameter combinatie dezelfde kans heeft. De a priori p90 / p50 / p10 waarden voor bodemdaling in het diepste punt van de bodemdalingskom zijn respectievelijk 0,2 / 0,4 / 0,8 cm. Doordat de daling van dit deelvoorkomen zo gering is, en zo kort geleden begonnen, is er geen kalibratie mogelijk; in Figuur 6-9 is de bodemdaling uitgezet tegen de tijd voor de p90 / p50 / p10 cases. Dit laat zien dat er op dit moment nog geen bodemdaling is aangezien de productie nog maar net gestart is. De nog te verwachten bodemdaling is 0,2 / 0,4 / 0,8 cm voor de verschillende productie scenario's zoals beschreven in paragraaf 5.5.

Tabel 6-1: Parameters gebruikt voor de bodemdaling berekeningen Opeinde-Zuid.

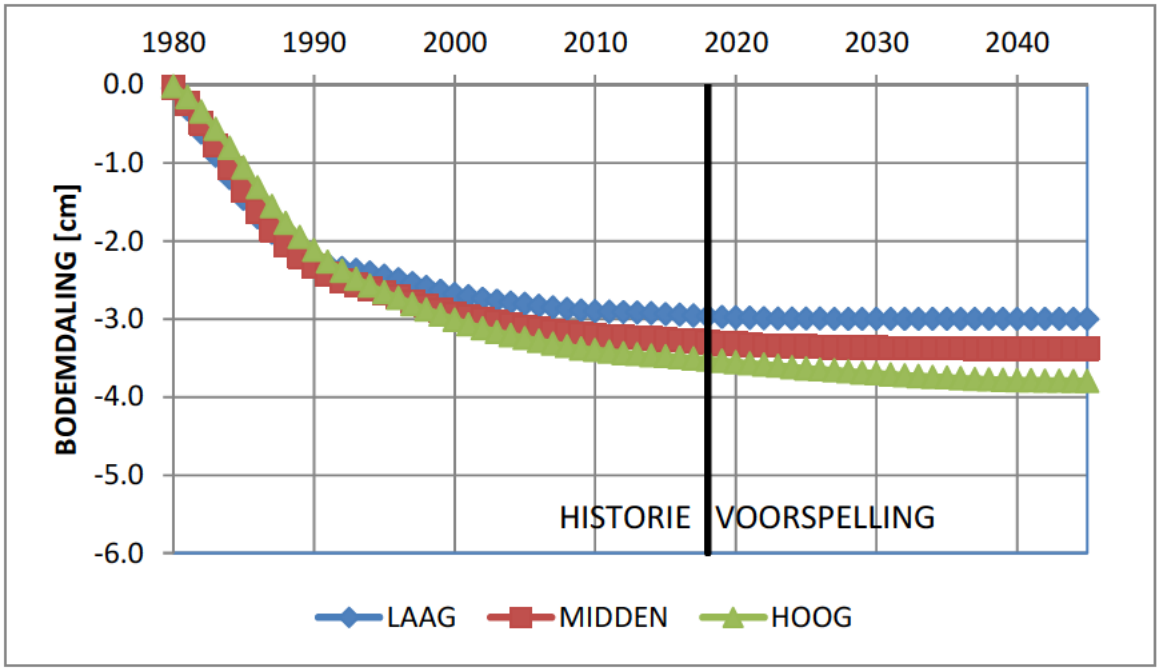
Reservoir:	***Opeinde-Zuid Vlieland***	
Contour	Begrensd door GWC op 1937 mTVDNAP, pinch out van de laag en het Akkrum veld, zie paragraaf 4.2.2 en Figuur 6-4.	
Begindruk	205	[bar]
Einddruk	15	[bar]
Poisson's Ratio	0.25	[-]
Gemiddelde Diepte Voorkomen	1900	[m]
Effectieve samendrukbaarheid gesteente	9 / 15 / 22,5 E-6	[1/bar]
(Depleterende) Dikte	5 / 12 / 20	[m]
Rigid basement	1,05 / 1,2 / 1.25	[-]
Tau [τ] tijdsvertraging	2 / 3 / 5	[jaar]
Productie profiel	Laag / Midden / Hoog	



Figuur 6-4: Opeinde-Zuid contour gebruikt voor de bodemdaling berekeningen. De begrenzing van het veld wordt voor een groot deel gevormd doordat de dikte van de zandsteen naar nul gaat, en komt daarom niet met de dieptecontouren overeen (zie hoofdstuk 4).



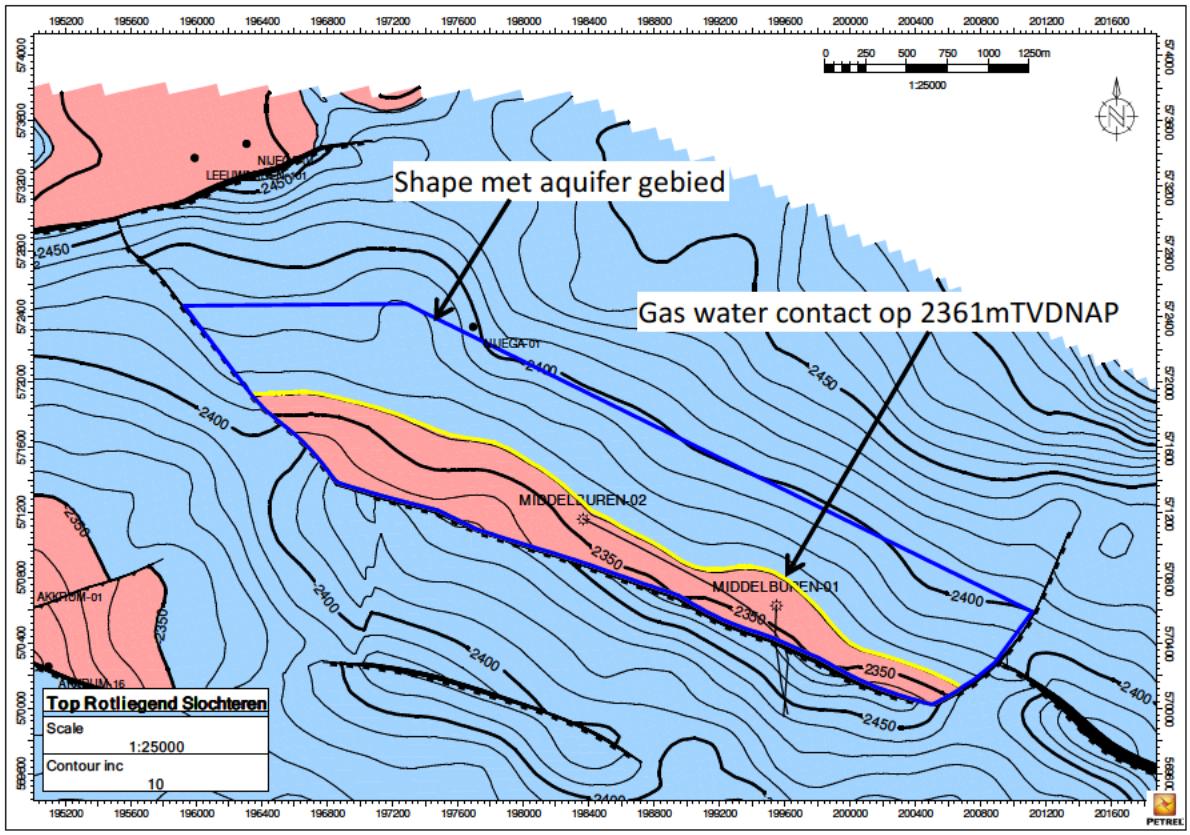
Figuur 6-5: A priori distributie in het diepste punt van de bodemdalingskom voor Opeinde-Zuid voorkomen.



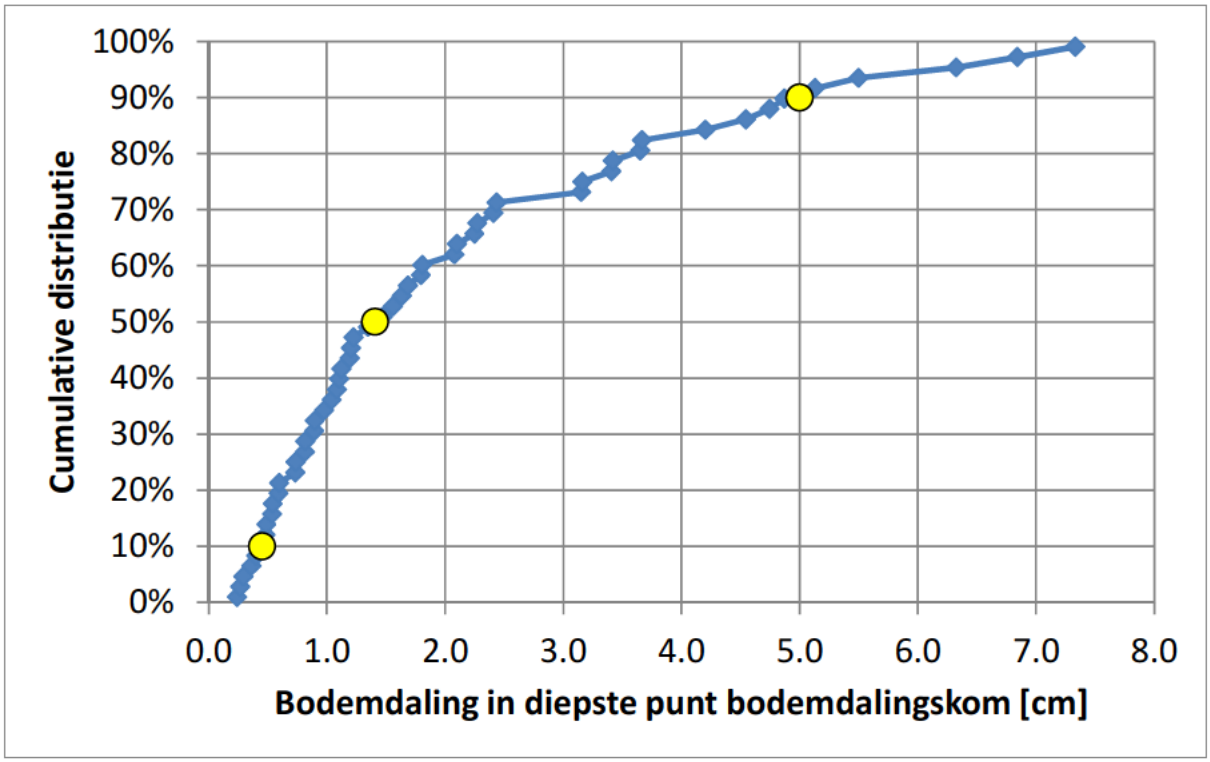
Figuur 6-6: Bodemdaling in het diepste punt van de bodemdalingskom van Opeinde-Zuid versus de tijd, gecalibreerd aan de metingen.

Tabel 6-2: Parameters gebruikt voor de bodemdaling berekeningen.

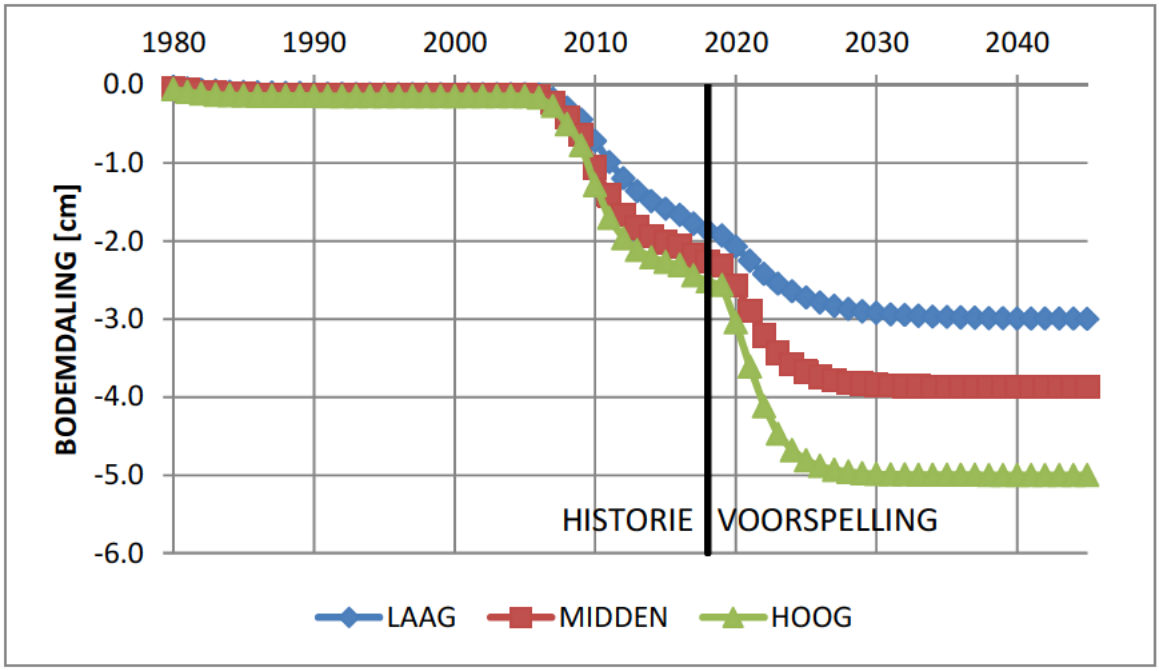
Reservoir:	***Middelburen Slochteren***	
Contour	GWC op 2361 mTVDNAP / vergroot oppervlakte om effect van aquifer mee te nemen, zie Figuur 6-7	
Begindruk	249	[bar]
Einddruk	200 / 150 / 100	[bar]
Poisson's Ratio	0.25	[-]
Gemiddelde Diepte Voorkomen	2350	[m]
Effectieve samendrukbaarheid gesteente	4 / 6 / 8 E-6	[1/bar]
(Depleterende) Dikte	126	[m]
Rigid basement	1,01 / 1,05 / 1,10	[-]
Tau [τ] tijdsvertraging	2 / 3 / 5	[jaar]
Productie profiel	Laag / Midden / Hoog	



Figuur 6-7: Middelburen Slochteren contouren gebruikt voor de bodemdaling berekeningen.



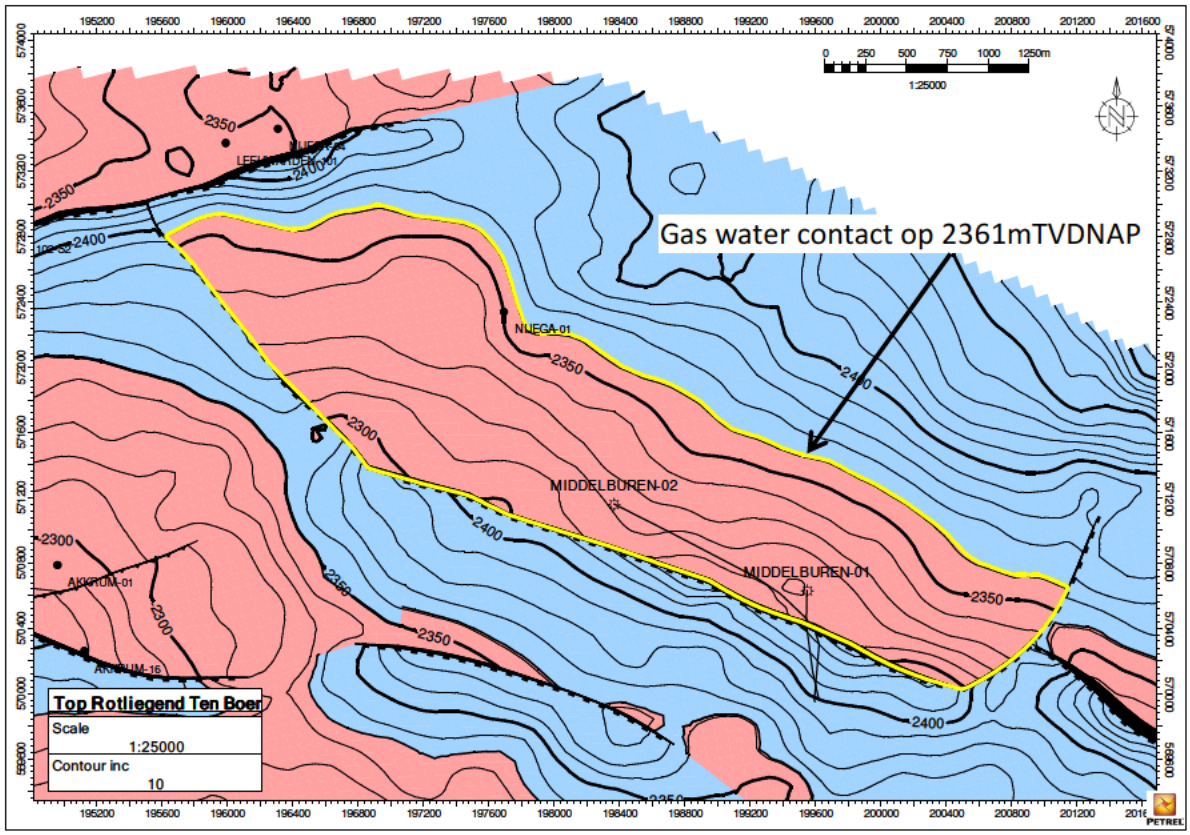
Figuur 6-8: A priori distributie in het diepste punt van de bodemdalingskom voor Middelburen-Slochteren voorkomen..



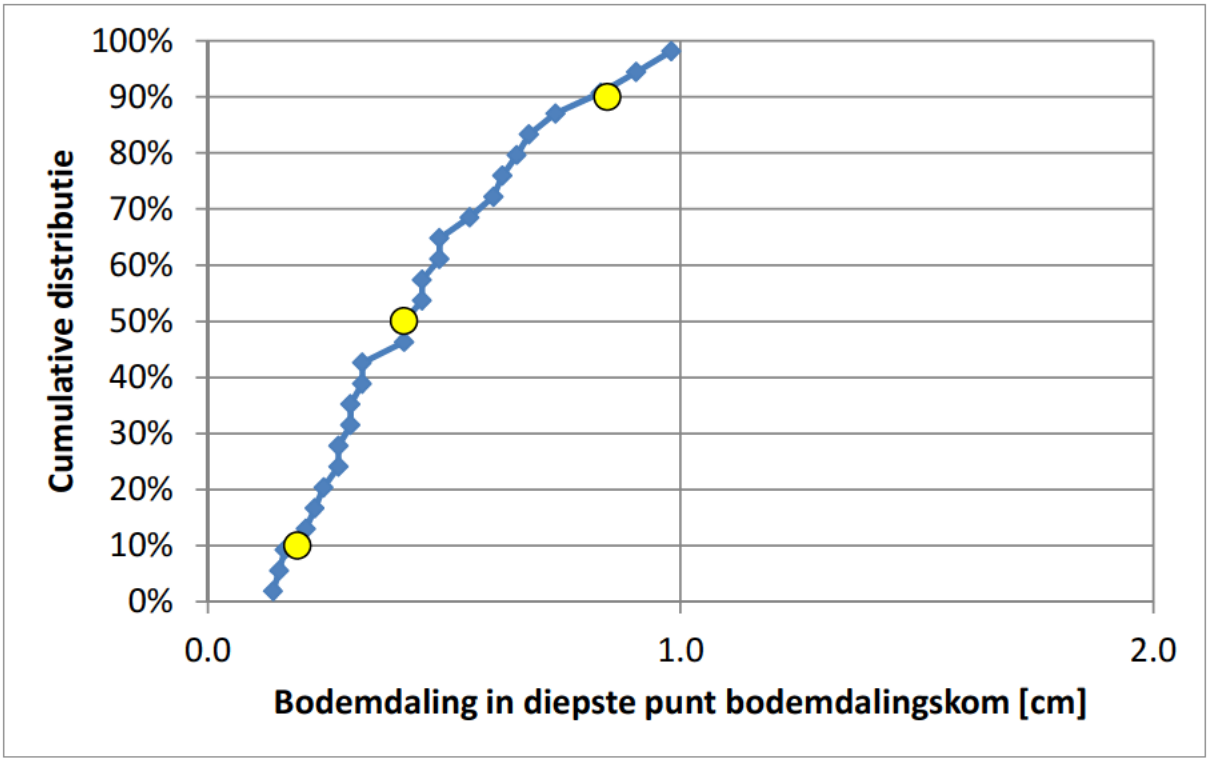
Figuur 6-9: Bodemdaling in het diepste punt van de bodemdalingskom van Middelburen Slochteren versus de tijd, gecalibreerd aan de metingen. De onzekerheid in de einddruk resulteert in een spreiding in de dalingsvoorspellingen.

Tabel 6-3: Parameters gebruikt voor de bodemdaling berekeningen.

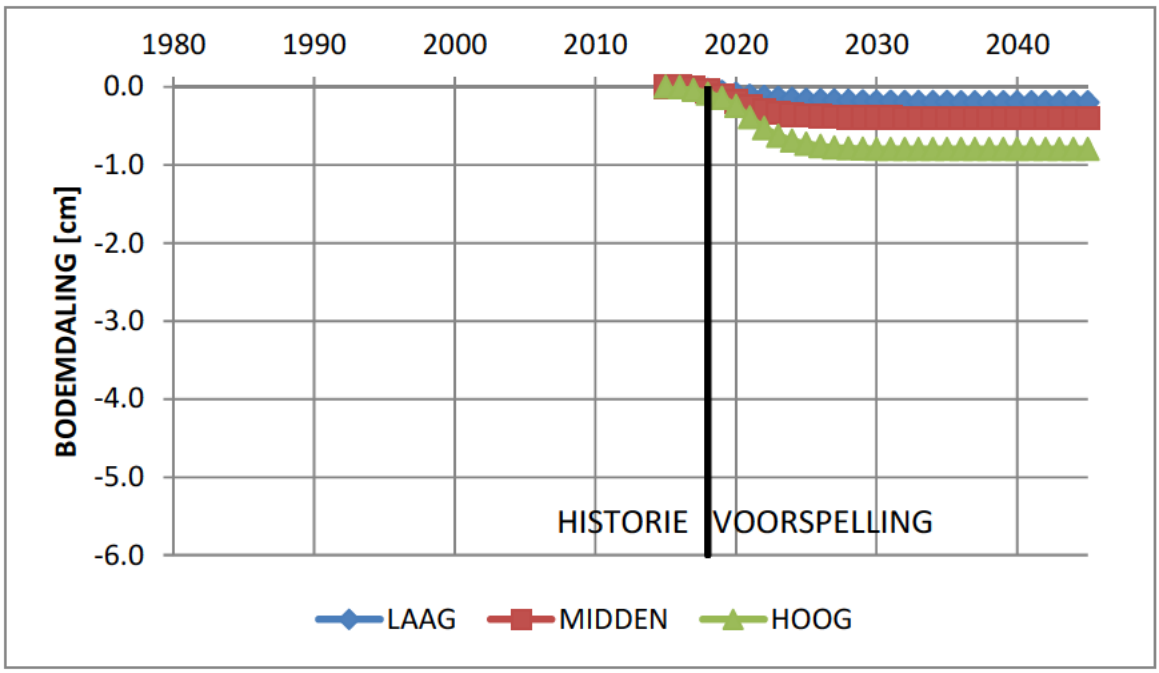
Reservoir:	***Middelburen Ten Boer***	
Contour	GWC op 2361 mTVDNAP, zie Figuur 6-10	
Begindruk	249	[bar]
Einddruk	15	[bar]
Poisson's Ratio	0.25	[-]
Gemiddelde Diepte Voorkomen	2330	[m]
Effectieve samendrukbaarheid gesteente	4 / 6 / 8 E-6	[1/bar]
(Depleterende) Dikte	5 / 10 / 15	[m]
Rigid basement	1,01 / 1,05 / 1,10	[-]
Tau [τ] tijdsvertraging	2 / 3 / 5	[jaar]
Productie profiel	Laag / Midden / Hoog	



Figuur 6-10: Middelburen Ten Boer contour gebruikt voor de bodemdaling berekeningen.



Figuur 6-11: A priori distributie in het diepste punt van de bodemdalingskom voor Middelburen-Slochteren voorkomen..



Figuur 6-12 Bodemdaling in het diepste punt van de bodemdalingskom van Middelburen Ten Boer versus de tijd. De Ten Boer bodemdaling is niet apart meetbaar.

Voor de berekeningen zijn meerdere velden in het Leeuwarden-Oost gebied meegenomen, omdat de dalingskommen overlappen (ref. 11).

Figuur 6-13 laat de samengestelde bodemdaling in 2018 zien boven de voorkomens Opeinde-Zuid, Middelburen Slochteren en Middelburen Ten Boer. De samengestelde bodemdaling in 2018 is 8,0 cm boven de voorkomens Opeinde-Zuid, Middelburen Slochteren en Middelburen Ten Boer. De bodemdaling in 2018 van de voorkomens Opeinde-Zuid, Middelburen Slochteren en Middelburen Ten Boer alleen is weergegeven in Figuur 6-16, waarbij de bodemdaling van omliggende voorkomens niet is meegenomen.

Figuur 6-14 laat de samengestelde nog voorspelde maximale bodemdaling zien vanaf 2018 tot einde gas productie boven de voorkomens Opeinde-Zuid, Middelburen Slochteren en Middelburen Ten Boer. De nog voorspelde maximale samengestelde bodemdaling is 4 cm in het diepste punt van de bodemdalingskom vanaf 2018. De voorspelde toekomstige bodemdaling van de voorkomens Opeinde-Zuid, Middelburen Slochteren en Middelburen Ten Boer alleen is weergegeven in Figuur 6-17, waarbij de bodemdaling van omliggende voorkomens niet is meegenomen.

Figuur 6-15 laat de samengestelde maximale bodemdaling zien bij het einde van de gasproductie boven de voorkomens Opeinde-Zuid, Middelburen Slochteren en Middelburen Ten Boer. De maximaal voorspelde uiteindelijke samengestelde bodemdaling is 12 cm in het diepste punt van de bodemdalingskom. De uiteindelijke bodemdaling bij het einde van de gasproductie van de voorkomens Opeinde-Zuid, Middelburen Slochteren en Middelburen Ten Boer alleen is weergegeven in Figuur 6-18, waarbij de bodemdaling van omliggende voorkomens niet is meegenomen.

6.4 Overzicht resultaten bodemdalingsberekening

Het overgrote deel van de productie in het voorkomen Opeinde-Zuid vond plaats relatief ver in het verleden. Ongeveer de helft van de productie van het Middelburen Slochteren vond plaats in het verleden. Bijgevolg kan aangenomen worden dat ook een groot deel van de gas gerelateerde bodemdaling al heeft plaatsgevonden, en dus al in de metingen zichtbaar is. Dat geldt niet voor de Middelburen Ten Boer, maar door de geringe netto dikte veroorzaakt dit een zeer kleine daling.

Tabel 6-4 geeft een overzicht van de samengestelde bodemdaling boven de voorkomens in dit winningsplan. De bijbehorende bodemdalingskaarten zijn weergegeven in Figuur 6-13 (huidig), Figuur 6-14 (toekomstig) en Figuur 6-15 (uiteindelijk).

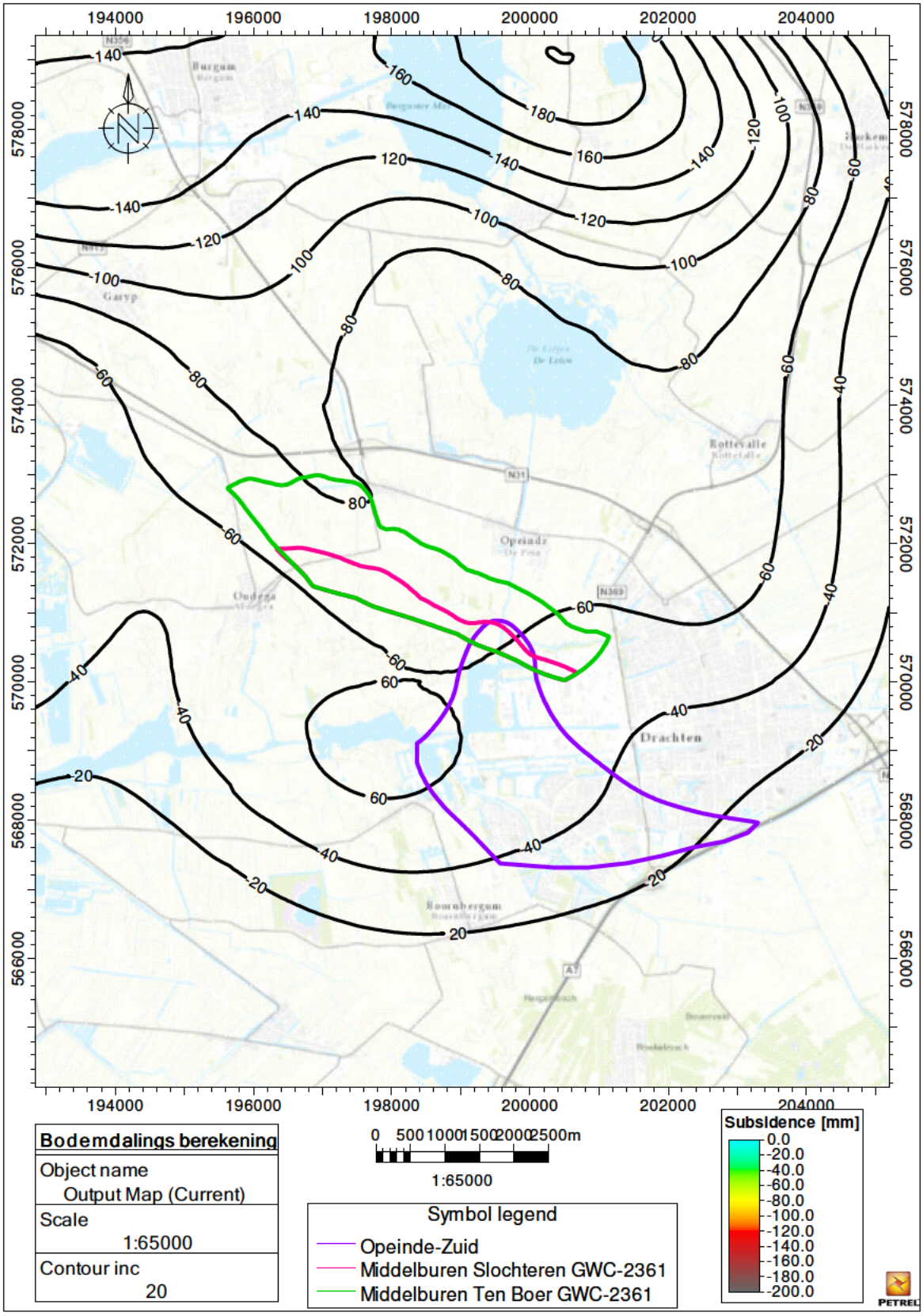
Tabel 6-5 geeft een overzicht van de individuele bodemdaling per voorkomen in dit winningsplan, exclusief de bodemdalingseffecten van andere voorkomens. De bijbehorende bodemdalingskaarten zijn weergegeven in Figuur 6-16 (huidig), Figuur 6-17 (toekomstig) en Figuur 6-18 (uiteindelijk).

Tabel 6-4: Samengestelde, maximale (P10) bodemdaling boven de voorkomens in dit winningsplan, inclusief de bodemdaling ten gevolge van omliggende voorkomens

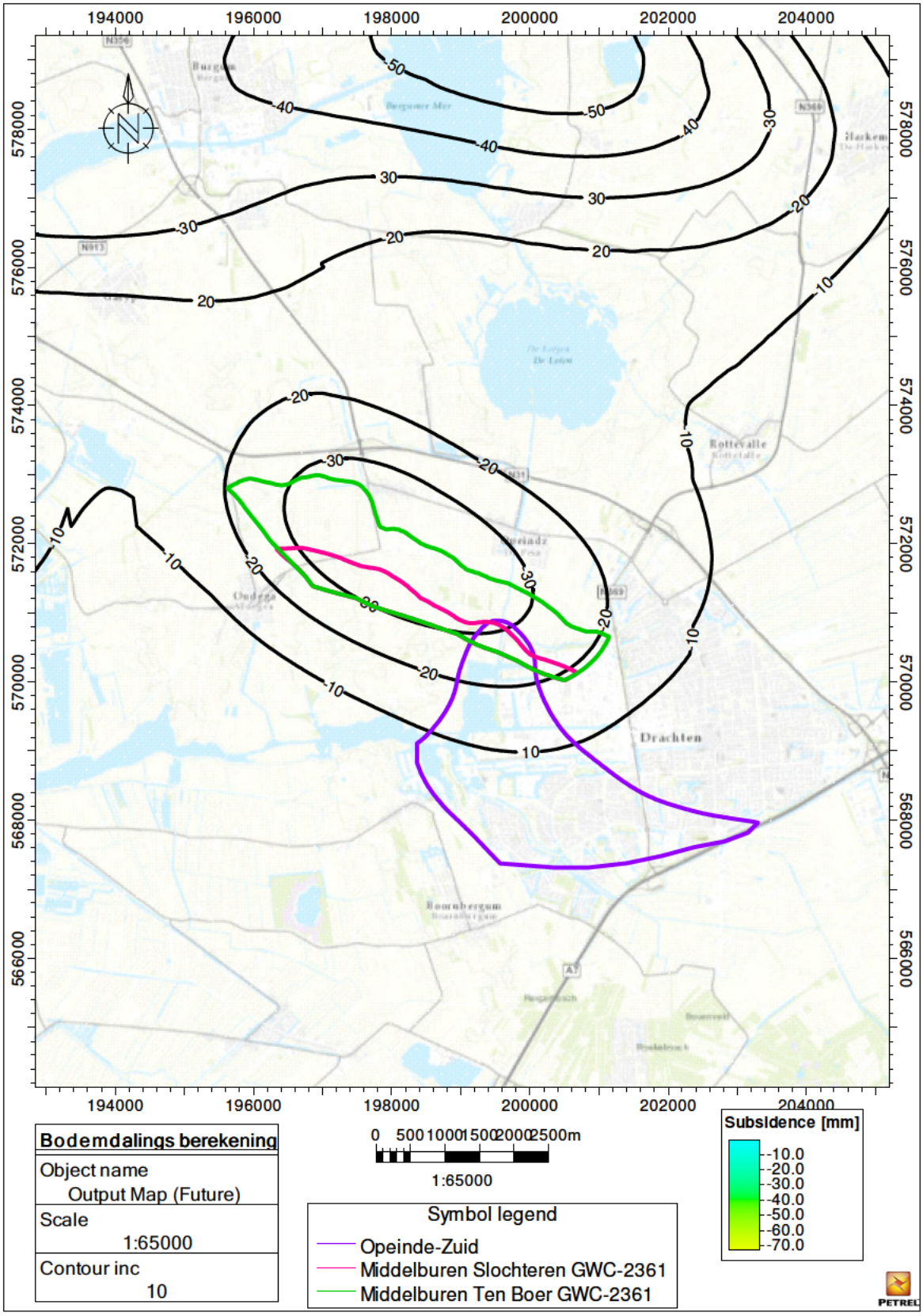
Samengestelde bodemdaling (P10), inclusief omliggende voorkomens			
	Reeds opgetreden tot 2018	Nog te verwachten bodemdaling vanaf 2018 tot einde productie	Uiteindelijk, bij einde productie
Opeinde-Zuid	6	3	9
Middelburen	8	4	12

Tabel 6-5: Individuele, maximale (P10) bodemdaling voor de voorkomens in dit winningsplan.

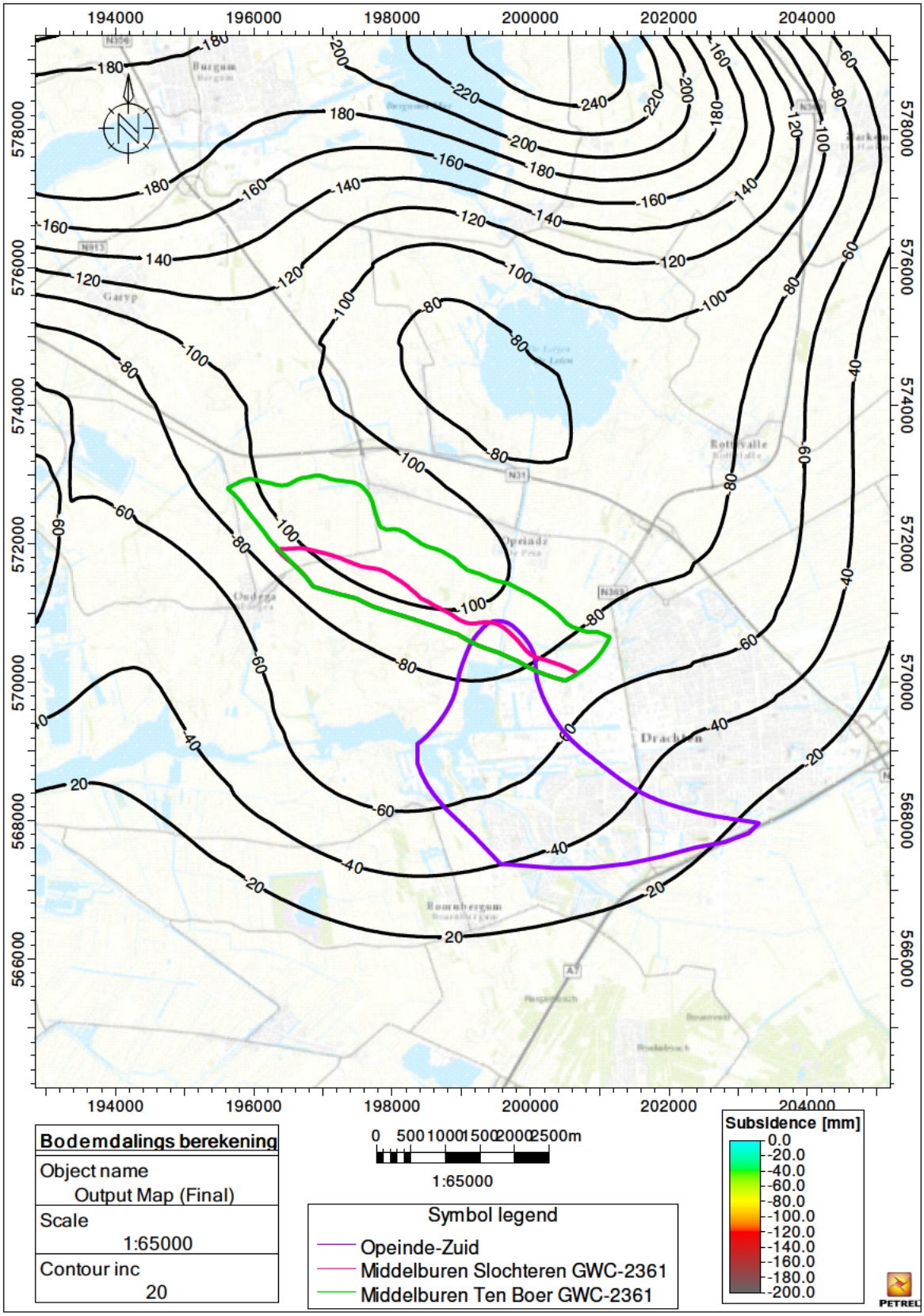
Individuele bodemdaling (P10) voor de voorkomens in dit winningsplan			
	Reeds opgetreden tot 2018	Nog te verwachten bodemdaling vanaf 2018 tot einde productie	Uiteindelijk, bij einde productie
Opeinde-Zuid	4 cm	< 1 cm	4 cm
Middelburen Slochteren	2 cm	3 cm	5 cm
Middelburen Ten Boer	< 1 cm	< 1 cm	1 cm



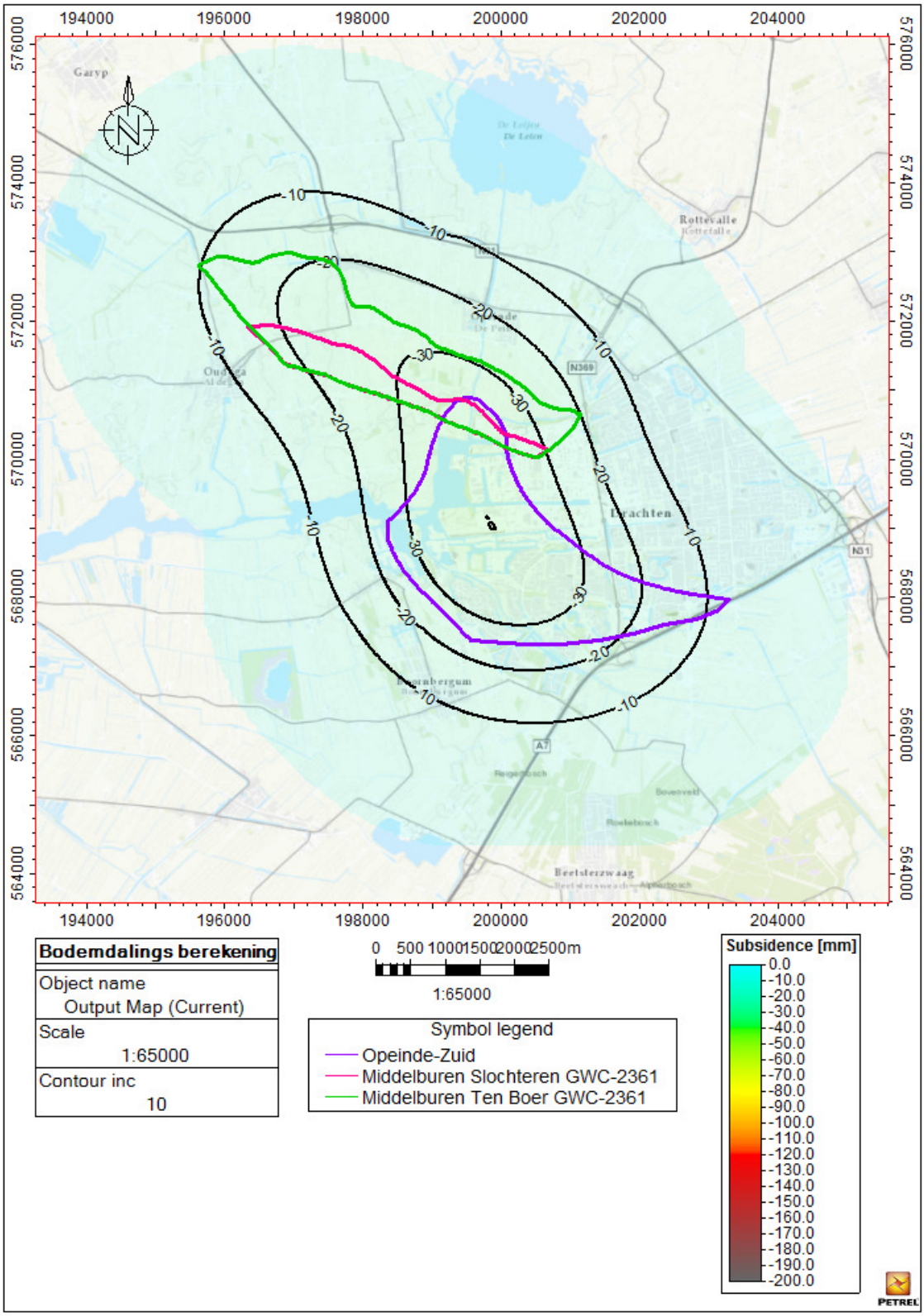
Figuur 6-13: Samengestelde bodemdaling in 2018 boven de voorkomens Opeinde-Zuid, Middelburen Slochteren en Middelburen Ten Boer [mm]. In het noorden is het effect van de winning 'Tietjerk' zichtbaar. De NAM winning 'Ureterp' is niet meegenomen (zie daarvoor ref. 10).



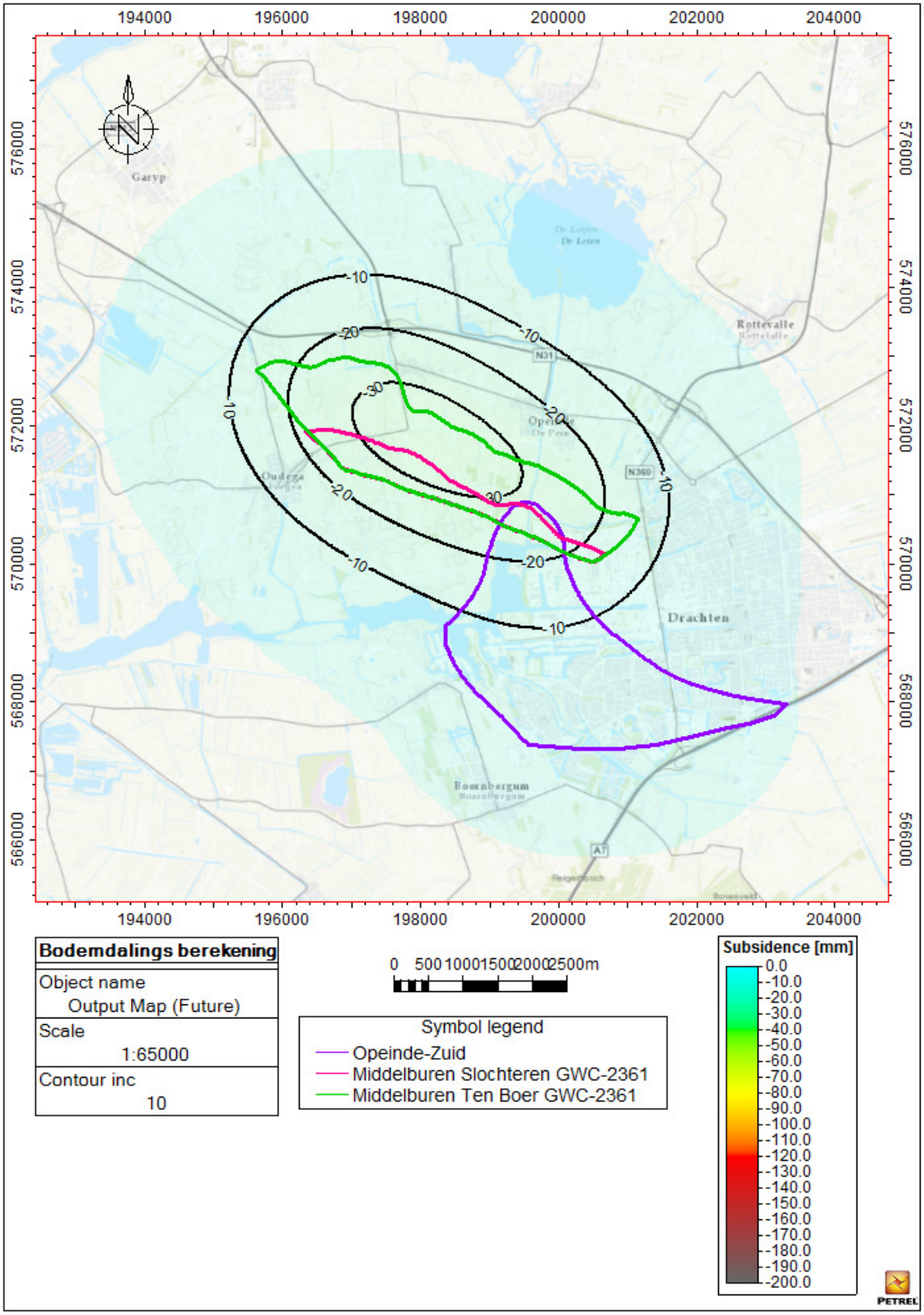
Figuur 6-14: Samengestelde nog voorspelde maximale bodemdaling vanaf 2018 tot einde gas productie boven de voorkomens Opeinde-Zuid, Middelburen Slochteren en Middelburen Ten Boer [mm]. In het noorden het effect van de winning 'Tietjerk' zichtbaar. De NAM winning 'Ureterp' is niet meegenomen (zie daarvoor ref. 10).



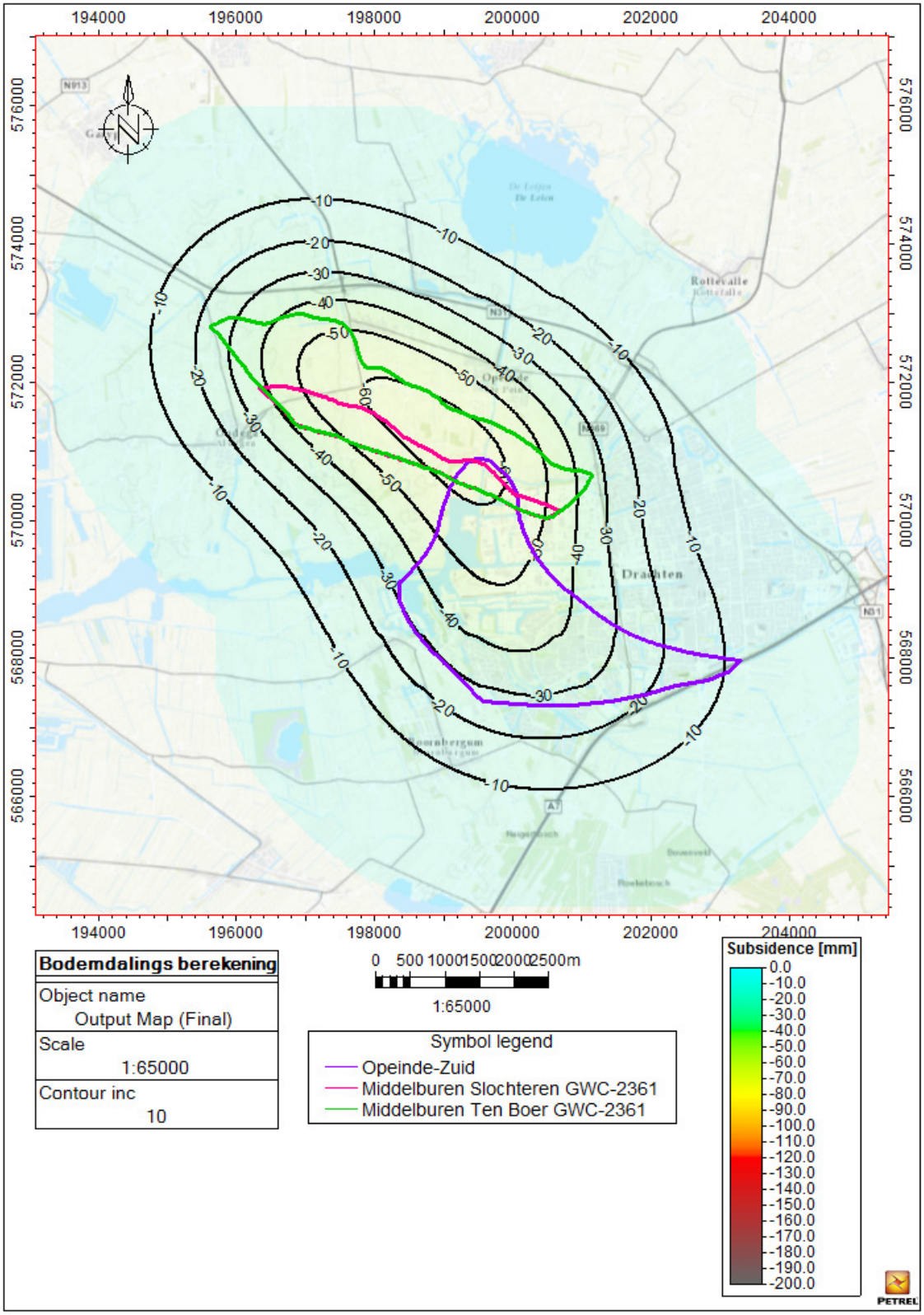
Figuur 6-15: Samengestelde maximale bodemdaling bij het einde van de gas productie boven de voorkomens Opeinde-Zuid, Middelburen Slochteren en Middelburen Ten Boer [mm]. In het noorden het effect van de winning 'Tietjerk' zichtbaar. De NAM winning 'Ureterp' is niet meegenomen (zie daarvoor ref. 10).



Figuur 6-16: Bodemdaling in 2018 door uitsluitend de voorkomens Opeinde-Zuid, Middelburen Slochteren en Middelburen Ten Boer [mm]. Bodemdaling van omliggende voorkomens niet meegenomen.



Figuur 6-17: Toekomstige voorspelde maximale bodemdaling vanaf 2018 tot einde gas productie door uitsluitend de voorkomens Opeinde-Zuid, Middelburen Slochteren en Middelburen Ten Boer [mm]. Bodemdaling van omliggende voorkomens niet meegenomen.



Figuur 6-18: Maximale uiteindelijke bodemdaling bij het einde van de gas productie boven de voorkomens Opeinde-Zuid, Middelburen Slochteren en Middelburen Ten Boer [mm]. Bodemdaling van omliggende voorkomens niet meegenomen.

6.5 Monitoring van bodemdaling

De bodemdaling wordt, conform de richtlijnen, gemonitord in het Meetplan 'Leeuwarden-Oost/Oosterend'. De laatste meting was in 2013. Er zal een nieuwe waterpasmeting uitgevoerd worden in 2018. De resultaten van deze meting zijn bij het schrijven van deze actualisatie nog niet beschikbaar.

De resultaten van de meetplannen en de meetregisters worden gedeeld met SodM en gepubliceerd op www.nlog.nl.

6.6 Mogelijke gevolgen van de verwachte bodemdaling

6.6.1 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 zal een gebouw geen schade oplopen, 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 ter verwachten is door bodemdaling als gevolg van gaswinning [Ref. 15, 17].

Bij de geringe dalingen die hier verwacht worden, minder dan 4 cm tot einde gaswinning, wordt ook niet verwacht dat de bodemdaling significante gevolgen heeft voor het normale beheer en het onderhoud van waterkeringen en waterlopen, en van het waterpeil.

6.6.2 Gevolgen voor natuur en milieu

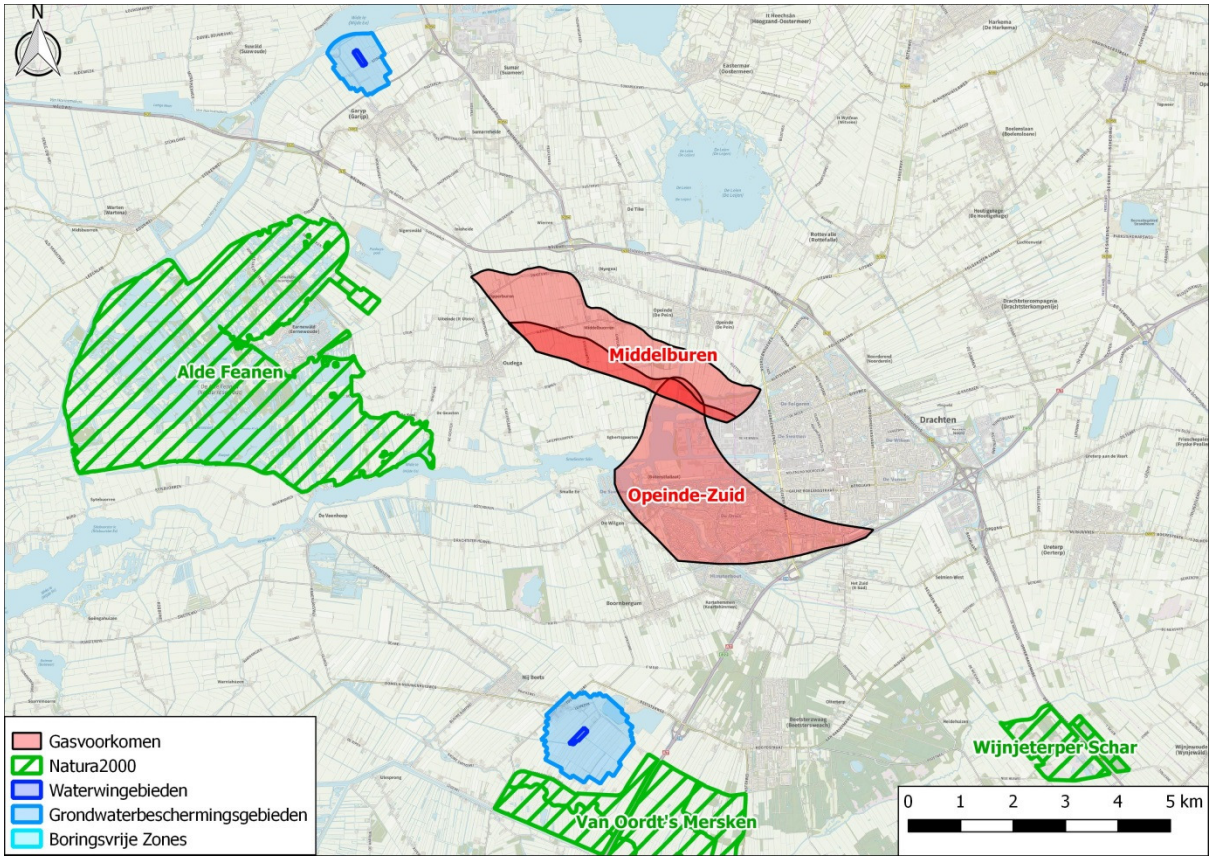
De bodemdaling verloopt zeer geleidelijk, met een uiterst geringe hellingshoek, en de opbouw duurt jaren zodat er geen plotselinge veranderingen plaatsvinden. Zo'n helling is niet merkbaar, en heeft geen effecten op natuur of milieu.

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 hanteren waterschappen over het algemeen 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 waterpeil zullen besproken worden met het Waterschap.

Vanwege het geleidelijke verloop en de minimale helling van de bodemdalingskom worden geen nadelige gevolgen verwacht voor gebouwen, infrastructuur, en voor natuur en milieu; zie ook Figuur 6-19 met daaronder de toelichting en Ref. 17.

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

Vanwege de geringe maximale bodemdaling, worden 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.



Figuur 6-19: Natura 2000 gebieden rond de voorkomens Middelburen en Opeinde-Zuid.

Uit deze kaart blijkt dat er Natura 2000 gebieden zijn ten oosten en zuiden van de voorkomens Middelburen en Opeinde-Zuid. Vanwege het geleidelijke verloop en de minimale helling van de bodemdalingskom worden geen nadelige gevolgen verwacht voor de Natura 2000 gebieden.

7 Bodemtrilling

De seismische risicoanalyse laat zien dat het seismisch risico voor het gasvoorkomen Opeinde-Zuid in Categorie 1 valt; de laagste risico categorie.

De seismische risicoanalyse laat zien dat het seismisch risico voor het gasvoorkomen Middelburen, Ten Boer formatie, in Categorie 1 valt; de laagste risico categorie.

De seismische risicoanalyse laat zien dat het seismisch risico voor het gasvoorkomen Middelburen, Slochteren formatie, in Categorie 1 valt; de laagste risico categorie.

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

Als gevolg van de compactie, het zakken van het gasvoorkomen-gesteente door de drukdaling als gevolg van de gaswinning, ontstaan er kleine verplaatsingen in de diepe ondergrond. Als deze verplaatsingen langs een breuk plaatsvinden, gebeurt het soms dat het gesteente aan weerszijden van de breuk ten opzichte van elkaar beweegt. Dit veroorzaakt een aardbeving. Zo'n beving 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 aardgasvoorkomens, zal het bronpunt van de beving, het zogeheten hypocentrum, op enkele kilometers diepte liggen, terwijl natuurlijke bevingen over het algemeen een veel dieper hypocentrum hebben..

Hoe groter de compactie van het gasvoorkomen, hoe groter de kans dat er significante zettingsverschillen over een breuk plaatsvinden. Voor bevingen is het dus van belang of en wat voor breuken in de gesteentelagen in (de buurt van) het gasvoorkomen aanwezig zijn. 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 analyseprotocol dat door SodM in samenwerking met TNO ontwikkeld is [Ref. 5].

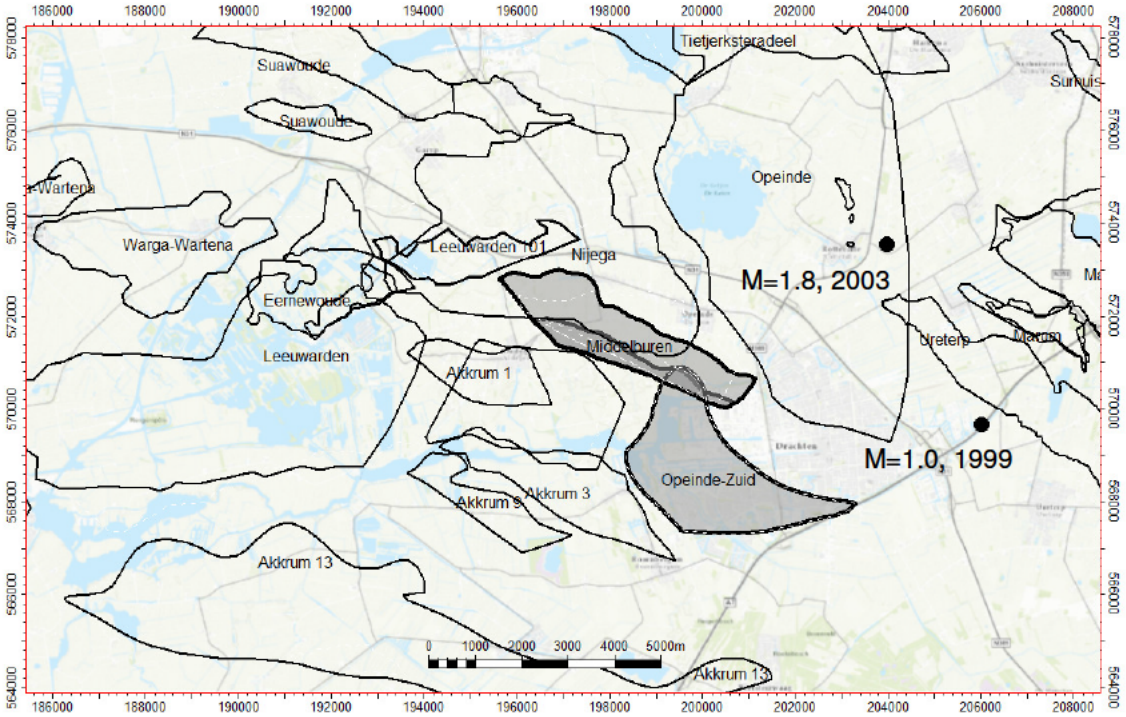
Naast de ondergrondsituatie, wordt in dat protocol ook de situatie aan het oppervlak bekeken. De aard van de bebouwing en infrastructuur in de omgeving van het voorkomen wordt meegewogen. Bij de effecten die aan de oppervlakte merkbaar zijn, speelt niet alleen de sterkte en de diepte van de beving een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

7.2 Historische bevingen in de voorkomens van dit winningsplan

Het KNMI beheert de dataset met aardbevingen in Nederland, zie www.knmi.nl.

Er hebben zich twee aardbevingen voorgedaan in dit gebied: een beving van 1.0 M in 1999 en een beving van 1.8 M in 2003. Figuur 7-1 laat de locatie van de bevingen zien ten opzichte van de voorkomens. Deze bevingen worden door TNO toegeschreven aan het voorkomen Ureterp [Ref. 6].

Er zijn geen geïnduceerde bevingen geweest door productie uit de voorkomens Middelburen en Opeinde-Zuid.

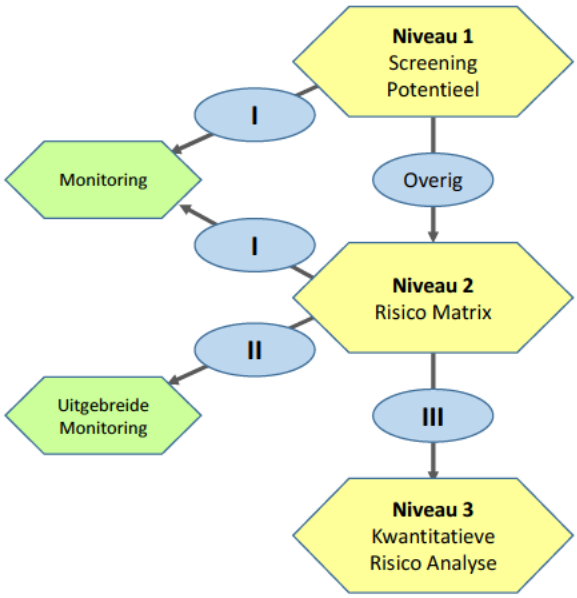


Figuur 7-1: Historische bevingen in de buurt van de voorkomens Middelburen en Opeinde-Zuid. De twee aangegeven bevingen zijn door TNO aan het voorkomen Ureterp toegeschreven (ref. 6).

7.3 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 [Ref. 5].

Om het seismisch risicoprofiel vast te stellen van een voorkomen wordt een risicoanalyse uitgevoerd voor het voorkomen volgens een getrapt model dat bestaat uit drie stappen. Deze drie stappen worden weergegeven in Figuur 7-2. Op basis van de uitkomsten van de verschillende individuele stappen worden vervolgstappen genomen.



Figuur 7-2: Weergave van de verschillende stappen in de seismisch risico analyse.

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 in de studie "Deterministische Hazard Analyse voor Geïnduceerde Seismiciteit in Nederland" [DHAIS analyse, 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 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, zal de risicoanalyse verder worden uitgebreid met de risico matrix (Niveau 2).

Niveau 2: Risico Matrix
In deze stap wordt op basis van een risicomatrixbenadering het risico ten gevolge van geïnduceerde aardbevingen verder gekwalificeerd.

De inschattingen van het risiconiveau (I, II, III) bepaalt of 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 risicoanalyse worden uitgevoerd in het geval een gasvoorkomen op basis van de risicomatrix als categorie III wordt gekwalificeerd.

De seismische risicoanalyse laat zien dat het seismisch risico voor het gasvoorkomen Opeinde-Zuid in Categorie 1 valt; de laagste risico categorie.

De seismische risicoanalyse laat zien dat het seismisch risico voor het gasvoorkomen Middelburen, Ten Boer formatie, in Categorie 1 valt; de laagste risico categorie.

De seismische risicoanalyse laat zien dat het seismisch risico voor het gasvoorkomen Middelburen, Slochteren formatie, in Categorie 1 valt; 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. Hoofdstuk 11, Bijlage: Seismische Risico Analyse: Details en Achtergronden, bevat de details omtrent de seismische risico-analyse. Hierbij is gebruik gemaakt van alle beschikbare reservoir-gegevens en omgevingsfactoren die belangrijk zijn bij het inschatten van het seismisch risico.

7.4 Monitoring van bodemtrillingen

Het monitoren van de seismische activiteit rondom de voorkomens Middelburen en Opeinde-Zuid zal worden gerealiseerd met behulp van het bestaande KNMI netwerk.

Vermilion is bezig om de dekkingsgraad van het seismometer-netwerk waar nodig te verbeteren. Dit gebeurd in overleg met het KNMI.

De data van alle stations komt rechtstreeks binnen bij het KNMI. De KNMI analyseert deze data continu voor seismische activiteit om locatie en magnitude aan te duiden.

7.5 Mogelijke gevolgen van bevingen ten gevolge van gaswinning uit de voorkomens in dit winningsplan

7.5.1 Schade aan openbare infrastructuur door bevingen ten gevolge van gaswinning

Gezien de te verwachten geringe effecten door bodembeweging als gevolg van de aardgasproductie en de daarmee gepaard gaande indeling in categorie I, laagste risico categorie, is de kans op schade verwaarloosbaar.

7.5.2 Schade aan bouwwerken door bevingen ten gevolge van gaswinning

Gezien de te verwachten geringe effecten door bodembeweging als gevolg van de aardgasproductie en de daarmee gepaard gaande indeling in categorie I, laagste risico categorie, is de kans op schade verwaarloosbaar.

7.5.3 Schade aan natuur en milieu door bevingen ten gevolge van gaswinning

Gezien de te verwachten geringe effecten door bodembeweging als gevolg van de aardgasproductie en de daarmee gepaard gaande indeling in categorie I, laagste risico categorie, worden er geen schadelijke effecten op natuur en milieu door bevingen ten gevolge van gaswinning verwacht.

Gezien de te verwachten geringe effecten door bodembeweging als gevolg van de aardgasproductie en de daarmee gepaard gaande indeling in categorie I, laagste risico categorie, wordt niet verwacht dat er nadelige effecten op Natura 2000 en milieubeschermingsgebieden zullen optreden.

Figuur 6-19 is een topo-grafische kaart met de gas voorkomens en de Natura 2000. Op deze kaart is te zien dat de voorkomens niet gelegen zijn onder (of nabij) Natura-2000 gebied. Er is dus geen invloed van de winning uit Opeinde-Zuid en Middelburen op deze natuur.

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

Gezien de indeling in categorie I wordt er geen schade van betekenis verwacht en 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 in overeenstemming met de regels van het burgerlijk recht.

8 Overige Omgeving Aspecten

8.1 Inleiding

De winning 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) Geluid	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 aangeven wat door mijnbouwondernemingen wordt gedaan om genoemde gevolgen te voorkomen, dan wel de effecten hiervan te beperken.

Merk op dat de Omgevingsvergunning verbonden is aan de oppervlaktelocatie(s) en –installatie(s), niet aan het voorkomen of het winningsplan

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, 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 NOx, SO_2, 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 oppervlaktewater 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, 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, dient een ecologisch onderzoek uitgevoerd te worden. Indien effecten niet uitgesloten kunnen worden, dient een ontheffing aangevraagd te worden.

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

8.7 Locaties

De vigerende omgevingsvergunning voor de mijnbouwlocatie Middelburen 1 is omgevingsvergunning met kenmerk DGETM-EO/16192000 d.d. 16 december 2016.

8.8 Schade-afhandeling

Indien als gevolg van bodemtrillingen of bodemdaling door gaswinning toch schade ontstaat, dan zal deze worden vergoed overeenkomstig de regels van het burgerlijk recht. Vermilion heeft een schadeprotocol opgesteld, dat op de website van Vermilion Nederland te vinden is (https://www.vermilionenergy.nl/onze-verantwoordelijkheid/vermilion-en-schade-door-

aardgaswinning/schade-melden.cfm). Voor bodemdaling in Friesland is er een specifieke regeling waarbij de afhandeling wordt uitgevoerd door de Commissie Bodemdaling Aardgaswinning Fryslân (http://www.bodemdalingfryslan.nl/).

8.9 Gedragscode

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

9 Verklarende woordenlijst

Aquifer	Watervoerend deel van het gasvoorkomen. Dat kan naast en/of onder het gasvoerende deel gelegen zijn.
Cm	Uniaxiale compactie-coëfficiënt; mate van samendrukbaarheid van het gesteente.
Compactie	Het samendrukken van het gasvoorkomengesteente 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 gasvoorkomen-gesteente
Epicentrum	Het epicentrum is het punt op het aardoppervlak loodrecht boven het hypocentrum (ondergronds punt) van een aardbeving.
EZK	Ministerie van Economische Zaken en Klimaat
GIIP	Volume gas initieel aanwezig in het voorkomen (in nm^3)
GPS of GNSS	Global Positioning System: systeem voor plaats- en hoogtebepaling met behulp van satellieten
GWC	Gas-water contact diepte (in m onder NAP)
Hypocentrum	Het hypocentrum is het ondergrondse gebied waar een aardbeving ontstaat.
Kern	Gesteentemonster uit de ondergrond verkregen bij het boren van een put
KNMI	Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut
LEW	(Deel)voorkomen Leeuwarden, winningsplan 'Leeuwarden en Nijega'
m RT	Diepte gemeten in m langs het boortraject, vanaf de boortafel (RT)
m TH	Diepte gemeten in m langs het boortraject, vanaf de tubing hanger (TH)
Mb	Mijnbouwbesluit
MBN of MDB	Middelburen
MER	Milieu-Effect-Rapportage
Mw	Mijnbouwwet
NGA	(Deel)voorkomen Nijega, winningsplan 'Leeuwarden en Nijega'
nm^3	m^3 bij 0 ^{0}C en 1.01325 bara [Ref.8]
OPE	Voorkomen Opeinde, winningsplan 'Opeinde'
OPS of OPZ	Opeinde-Zuid
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
Saturatie	Het gedeelte van het poriënvolume dat met water en gas is gevuld
SodM	Staatstoezicht op de Mijnen
SRA	Seismische Risico Analyse
SUW	Voorkomens Tietjerksteradeel, winningsplan Tietjerksteradeel
TCBB	Technische Commissie Bodembeweging
TID	Voorkomens Tietjerksteradeel, winningsplan Tietjerksteradeel
TNO	Nederlandse Organisatie voor Toegepast-Natuurwetenschappelijk Onderzoek
URE	Voorkomen Ureterp, winningsplan 'UMOG'
VEN	Vermilion Energy Netherlands B.V.
Vermilion	Vermilion Energy Netherlands B.V.

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. TNO, Seismiciteit onshore gasvelden Nederland, 2016 (R10164).
7. 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.
8. Physical Properties of Natural Gases, Nederlandse Gasunie, 1988.
9. Meetregister bij het meetplan Leeuwarden-Oost en Oosterend 2013, Antea, rapport 265194, 2014
10. Nederlands Aardolie Maatschappij, Bodemdalingsrapport Noord-Nederland, 2015
11. Vermilion, Statusrapport bodemdaling 2018
12. *NAP database GeoWeb, Rijkswaterstaat (https://geoservices.rijkswaterstaat.nl/geoweb51/index.html?viewer=NAPinfo)*
13. Schade aan buisleiding door aardbeving, fase 1 inventarisatie, Deltares Project report 1001649-000, 2010.
14. Seismisch hazard van geïnduceerde aardbevingen Integratie van deelstudies, Wassing, B.B.T. (TNO) & Dost, B. (KNMI), Report nummer TNO 2012 R11139, 24 december 2012.
15. De relatie tussen schade aan gebouwen en lichte, ondiepe aardbevingen in Nederland: inventarisatie, TNO Rapport 97-CON-R1523-1, door Van Staalduinen & Geurts, 1998.
16. KNMI, *Monitoring induced seismicity in the North of the Netherlands: status report 2010,* Scientific report WR 2012-03, 2012
17. http://www.commissiebodemdaling.nl/home/
18. Gedragscode Gaswinning Kleine Velden, NOGEPA, September 2017 (https://www.onsaardgas.nl/nogepa/gedragscode/)
19. Website Commissie Bodemdaling Aardgaswinning Fryslân: http://www.bodemdalingfryslan.nl/
20. Schadeprotocol Vermilion (https://www.vermilionenergy.nl/onze-verantwoordelijkheid/vermilion-en-schade-door-aardgaswinning/schade-melden.cfm)

11 Bijlage: Seismische Risico Analyse: Details en Achtergronden

De seismische risicoanalyse laat zien dat het seismisch risico voor het gasvoorkomen Opeinde-Zuid in Categorie 1 valt; de laagste risico categorie.

De seismische risicoanalyse laat zien dat het seismisch risico voor het gasvoorkomen Middelburen, Ten Boer formatie, in Categorie 1 valt; de laagste risico categorie.

De seismische risicoanalyse laat zien dat het seismisch risico voor het gasvoorkomen Middelburen, Slochteren formatie, in Categorie 1 valt; de laagste risico categorie.

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.

11.1 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 [Ref. 5].

Om het seismisch risicoprofiel vast te stellen van een voorkomen wordt een risico-analyse uitgevoerd voor het voorkomen volgens een getrapt model dat bestaat uit drie stappen. Deze drie stappen worden weergegeven in Figuur 7-2. Op basis van de uitkomsten van de verschillende individuele stappen worden vervolgstappen genomen.

Niveau 1: Screening Potentieel
In deze stap wordt het potentiele vermogen van het gasveld 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 velden 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.

11.2 Seismische Risico Analyse voorkomen Opeinde-Zuid

De studie *Deterministische Hazard Analyse voor Geïnduceerde Seismiciteit in Nederland* (TNO, ref. 3 en 4) (*DHAIS)* gebruikt gegevens over seismiciteit (bron: www.knmi.nl), drukdata en eigenschappen van de verschillende voorkomens. Aan de hand van de volgende parameters van een olie- of

gasvoorkomen wordt de kans bepaald dat zich, op enig moment gedurende de productie van een voorkomen, een beving voordoet:

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

$$B = \frac{Fault\_surface^{3/2}}{gross\_rock\_volume} = \frac{l_b^{3/2} \cdot h^{3/2}}{A \cdot h} = \frac{l_b^{3/2} \cdot \sqrt{h}}{A}$$

Waarbij:
l_b = De totale breuklengte van de intra-reservoir breuken en de randbreuken van het voorkomen in meters;
h = De maximale dikte van de gaskolom van het voorkomen in meters;
A = De oppervlakte van het voorkomen gemeten binnen de GWC dieptecontour (in vierkante meters);

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

Tabel 11-1 DHAIS kans-classificatie voor voorkomens die nog niet gebeefd hebben (TNO, ref. 3 en 4). De kans betreft bevingen met een magnitude M>1.5.

$\Delta P/P_{ini} \geq 28\%$	**B > 0,86 en E ≥ 1,34: P_h = 0.42 ± 0.08**
	B > 0,86 en 1,01 ≤ E ≤ 1,33: P_h = 0.19 ± 0.05
	B < 0,86 en/of E < 1,01: verwaarloosbare kans
$\Delta P/P_{ini} < 28\%$	Verwaarloosbare kans

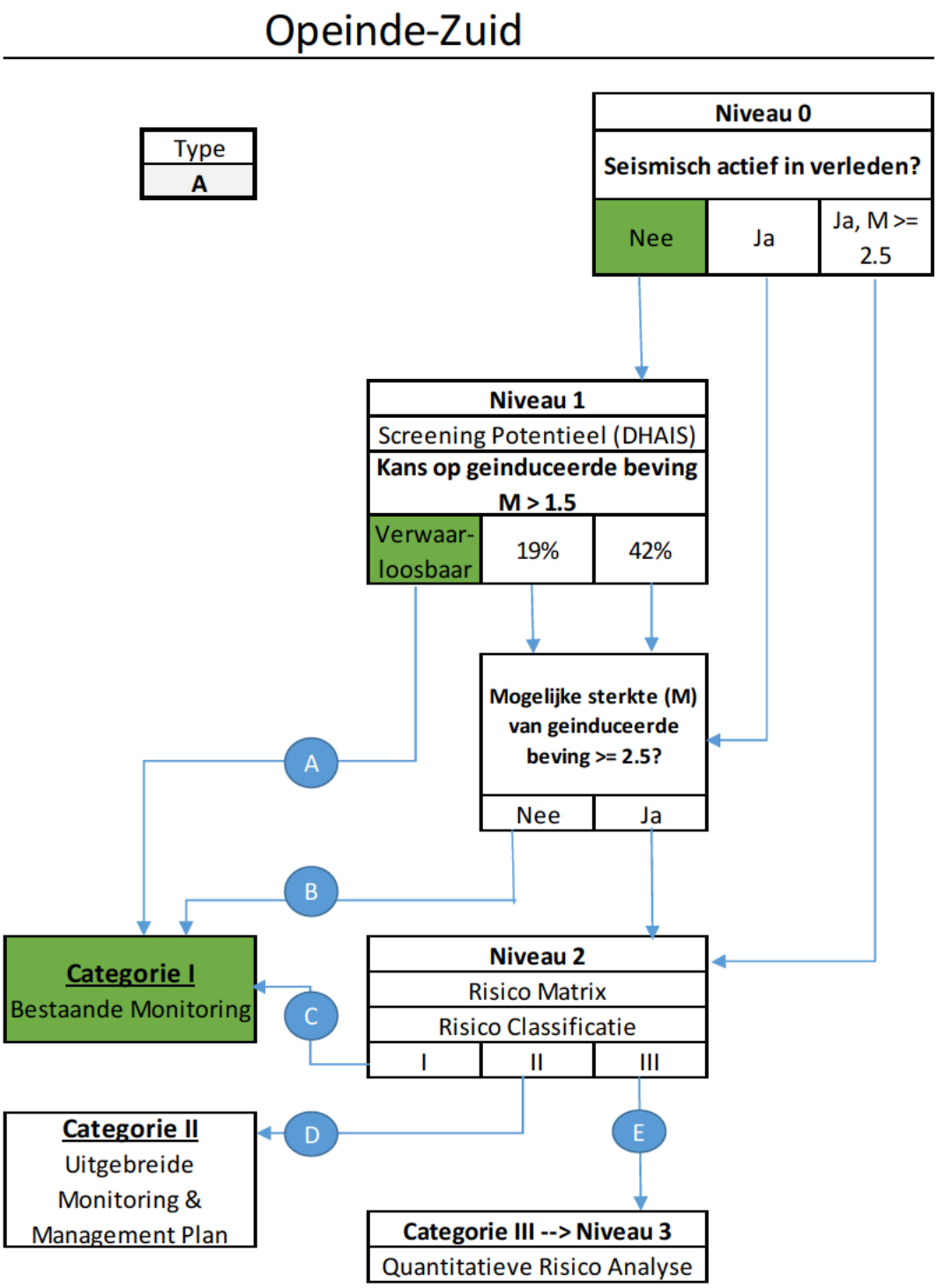
De grenswaarde voor de drukval als gevolg van gaswinning waaronder geen geïnduceerde bodemtrillingen zijn gemeten, is 28% van de initiële reservoirdruk. De drukval in het Opeinde-Zuid voorkomen heeft deze grenswaarde al overschreden.

De B en E factoren worden berekend aan de hand van gesteente eigenschappen aan de hand van de methodiek zoals beschreven in de SRA guideline [Ref. 5].

De schatting voor de E-factor is gebaseerd op metingen in o.a. de ZDW-A-07 en HPS-01 putten (die door dezelfde formaties gaan, en Vs logs hebben) en is uitgewerkt in Tabel 11-2.

Omdat de E-factor voor Opeinde-Zuid Vlieland (ruim) onder de drempelwaarde van 1.01 ligt, is het niet nodig de B-factor te evalueren.

Hieronder volgt de beslisboom van de seismische risico analyse van het Opeinde-Zuid voorkomen. De seismische risicoanalyse laat zien dat het seismisch risico voor het gasvoorkomen Opeinde-Zuid in Categorie 1 valt; de laagste risico categorie.



Figuur 11-1: Beslisboom seismische risico analyse voorkomen Opeinde-Zuid.

Tabel 11-2: Input waarden gebruikt voor seismische risico analyse Opeinde-Zuid

Data sources E		HPS-01 KNNS
		HPS-01 KNNC
Overburden, Vp	[m/s]	2805
Overburden, Vs	[m/s]	1676
Overburden, rho	[kg/m3]	2515
Reservoir, Vp	[m/s]	3393
Reservoir, Vs	[m/s]	1851
Reservoir, rho	[kg/m3]	2504
Static E Overburden	[GPa]	10.74
Static E Reservoir	[GPa]	13.83
E factor	**[-]**	**0.78**

Historic Seismicity?		N
Mmax_hist		0
Num events > 1.5		0

11.3 Seismische Risico Analyse voorkomen Middelburen Slochteren

Niveau 1 Analyse

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

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

$$B = \frac{Fault\_surface^{3/2}}{gross\_rock\_volume} = \frac{l_b^{3/2} \cdot h^{3/2}}{A \cdot h} = \frac{l_b^{3/2} \cdot \sqrt{h}}{A}$$

Waarbij:
l_b = De totale breuklengte van de intra-reservoir breuken en de randbreuken van het voorkomen in meters;
h = De maximale dikte van de gaskolom van het voorkomen in meters;
A = De oppervlakte van het voorkomen gemeten binnen de GWC dieptecontour (in vierkante meters);

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

Tabel 11-3 DHAIS kans-classificatie voor velden die nog niet gebeefd hebben (TNO, ref. 3 en 4). De kans betreft bevingen met een magnitude M>1.5.

$\Delta P/P_{ini} \geq 28\%$	B > 0,86 en E ≥ 1,34: P_h = 0.42 ± 0.08
	B > 0,86 en 1,01 ≤ E ≤ 1,33: P_h = 0.19 ± 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 Middelburen Slochteren voorkomen heeft deze grenswaarde nog niet overschreden door de aanwezige aquifer en

het feit dat nog niet al het gas geproduceerd is. Vermilion verwacht dat de reservoir druk zal dalen tot minimaal 100 bar wanneer het resterende gas geproduceerd is.

De B en E factoren worden berekend aan de hand van gesteente eigenschappen aan de hand van de methodiek zoals beschreven in de SRA richtlijn [Ref. 5].

De schatting voor de E-factor is gebaseerd op metingen in o.a. de APS-02 en GSB-01 putten (die door dezelfde formaties gaan, en Vs logs hebben) en is uitgewerkt in de onderstaande Tabel 11-4.

De E-factor voor Middelburen Slochteren ligt boven de drempelwaarde van 1.01. Het is daarom nodig om de B-factor te evalueren. In Tabel 11-4 staan de parameters voor de volledige Slochteren gas kolom; dit is van top reservoir tot het GWC [Ref. 6]. De B-factor ligt dus boven de drempelwaarde van 0.86.

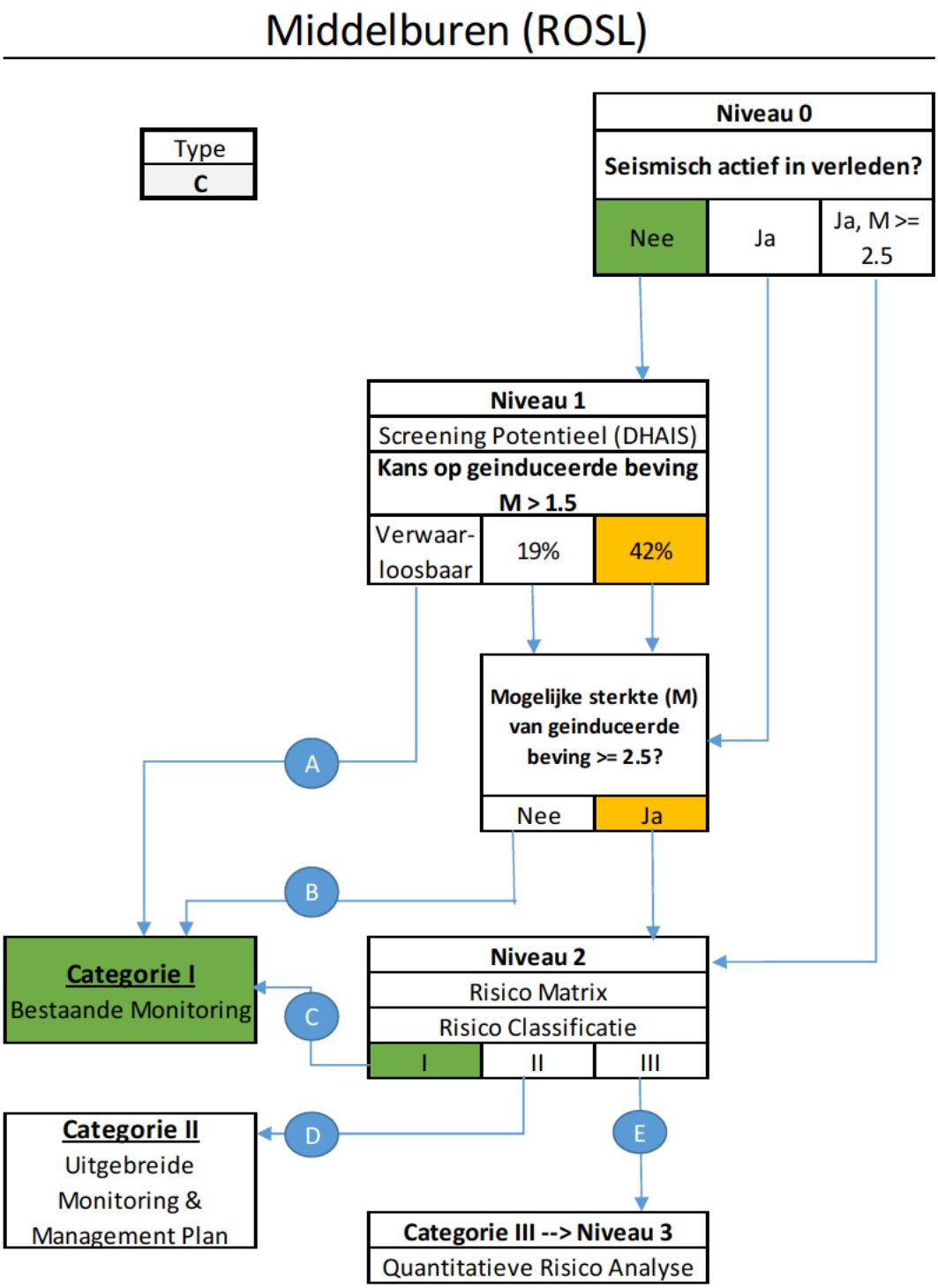
Voor het Middelburen Slochteren voorkomen is de Mmax geëvalueerd, omdat zowel E als B boven de drempelwaarde liggen. In Tabel 11-4 staan de parameters voor de volledige gas-kolom; dit is van top reservoir tot het GWC [Ref. 6].

Het is noodzakelijk om de Niveau 2 analyse te doen voor het Middelburen Slochteren voorkomen.

Niveau 2 Analyse
Een analyse van de gevolgen van een mogelijke bodemtrilling in het Middelburen Slochteren voorkomen leidt tot een indeling van het veld in de Categorie I, zie Figuur 11-3. Dit betekent dat de kans op een trilling met significante schade zeer klein is. Zoals boven besproken is, is voor een categorie I veld monitoring met het huidige KNMI netwerk afdoende.

De seismische analyse, en dus de positie van het voorkomen in Figuur 11-3, is gebaseerd op de tabellen en gegevens op de volgende pagina's. Deze gegevens zijn onder andere afkomstig van www.risicokaart.nl.

Figuur 11-2 is de beslisboom van de seismische risico analyse van het Middelburen Slochteren voorkomen waarin al het voorgaande is samengevat. De seismische risicoanalyse laat zien dat het seismisch risico voor het gasvoorkomen Middelburen Slochteren in Categorie 1 valt; de laagste risico categorie.



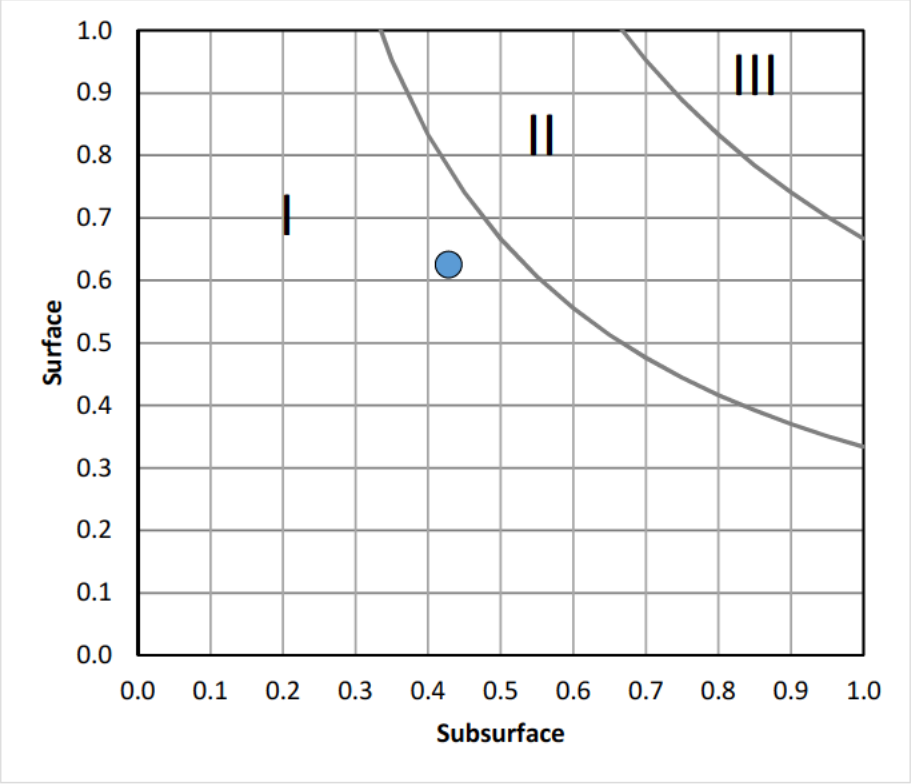
Figuur 11-2: Beslisboom seismische risico analyse voorkomen Middelburen Slochteren.

Tabel 11-4: Input waarden gebruikt voor seismische risico analyse Middelburen Slochteren.

Depth (GWC)	[mTVDss]	2361
Initial pressure	[bar]	249
Dp/Pini	[-]	60%
Total Fault Length	[m]	4725
Longest Fault	[m]	4600
Area @ GWC	[km2]	1.53
h of gas column	[m]	26.0
B factor	**[-]**	**1.08**
Data sources E		APS-02 RO
		APS-02 ZEZ1
Overburden, Vp	[m/s]	5305
Overburden, Vs	[m/s]	2964
Overburden, rho	[kg/m3]	2796
Reservoir, Vp	[m/s]	4054
Reservoir, Vs	[m/s]	2436
Reservoir, rho	[kg/m3]	2435
Static E Overburden	[GPa]	39.70
Static E Reservoir	[GPa]	22.19
E factor	**[-]**	**1.79**

Historic Seismicity?		N
Mmax_hist		0
Num events > 1.5		0

Height of largest fault	[m]	26.0
Compaction for Mmax from	Gross elastic log average	
Cm (for Mmax)	[1/bar]	3.96E-06
Compacting height	[m]	126
Poisson Ratio Reservoir	[-]	0.217
Mmax	*(frac)*	**2.8**
	(comp)	**2.7**



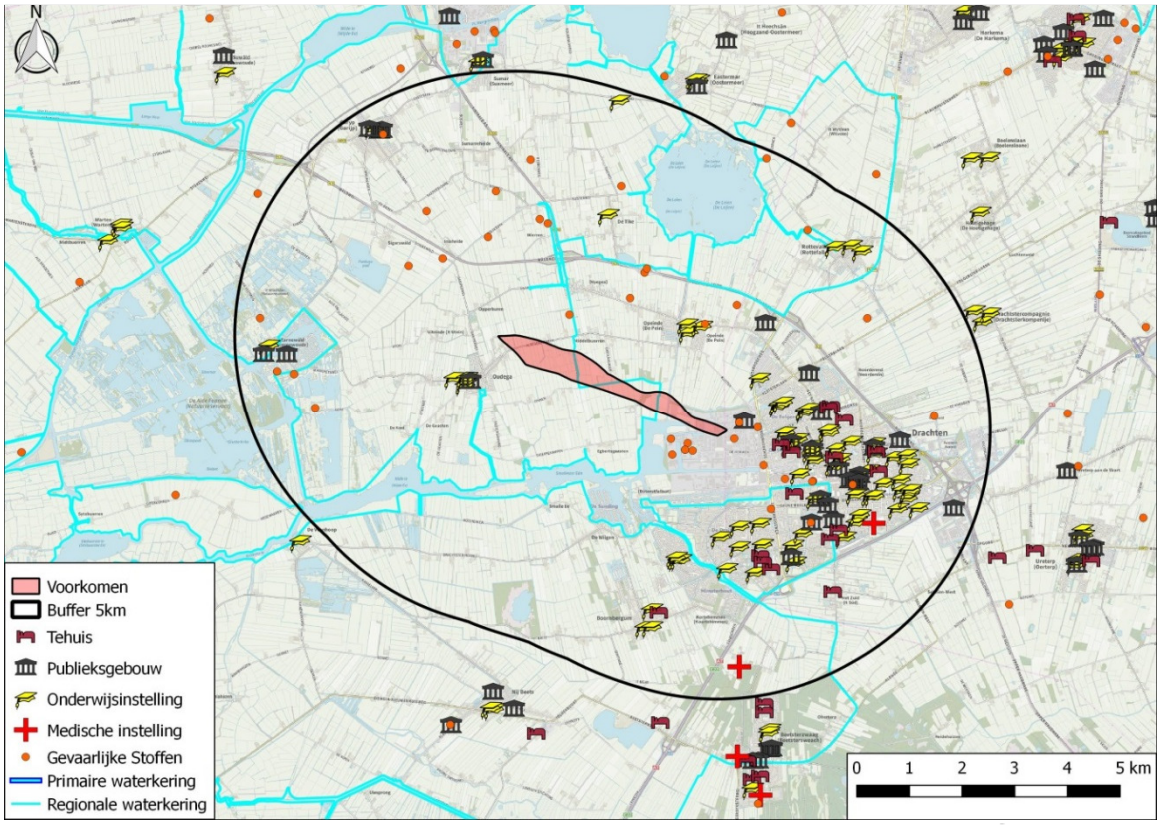
Figuur 11-3: Niveau 2 analyse voor Middelburen Slochteren.

Tabel 11-5: Overzicht van ondergrond-factoren. De ondergronds-score wordt berekend door de individuele scores op te tellen, en het totaal te delen door 14 (de maximale score), en geplot op de x-as van Figuur 11-3.

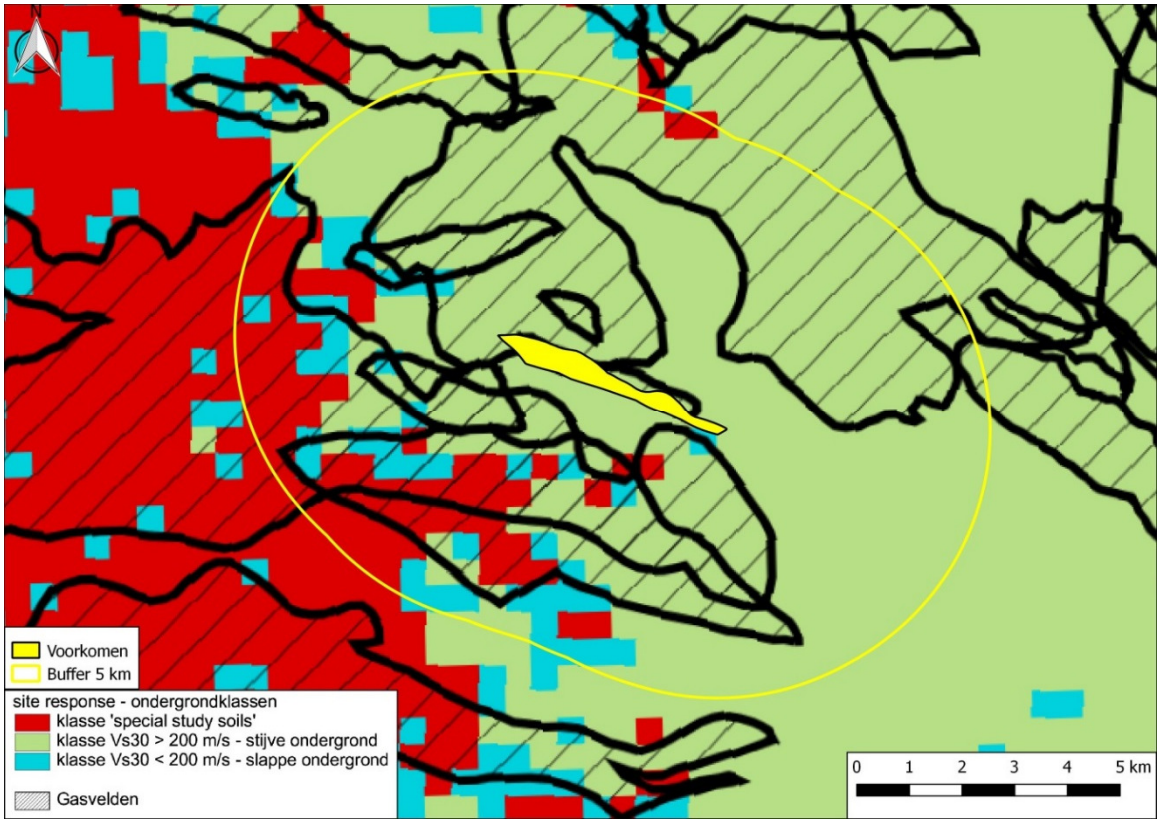
Score	DHAIS	M	Ligging voorkomen	Opslingering
5		Alle methodes > 4.5		
4	Bevend veld; > 5 bevingen per jaar van M > 1.5	1 methode > 4.5 en/of alle methodes 4.1-4.5		
3	Bevend veld; < 5 bevingen per jaar van M > 1.5	1 methode 4.1-4.5 en/of alle methodes 3.6-4.0		>60% slappe grond (Vs,30 < 200m/s) en/of >30% grondsoort die extra gevoelig zijn voor amplificatie, zoals veenlagen dikker dan 3m en slappe veenlagen met een dikte van 1m-3m gelegen op een stijve ondergrond.
2	p = 42% of bevend veld M < 1.5	1 methode 3.6-4.0 en/of alle methodes 3.1-3.5	Boven de lijn Amsterdam-Arnhem	30-60% slappe grond (Vs,30 < 200m/s) en/of 15-30% grondsoort die extra gevoelig zijn voor amplificatie, zoals veenlagen dikker dan 3m en slappe veenlagen met een dikte van 1m-3m gelegen op een stijve ondergrond.
1	p = 19%	1 methode 3.1-3.5 en/of alle methodes 2.6-3.0		10-30% slappe grond (Vs,30 < 200m/s) en/of 5-15% grondsoort die extra gevoelig zijn voor amplificatie, zoals veenlagen dikker dan 3m en slappe veenlagen met een dikte van 1m-3m gelegen op een stijve ondergrond.
0	Verwaarloosbaar	1 methode 2.6-3.0 en/of alle methodes <= 2.5	Onder de lijn Amsterdam-Arnhem	<10 % slappe grond (Vs,30 < 200m/s) en/of < 5% grondsoort die extra gevoelig zijn voor amplificatie, zoals veenlagen dikker dan 3m en slappe veenlagen met een dikte van 1m-3m gelegen op een stijve ondergrond.

Tabel 11-6: Overzicht van oppervlakte-factoren.De ondergronds-score wordt berekend door de individuele scores op te tellen, en het totaal te delen door 16 (de maximale score). Daarna wordt het getal geplot op de y-as van Figuur 11-3. Zie de kaarten hieronder voor de brongegevens.

Score	Bevolkings-dichtheid	Industriele inrichtingen	Speciale gebouwen en vitale infrastructuur	Dijken
4	>2500 inwoners/km2	Meerdere direct boven het veld	Meerder ziekenhuizen en/of energievoorzieningen direct boven het veld	Primaire dijken boven het veld
3	1000-2500 en/of 500-1000 met wijken bestaande uit flats/appartementencomplexen binnen 5 km rond het veld	1 boven het veld en/of meerdere binnen 5 km rond het veld.	1 ziekenhuis en/of energievoorziening direct boven het veld of meerdere binnen 5 km rond het veld. Meerdere scholen, tehuizen en/of publieksgebouwen direct boven het veld	Primaire dijken binnen 5 km rond het veld en/of secundaire dijken boven het veld
2	500-1000 en/of 250-500 met wijken bestaande uit flats/appartementencomplexen binnen 5 km rond het veld	1 binnen 5 km rond het veld.	1 school, tehuis en/of publieksgebouw boven het veld of meerdere binnen 5 km rond het veld.	Secundaire dijken binnen 5 km rond het veld
1	250-500 en/of <250 met wijken bestaande uit flats/appartementencomplexen binnen 5 km rond het veld		1 school, tehuis en/of publieksgebouw binnen 5 km rond het veld.	
0	<250	Geen binnen 5 km rond het veld	Geen boven en/of binnen 5 km rond het veld	Geen dijken binnen 5 km rond het veld



Figuur 11-4: Overzicht van dijken (blauwe lijntjes) en 'Speciale gebouwen' (scholen= , tehuizen= , overige publieke gebouwen= , e.d.) in de omgeving van het Middelburen veld. Rode puntjes zijn 'industriele inrichtingen. (bron: risicokaart.nl) De rode cirkel geeft de 5 km straal in die relevant is voor de SRA.



Figuur 11-5: Grondsoorten in de buurt van het Middelburen veld (bron: TNO NITG 03-186-C). De rode cirkel geeft de 5 km straal in die relevant is voor de SRA. [De afgebeelde voorkomen-vormen komen uit de bronkaart.]

Figuur 11-6: Bevolkingsdichtheid rond het Middelburen voorkomen (bron: CBS). Schaal in inwoners/km². De rode cirkel geeft de 5 km straal in die relevant is voor de SRA.

11.4 Seismische Risico Analyse voorkomen Middelburen Ten Boer

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

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

$$B = \frac{Fault\_surface^{3/2}}{gross\_rock\_volume} = \frac{l_b^{3/2} \cdot h^{3/2}}{A \cdot h} = \frac{l_b^{3/2} \cdot \sqrt{h}}{A}$$

Waarbij:
l_b = De totale breuklengte van de intra-reservoir breuken en de randbreuken van het voorkomen in meters;
h = De maximale dikte van de gaskolom van het voorkomen in meters;
A = De oppervlakte van het voorkomen gemeten binnen de GWC dieptecontour (in vierkante meters);

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

Tabel 11-7 DHAIS kans-classificatie voor voorkomens die nog niet gebeefd hebben (TNO, ref. 3 en 4). De kans betreft bevingen met een magnitude M>1.5.

$\Delta P/P_{ini} \geq 28\%$	**B > 0,86 en E ≥ 1,34: P_h = 0.42 ± 0.08**
	B > 0,86 en 1,01 ≤ E ≤ 1,33: P_h = 0.19 ± 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 Middelburen Ten Boer voorkomen heeft deze grenswaarde al overschreden.

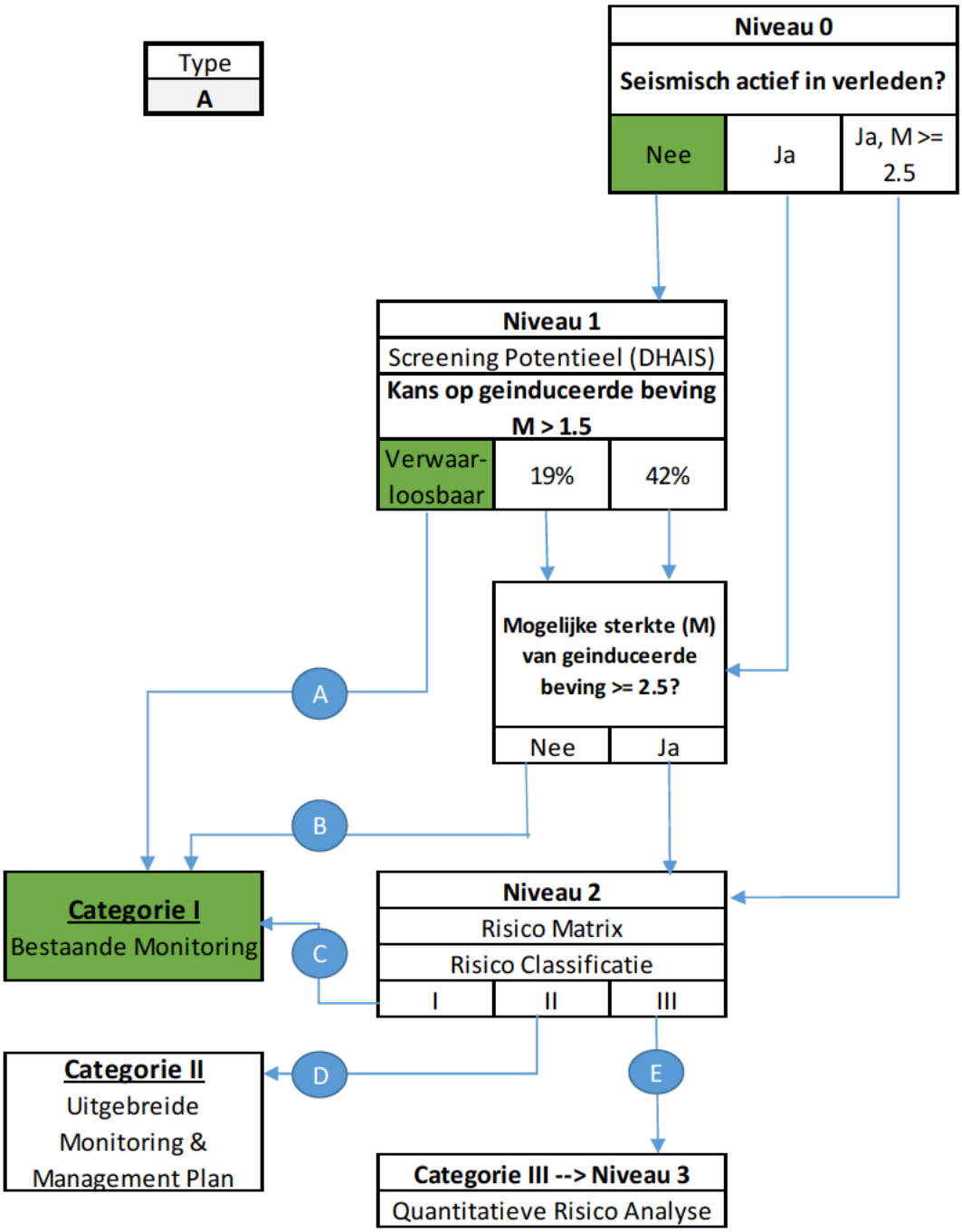
De B en E factoren worden berekend aan de hand van gesteente eigenschappen aan de hand van de methodiek zoals beschreven in de SRA richtlijn [Ref. 5].

De schatting voor de E-factor is gebaseerd op metingen in o.a. de APS-02 en GSB-01 putten (die door dezelfde formaties gaan, en Vs logs hebben) en is uitgewerkt in Tabel 11-4.

De E-factor voor Middelburen Ten Boer ligt boven de drempelwaarde van 1.01. Het is daarom nodig om de B-factor te evalueren. In Tabel 11-4 staan de parameters voor net zand dikte van het Ten Boer. De B-factor ligt onder de drempelwaarde van 0.86.

Figuur 11-2 is de beslisboom van de seismische risico analyse van het Middelburen Ten Boer voorkomen. De seismische risicoanalyse laat zien dat het seismisch risico voor het gasvoorkomen Middelburen Ten Boer in Categorie 1 valt; de laagste risico categorie.

Middelburen (Ten Boer)



Figuur 11-7: Beslisboom seismische risico analyse voorkomen Middelburen Ten Boer.

Tabel 11-8: Input waarden gebruikt voor seismische risico analyse Middelburen Ten Boer.

Depth (GWC)	[mTVDss]	2361
Initial pressure	[bar]	249
Dp/Pini	[-]	94%
Total Fault Length	[m]	6500
Longest Fault	[m]	5600
Area @ GWC	[km2]	5.75
h of gas column	[m]	10.0
B factor	**[-]**	**0.29**
Data sources E		APS-02 RO
		APS-02 ZEZ1
Overburden, Vp	[m/s]	5305
Overburden, Vs	[m/s]	2964
Overburden, rho	[kg/m3]	2796
Reservoir, Vp	[m/s]	4054
Reservoir, Vs	[m/s]	2436
Reservoir, rho	[kg/m3]	2435
Static E Overburden	[GPa]	39.70
Static E Reservoir	[GPa]	22.19
E factor	**[-]**	**1.79**

Historic Seismicity?		N
Mmax_hist		0
Num events > 1.5		0

Height of largest fault	[m]	10.0
Compaction for Mmax from	Gross elastic log average	
Cm (for Mmax)	[1/bar]	3.96E-06
Compacting height	[m]	10
Poisson Ratio Reservoir	[-]	0.217
Mmax	*(frac)*	**2.3**
	(comp)	**2.5**

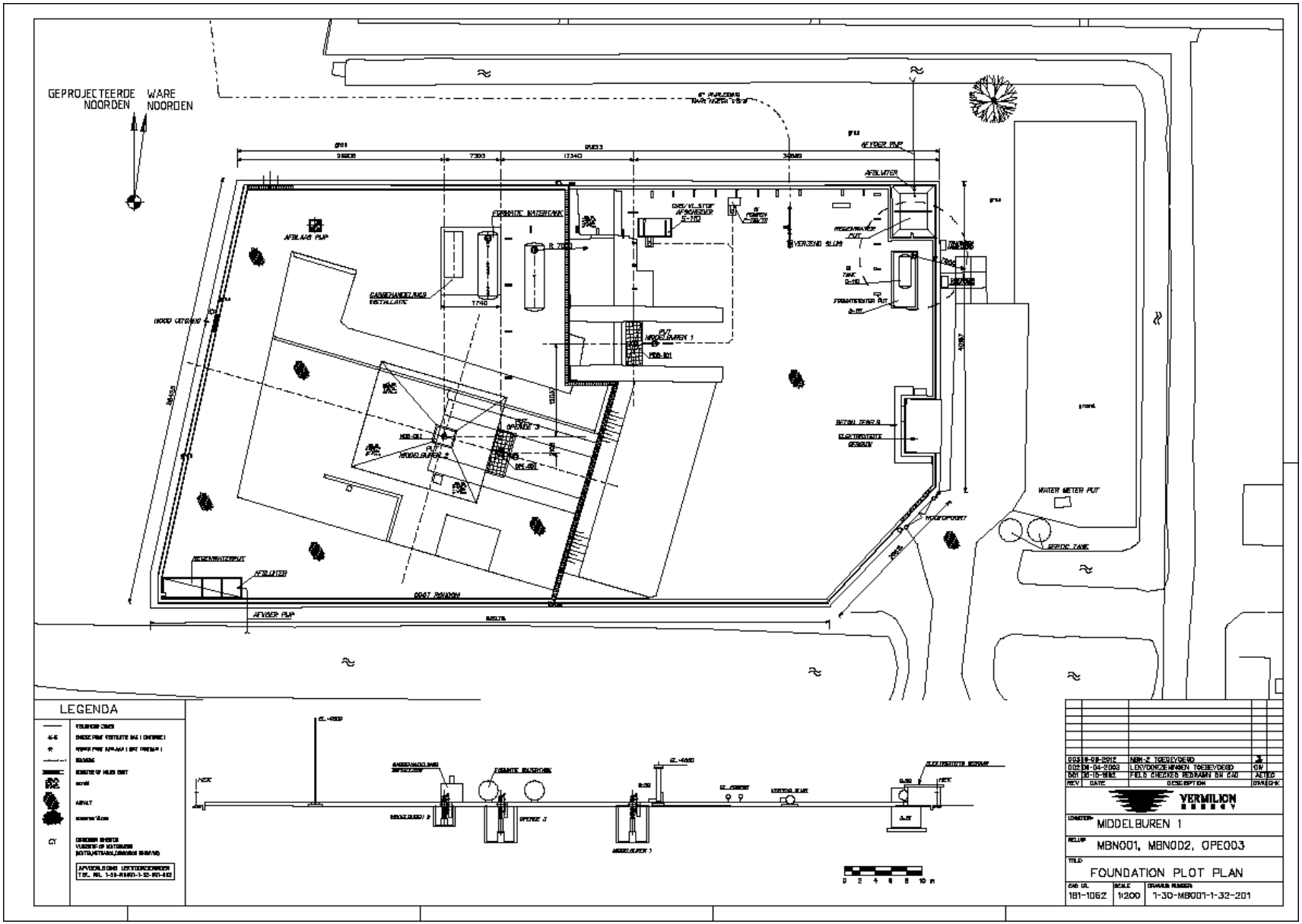
12 Bijlage: Locatie Plattegrond Mijnbouwlocatie ‘Middelburen 1’

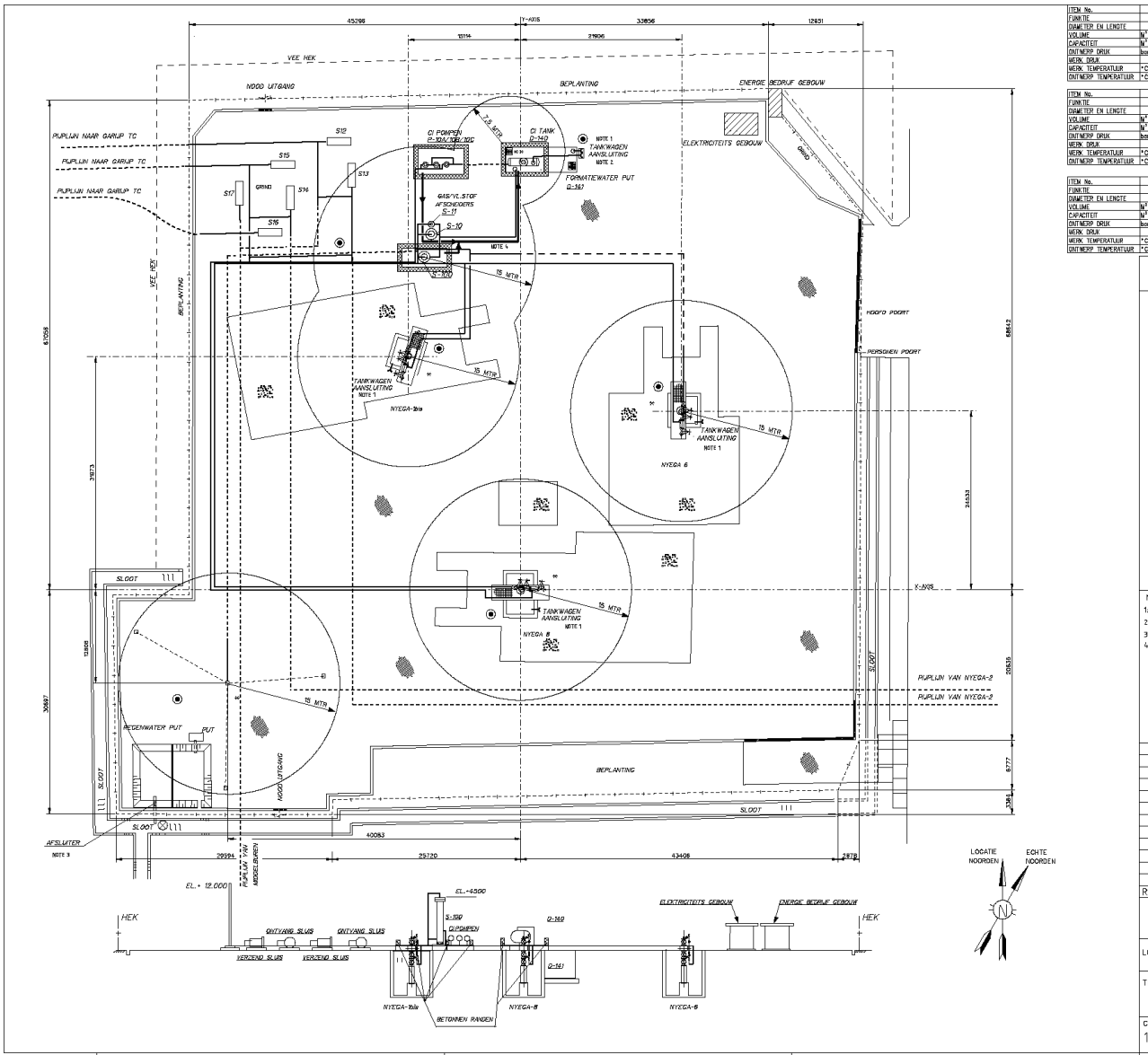
12.1 Locatiekaart van Mijnbouwlocaties ‘Middelburen 1’ en ‘Nijega 1/6/8’

Figuur 12-1: Locatiekaart mijnbouwlocaties ‘Middelburen 1’ en ‘Nijega 1/6/8’.

12.2 Plattegrondtekening Mijnbouwlocaties ‘Middelburen 1’ en ‘Nijega 1/6/8’

De plotplannen zijn bijgevoegd op de volgende pagina’s.


GEPROJECTEERDE NOORDEN
WARE NOORDEN
LEGENDA
MIDDELBUREN 1
MBN001, MBN002, OPE003
FOUNDATION PLOT PLAN
181-1062
1:200
1-30-MBN001-1-32-201
VERMILION



ITEM No.		S-100	S-10	S-11	D-140	D-141
FUNKTIE		GAS/VL. AFSCHEIDER	GAS/VL. AFSCHEIDER	GAS/VL. AFSCHEIDER	CI TANK	FORM. WATER PUT
DIAMETER EN LENGTE		588 x 2450	1000x219	1050x457	-	3400x9700x2450
VOLUME	M^3	0,9	0,3	0,16	6	50
CAPACITEIT	M^3/h	18.750	-	-	-	-
ONTWERP DRUK	bars	MAX/89	MAX/90	MAX/90	ATM.	ATM.
WERK. DRUK		89 BARS	90 BARS	90 BARS	ATM.	ATM.
WERK. TEMPERATUUR	°C	45	-	-	BUITEN	BUITEN
ONTWERP TEMPERATUUR	°C	-20/50	-20/50	-20/50	-	-

ITEM No.		P-10A/B/C	S-12	S-15	S-16	
FUNKTIE		CI INJ. POMP	VERZEND SLUIS	VERZEND SLUIS	VERZEND SLUIS	
DIAMETER EN LENGTE		-	8" x 6"	14" x 12"	8" x 6"	
VOLUME	M^3	-	0,06	0,1	0,06	
CAPACITEIT	M^3/h	0,2 l/h	-	-	-	
ONTWERP DRUK	bars	250 BARS	90 BARS	89	89	
WERK. DRUK		30 BARS	85	82	82	
WERK. TEMPERATUUR	°C	BUITEN	45	45	45	
ONTWERP TEMPERATUUR	°C	-	-20/50	-20/50	-20/50	

ITEM No.		S-13	S-14	S-17		
FUNKTIE		ONTVANGST SLUIS	ONTVANGST SLUIS	ONTVANGST SLUIS		
DIAMETER EN LENGTE		10" x 8"	10" x 8"	8" x 6"		
VOLUME	M^3	0,1	0,1	0,06		
CAPACITEIT	M^3/h	-	-	-		
ONTWERP DRUK	bars	90 BARS	90 BARS	90 BARS		
WERK. DRUK		85	85	85		
WERK. TEMPERATUUR	°C	45	45	45		
ONTWERP TEMPERATUUR	°C	-20/50	-20/50	-20/50		

LEGENDA

- GRONDWATER PEILBUIS
- SLIB BEMONSTERING PUNT
- VEILIGHEIDS ZONES
- EMISSIE PUNT VENTILATIE GAS (CONTINUE)
- EMISSIE PUNT AFBLAAS (NIET CONTINUE)
- HEKWERK
- ROOSTER OP MILIEU GOOT
- BETON
- BETONNEN RAND
- ASFALT
- ROOSTER VLOER
- CI — CORROSION INHIBITOR VLOEISTOF OP WATERBASIS (WATER,METHANOL,CORROSION INHIBIYOR)

NOTES
1: AFVOER D.M.V. TANKWAGEN NAAR EEN DAAR VOOR GESCHIKTE HER- OF VERWERKINGS INRICHTING
2: AANVOER PER TANKWAGEN
3: AFSLUITER WORDT GESLOTEN BIJ VERVULLENDE WERKZAAMHEDEN OP LOCATIE
4: REGENWATER AFVOER VAN OPVANGBAK ONDER DE INSTALLATIES

0 10m 20m
GRAPHIC SCALE

REV	DATE	DESCRIPTION	DWN	CHK
1	06-07-05	VERMILION: WIJZ. DEG IN CI	AGD	TJ
0	25-03-02	EERSTE UITGAVE	RK	

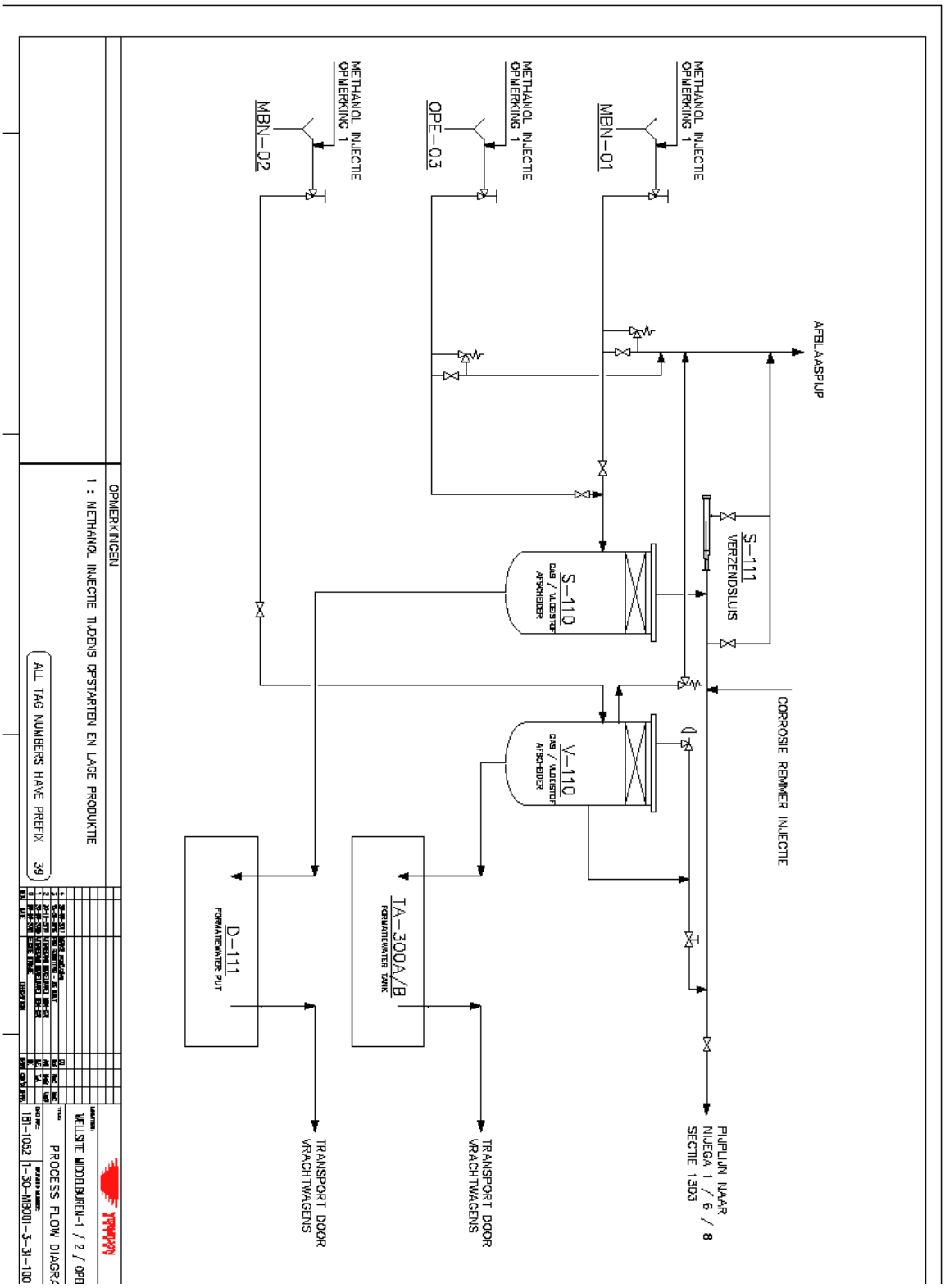
VERMILION ENERGY

LOCATION: NIJEGA 1 bis - 6 - 8

TITLE: PLATTEGROND TEKENING VOOR MILIEU VERGUNNING

CAD NR.	SCALE	DRAWING NUMBER:
181-1234	1:250	1-30-NY001-3-32-201

13 Bijlage: Proces-stroomdiagram van de Middelburen 1 aardgaswinninglocatie



14 Bijlage: Schematische voorstelling putverbuizing(en)

VERMILION	FIELD : MIDDELBUREN	WELL : MBN 1

RT/TH : 5.34 m. COMPLETION DATE : 2/2011	ANNULUS FLUID : 3% KCL 1,02 sg
VOLUMES	DRILLING DEPTHS / RKB
TUBING : 7,56 m3	7" CSG SHOE @ 2482 m.
ANNULUS : 30,6 m3	4 1/2" LINER SHOE @ 2689 m.
HOLE : 49.8 m3	CEMENT IN 4 1/2" @ 2623 m.

Xmas TREE

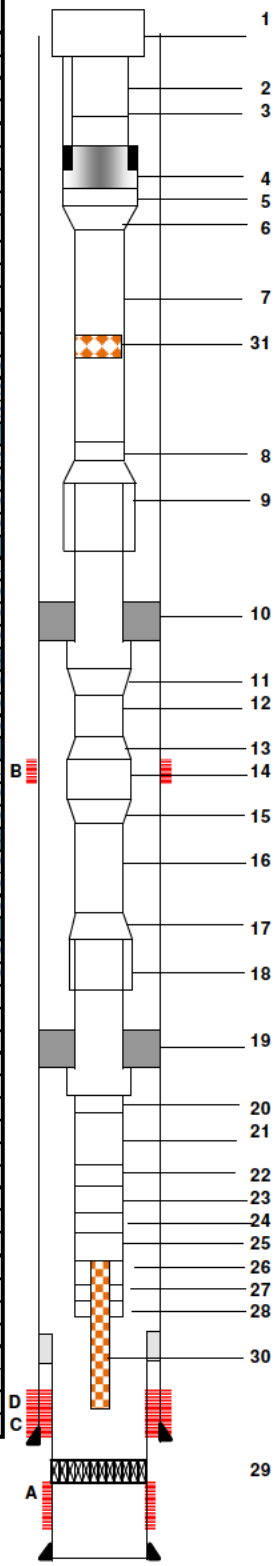
TUBING HEAD	FMC TH adap, 7 1/16 x 3 1/8 5K for extended neck hanger w/ 1 CL port
TUBING HANGER	FMC 7 X 3 ½NewVam extended neck hanger w/ single port
L MASTER VALVE	FMC 3 1/8 5K MANUAL GATE VALVE
U MATER VALVE	FMC 3 1/8 5K HYDRAULIC ACUATED GATE VALVE
SWAB VALVE	FMC 3 1/8 5K MANUAL GATE VALVE
WING VALVES	FMC 3 1/8 5K GATE VALVE
TOP CAP	FMC 3 1/8"-5000 X 6 1/2"-4 ACME QUICK UNION.

STRING

ITEM	QTY	DESIGNATION	Depth/Th	ID/in
1	1	TUBING HANGER ADAPTER WITH 3" CAMERON BPV PROFIL	-0.46	3.000
2	7	TUBING 3 1/2" VAGT L80 9.2# coated w/ TK216	52.31	2.992
3	1	pup joint 3 1/2" VAGT	54.14	2.992
4	1	**Weatherford WWE-10**	54.79	2.750
5	1	pup joint 3 1/2" VAGT	56.01	2.992
6	1	Xover 3,5" x 2,875"	56.33	2.440
7	222	TUBING 2 7/8" VAGT L80 6.4# coated w/ TK 216	1993.80	2.440
8	1	2.875", 6.4#ft, L80, VAGT pup joint	1994.33	2.440
9	1	**T2 On-Off tool Size : 7" x 2,188" w / 'R' profile**	1994.84	2.188
10	1	**WH-6, 20-26#, hydr. set, retr. Packer**	1996.52	2.374
11	1	X-over 2 7/8" 6.5# Multiseal TS 8 TR pin x 6.4# NV box	1997.07	2.440
12	1	2 7/8" 6.5# 13Cr 80 Multiseal TS 8 TR	2035.37	2.440
13		X-over 2 7/8" 6.4# NV pin x 6.5# Multiseal TS 8 TR box	2035.91	2.440
14		**WXO sliding sleeve w/ 2,188" 'R' profile**	2036.89	2.188
15		X-over 2 7/8" 6.5# Multiseal TS 8 TR pin x 6.4# NV box	2037.44	2.440
16		2 7/8" 6.5# 13Cr 80 Multiseal TS 8 TR	2123.59	2.440
17		X-over 2 7/8" 6.4# NV pin x 6.5# Multiseal TS 8 TR box	2124.13	2.440
18		**T2 On-Off tool Size : 7" x 2,188" w / 'R' profile**	2124.75	2.188
19		**WH-6, 26-32#, hydr. set, retr. Packer**	2126.33	2.374
20		2.875", 6.4#ft, L80, VAGT pup joint	2128.00	2.440
21		2.875", 6.4#ft, L80, VAGT tubing	2137.16	2.440
22		**WOR landing nipple with 2,188" "R" nipple profile**	2137.44	2.188
23		2.875", 6.4#ft, L80, VAGT pup joint	2139.13	2.440
24		2.875", 6.4#ft, L80, VAGT tubing	2447.28	2.440
25		2.875", 6.4#ft, L80, VAGT pup joint	2449.12	2.440
26		**WRN landing nipple with 2,188" "RN" nipple profile**	2449.45	2.010
27		2.875", 6.4#ft, L80, VAGT tubing	2458.53	2.440
28		**WL re-entry guide**	2467.49	2.440
29		**MPBT PLUG WITH 3 M CEMENT ON TOP - 2489 mRT**		
30		**Perforating string was set in RN Nipple on 6/Jan/2018 and has not been retreived (6/Jan/2018).**	2449.45	
31		**Held up at 1057 mTH, caused by TBG coating (30/Jan/2018).**	1057.00	

PERFORATIONS / RKB

A: ROTLIEGENDES FROM 2493m. TO 2499m (19/Jun/1979)
B: VLIELAND FROM 2039m. TO 2045m (16/Apr/1992)
C: TEN BOER FROM 2471M TO 2479 M/RT (9/Nov/2016)
D: TEN BOER FROM 2450.5 - 2455.5, 2456.5 - 2465.5, 2466.5 - 2469.5 M/RT (6/Jan/2018)



NORM CLASSIFIED : YES

DEVIATION : 26 dg.

30/Jan/2018

VERMILION	FIELD:MIDDELBUREN	WELL : MDB 2

RT/TH : 7.92 m.
COMPLETION DATE : 11-09

ANNULUS FLUID :
KCL BRINE, 1.02 SG

VOLUMES
TUBING : 10.8 m3
ANNULUS 33.8 m3
HOLE : 70.3 M3

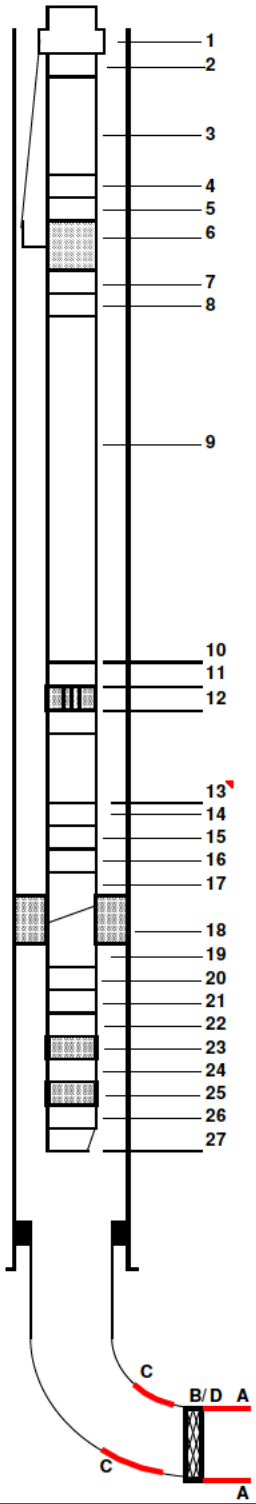
DRILLING DEPTHS / RKB
4 1/2" HANGER @ 2852 m.
4 1/2" SHOE @ 3761 M.
7" SHOE @ 2872 m.

Xmas TREE

TUBING HEAD	FMC TCM EPP 11"-5000 X 3.5"X5000
TUBING HANGER	FMC TC-1A-ENS DHCV WITH 3" CAMERON BPV PROFILE
L MASTER VALVE	FMC 3 1/8"-5000
U MASTER VALVE	FMC 3 1/8"-5000 (HYDRAULIC OPERATED)
SWAB VALVE	FMC 3 1/8"-5000
WING VALVES	FMC 3 1/8"-5000
TOP CAP	6.5"-4 ACME 2G

STRING

ITEM	QTY	DESIGNATION	Depth/Th	ID/in
1	1	TUBING HANGER 6" ACME M1 BOX X 5 1/2" VAM ACE BOX	.44	2.874
2	1	PUP JOINT 3 1/2" VAGT 9.2# N80	2.970	2.992
3	5	TUBING 3 1/2" VAGT 9.2# N80	50.50	2.992
4	1	PUP JOINT 3 1/2" VAGT 9.2# N80	52.26	2.992
5	1	FLOW COUPLING 3 1/2" VAGT N-80	54.57	2.992
6	**1**	**SVLN OTIS**	**55.22**	**2.813**
7	1	FLOW COUPLING 3 1/2" VAGT N-80	56.60	2.992
8	1	PUP JOINT 3 1/2" VAGT 9.2# N80	57.88	2.992
9	240	TUBING 3 1/2" VAGT 9.2# N80	2333.74	2.992
10	1	PUP JOINT 3 1/2" VAGT 9.2# N80	2336.18	2.992
11	**1**	**SSD**	**2337.45**	**2.813**
12		PUP JOINT 3 1/2" VAGT 9.2# N80	2339.21	2.992
13	1	TUBING 3 1/2" VAGT 9.2# N80	2348.44	2.992
14	1	PUP JOINT 3 1/2" VAGT 9.2# N80	2350.27	2.992
15	**1**	**ON/OFF J-LATCH**	**2351.06**	**2.813**
16	1	PUP JOINT 3 1/2" VAGT 9.2# N80	2352.42	2.992
17	1	X-OVER 4.5" PIN X3.5" BOX NEW VAM	2352.93	2.992
18	**1**	**HALLIBURTON HYDR RETRIEVABLE PACKER**	**2353.89**	**3.874**
19	1	X-OVER, 3.5" PIN X4.5" BOX NEW VAM	2354.35	2.992
17	1	X-OVER 4.5" PIN X3.5" BOX NEW VAM	2352.93	2.992
20	1	PUP JOINT 3 1/2" VAGT 9.2# N80	2356.07	2.992
21	1	TUBING 3 1/2" VAGT 9.2# N80	2365.57	2.992
22	1	PUP JOINT 3 1/2" VAGT 9.2# N80	2367.33	2.992
23	**1**	**2.813" X NIPPLE**	**2367.70**	**2.813**
24	2	PUP JOINT 3 1/2" VAGT 9.2# N80	2373.19	2.992
25	**1**	**2.813" XN NIPPLE**	**2373.56**	**2.666**
26	1	PUP JOINT 3 1/2" VAGT 9.2# N80	2375.31	2.992
27	1	WIRELINE ENTRY GUIDE	2375.47	3.020



PERFORATIONS / RKB

A: SLOTS OF PRESLOTTED 4,5" LINER FROM 2860 TO 3700 m.

B: Slochteren section watered out. Shut off with plug @ 2864 mRKB (29/Jun/2017)

C: Perforated several Ten Boer sections (30/Jun/2017 - 6/Jul/2017):
#1: 2800.6 - 2807.0 mRKB, #2: 2792.2 - 2800.3 mRKB, #3: 2771.0 - 2780.0 mRKB,
#4: 2753.5 - 2766.0 mRKB, #5: 2744.0 - 2751.4 mRKB, #6: 2732.0 - 2738.0 mRKB,
#7: 2712.0 - 2724.0 mRKB, #8: 2694.0 - 2702.0 mRKB, #9: 2684.0 - 2689.0 mRKB,
#10: 2639.0 - 2649.0 mRKB, #11: 2627.0 - 2631.0 mRKB, #12: 2613.0 - 2618.0 mRKB,
#13: 2598.0 - 2604.0 mRKB, #14: 2592.0 - 2596.0 mRKB, #15: 2583.5 - 2588.0 mRKB.

D: Set new inflatable plug at 2891 mRKB (15/Feb/2018).
D: Set cement retainer at 2866 mRKB. Cement was not pumped (15/Feb/2018).

NORM CLASSIFIED : NO

DEVIATION :
HORIZONTAL DRAIN
15/Feb/2018

VERMILION | FIELD : OPEINDE-ZUID | WELL : OPE-03

AFTER WORKOVER 2001

NORM CLASSIFIED : NO

N°	Bottom hole equipment	ID	OD	Depth	Length
1	Perolo tubing hanger 7"-5K x 3"1/2EUE box top x 3"1/2	3.000	7.000	0.25	0.25
	Vam box dow n w . 3"CIW BPV profile				
2	3 pup joints 3.5"Nvam 9.2# L80(1.32; 2.48; 1.49m)	2.992	3.500	5.54	5.29
	tbg hngr-SCSSV 3joint & 5connection controllineclamps				
3	3 tubing joints 3.5"Nvam 9.2# L80	2.992	3.500	34.12	28.58
4	Pup joint 3.5"Nvam 9.2# L80	2.992	3.500	35.67	1.55
5	Baker B 2.81"safety nipple	2.810	5.039	36.22	0.55
6	Pup joint 3.50" New Vam 9.20# L80	2.810	5.078	37.77	1.55
7	X-over 3"1/2 9.2# NVam L80 box x 2"3/8EU 8rd L80 pin	1.968	3.898	38.18	0.41
8	Pup joint 2"3/8 4.7# EU 8rd J55	1.968	3.031	39.40	1.22
9	186 joints tubing 2"3/8EU 8rd 4.70# L80	1.995	2.375	1807.72	1768.32
10	Pup joint 2"3/8EU 8rd 4.70# J-55	1.995	2.375	1808.93	1.21
11	X-over 2"3/8EU 8rd 4.70# - 3.50" New Vam 9.20# L80	1.984	3.701	1809.32	0.39
12	Baker KBH-22 anchor size 80-40	3.268	4.724	1809.60	0.28
13	Baker SAB3 size 84-40x32 packer 4"1/2 12.6# LTC box	3.268	5.945	1811.10	1.50
14	Baker Millout Extension 4"1/2 12.6# LTC pin x pin	3.976	4.488	1812.68	1.58
15	X-over 4"1/2 12.6# LTC box x 2"3/8 4.7# EU 8rd pin	1.988	5.571	1812.99	0.31
16	Pup joint 2"3/8 4.7# EU 8rd J-55	1.995	2.375	1814.20	1.21
17	Joint 2"3/8 4.7# L80	1.995	2.375	1823.77	9.57
18	Pup joint 2"3/8 4.7# EU 8rd J-55	1.995	2.375	1824.99	1.22
19	Baker 1.78"R nipple	1.728	3.031	1825.22	0.23
20	Pup joint 2"3/8 4.7# EU 8rd J-55	1.995	2.375	1826.45	1.23
21	X-over 2"3/8 4.7# EU 8rd box - 3"1/2NVam 9.2#	1.995	3.0-3.5	1826.84	0.39
22	Pup joint 3"1/2 Nvam 9.2#	2.992	3.5	1828.41	1.57
23a	Tubing seal receptacle ELTSR size 43-20 w ith seals	4.488	5.669	1836.08	7.67
	but at top drilled 2 holes of 9mm.				
23b	EBA1 slick joint w . Baker 2.75"F profile	2.750		1838.08	2.00
24	Baker 80-40 anchor seal assembly	3.000		1838.31	0.23
25	Baker FB1 packer size 87-40	4.000		1839.03	0.72
26	Mill-out assembly 5"Vam 15# N80	4.440		1840.65	1.62
27	X-over 5"Vam x 3"1/2Vam	2.992		1840.83	0.18
28	Pup joint 3"1/2 Vam N80 9.2#	2.992	3.500	1842.33	1.50
29	Baker 2.75"F nipple	2.750		1842.66	0.33
30	Pup joint 3"1/2 Vam N80 9.2#	2.992	3.500	1844.16	1.50

	Miscellaneous (Casing, Plug, Fish...)	ID	Lbs/ft	Bot depth	Top depth
I	13"3/8			403mRT	
II	9 5/8" casing Vam N80	8.756	43.50	1256mRT	
III	7" casing Vam N80	6.366	23.00	1932mRT	
IV	TOC inside 7"				1916 mRT
V	Tag HUD at 1904 mTH / 1909 mRT @ 3/Sep/2013				1909 mRT

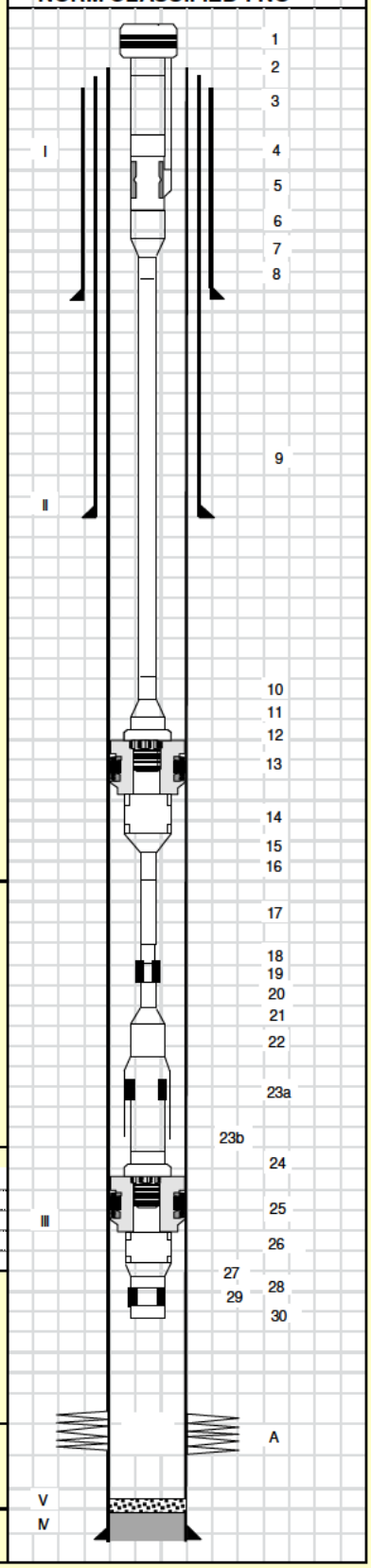
Perforation intervals

	Depth mRKB.		Type	WELL
A	1879.50	1891.50	Jarkon	Open
		13shts/m		

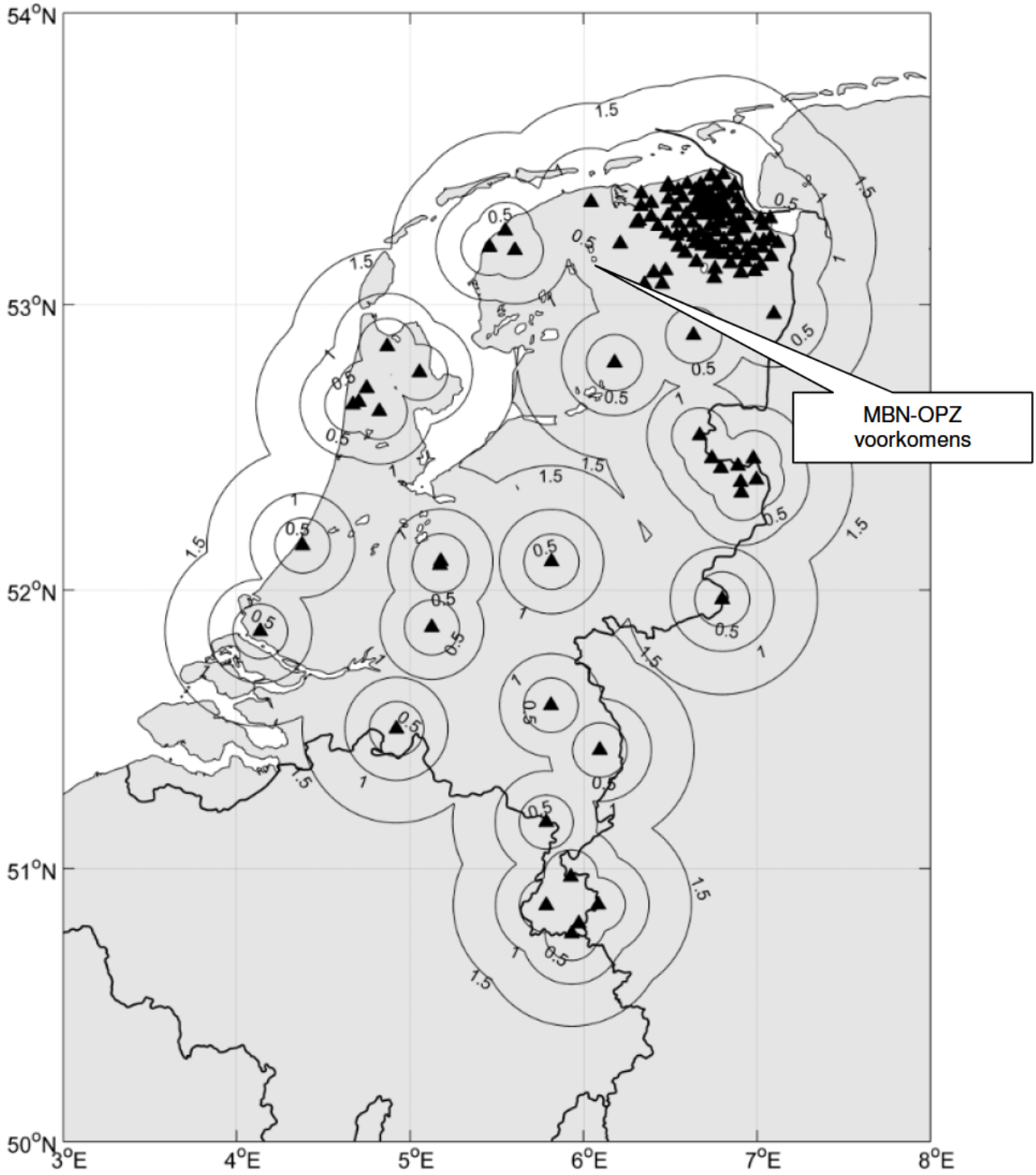
Comments

well not norm classified.
annulus fluid: 2%KCL inhibited brine
original RT/TH: 5.05m
reservoir: sandstone low er cretaceous

Max inclination	vertical
Packer fluid Type	DRW / KCL
SG	1.02
Completion type	Simple
Weight	19 tons
Type of SCSSV	Wire line retrievable valve
Type of Packer	Permanent
Bottom gauge	
Weight/Height on PKR	
Tubing OD	3.500" / 2.375"
Rig	BPC 385K space saver
Production casing OD	7.000
Reference depth	Tubing Head Flange
Activation type	Eruptive
Final depth	



15 Bijlage: KNMI Netwerk van Seismometers



Figuur 15-1 Seismische detectie-stations en detectie-drempel-magnitude. Aangepast met stations tot juli 2018, naar Fig. 2a uit KNMI Ref. 16