

Winningsplan N05-A

september '20

ONE-Dyas B.V.

Parnassusweg 815
1082 LZ Amsterdam
The Netherlands



Date: 23 september 2020

Report No.: N05A-1-82-0-15508-01

Issue No.: 1.0

Samenvatting

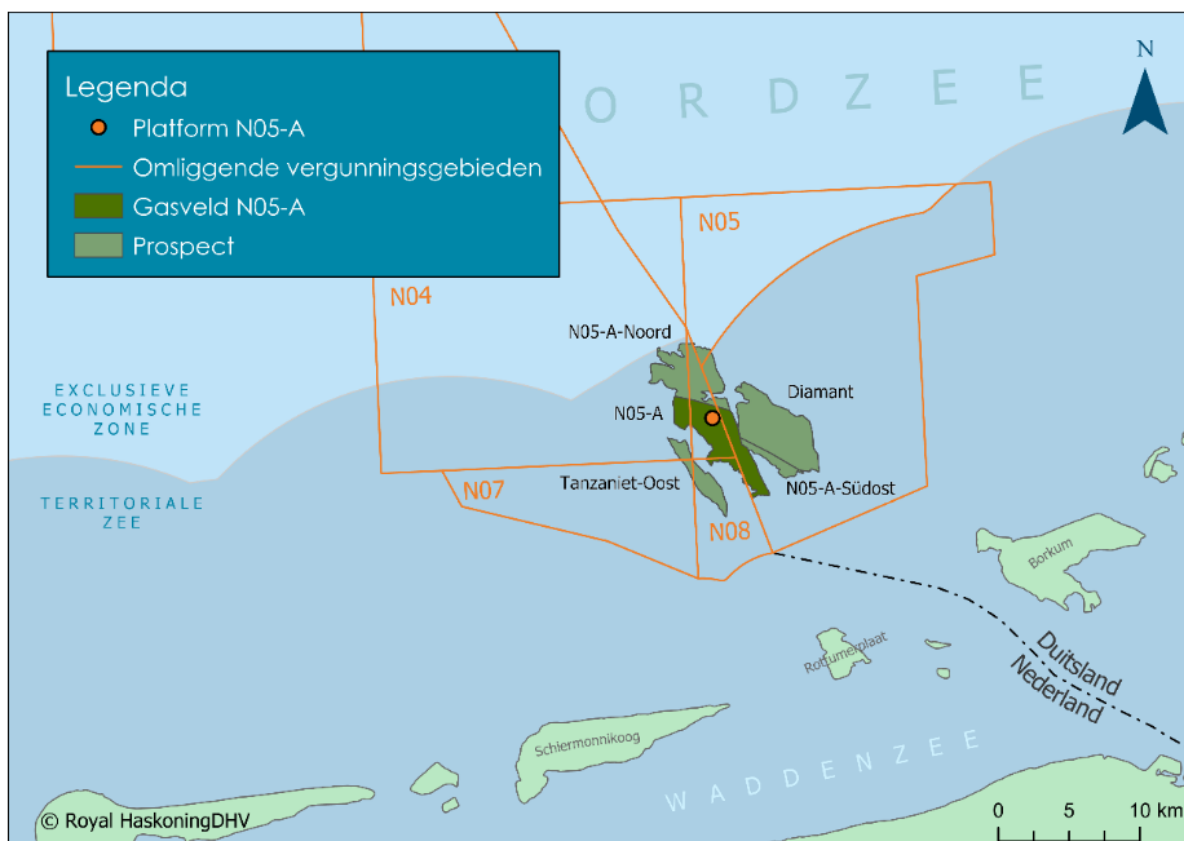
Dit document betreft het gezamenlijke winningsplan voor het N05-A gasvoorkomen en twee nabijgelegen nog niet aangeboorde potentiële gasvoorkomens (prospects) genaamd N05-A-Noord en Tanzaniet-Oost. De voorkomens bevinden zich ten noorden van de Nederlandse en Duitse kust.

Het laagcalorische aardgas zit op ongeveer vier kilometer diepte in de Slochteren zandsteenformatie, die in het gebied een dikte heeft van twintig tot veertig meter.

Zoals de onderstaande figuur aangeeft overschrijden het N05-A voorkomen en het N05-A-Noord prospect de grens met Duitsland. Het Tanzaniet-Oost prospect ligt geheel onder Nederlandse territoriale wateren. De Nederlandse vergunningsgebieden zijn N04-N05-N08 en N07c.

De winningsplannen voor bovengenoemde voorkomens zijn in overleg met het ministerie van Economische Zaken en Klimaat samengevoegd om inzicht te geven in de totale beoogde exploratie- en ontwikkelingsactiviteiten rond het N05-A voorkomen, en om zo de cumulatieve omgevingseffecten in kaart te brengen. Om deze redenen wordt ook een tweetal geheel in Duitsland gelegen prospects (N05-A-Südost en Diamant) bij dit winningsplan betrokken.

Een consortium van ONE-Dyas B.V. (ONE-Dyas), Hansa Hydrocarbons Ltd. (Hansa) en EBN B.V. (EBN) gaat gezamenlijk de gaswinning ondernemen. ONE-Dyas is belast met de daadwerkelijke uitvoering en is daarmee de initiatiefnemer. ONE-Dyas is licentiehouder en initiatiefnemer voor alle omliggende vergunningsgebieden (zie onderstaande figuur).



Geplande activiteiten

ONE-Dyas heeft het voornemen om het N05-A gasvoorkomen te ontwikkelen vanaf een nieuwe mijnbouwinstallatie, geplaatst boven het N05-A voorkomen in Nederlandse territoriale wateren. Het is

de intentie om van de gekozen locatie proefboringen te verrichten naar de vier omliggende prospects, en eventueel ontdekte gasvoorkomens vanaf de nieuwe installatie te ontwikkelen.

De geplande mijnbouwinstallatie is normaliter onbemand en zal op elektriciteit opereren. Hiervoor wordt vanaf het Duitse Riffgat windpark een nieuwe elektriciteitskabel gelegd.

Op de installatie wordt het aardgas van de geproduceerde vloeistoffen gescheiden. Het behandelde aardgas wordt samen met het condensaat via een nieuw te leggen dertien kilometer lange leiding getransporteerd naar de bestaande aardgasleiding van NGT (Noordgastransport). De NGT-leiding brengt het aardgas naar Uithuizen waar het na verdere behandeling wordt afgenomen.

Gezien de ondergrondse onzekerheden zijn de benodigde hoeveelheid putten en de exacte ondergrondse putlocaties op voorhand niet zeker. Er zijn maximaal twaalf putten en twaalf aftakkingen (*sidetracks*) voorzien voor de ontwikkeling van de vijf voorkomens.

De verwachte duur van de winning bedraagt tien tot vijfendertig jaar, afhankelijk van de ondergrondse onzekerheden.

Initiële- en winbare gasvolumes

Onderstaande tabel geeft een prognose van de winbare gasvolumes per voorkomen, waarbij een onzekerheidsmarge in acht is genomen. Deze volumeschattingen zijn voor de prospects van toepassing onder de aanname het desbetreffende prospect gasvoerend is.

Miljard Nm ³		Winbare gasvolumes		
		Minimaal verwacht	Verwacht	Maximaal verwacht
Voorkomens en prospects				
N05-A voorkomen		2.9	4.9	7.5
Druwmarkt	N05-A-Noord	1.5	2.5	5.7
	Tanzaniet-Oost	0.0	0.2	1.0
	Diamant	1.7	5.6	7.3
	N05-A-Südost	0.2	0.4	0.8

Op basis van de verwachte winbare gasvolumes en de kans op exploratie succes wordt voor de vijf gezamenlijke voorkomens een technisch winbaar gasvolume van viereneenhalf tot dertien miljard Nm³ geschat.

Voor de grensoverschrijdende voorkomens (N05-A en N05-A-Noord) zal verdeling van de productievolumes tussen Nederland en Duitsland op basis van een unitiseringsovereenkomst plaatsvinden.

Aardbevingsrisico en bodemdaling

Er is voor de aardbevingsrisico en bodemdalingsstudie aangenomen dat alle prospects gashoudend zijn, en dat elk (potentieel) voorkomen het maximaal verwachte winbare gasvolume bevat. In totaal wordt in dit scenario meer dan 22 miljard Nm³ aardgas uit het gebied onttrokken. Het is waarschijnlijk dat aanzienlijk minder gas zal worden gewonnen en dat daarom de gevolgen van gaswinning kleiner zullen zijn dan de studie aangeeft.

Op basis van bovengenoemde aannamen en de Methodiek voor Risicoanalyse over geïnduceerde bevingen door gaswinning (Staatstoezicht op de Mijnen, 2016), en aanvullende informatie ter plaatse van nieuwe boringen aan Nederlandse zijde en bestaande boringen aan Duitse zijde van de grens is de kans op het optreden van een aardbeving verwaarloosbaar bevonden.

Op basis van de gegevens en berekeningen bedraagt de verwachte maximale bodemdaling in het centrum van de kom 1,6 cm voor het gasveld N05-A afzonderlijk (voor een winbaar volume van 7.5

miljard Nm³) en 2,6 cm inclusief de omliggende prospects (voor een cumulatief winbaar volume van 22.3 miljard Nm³).

Mogelijke gevolgen voor milieu en natuur

Onderwatergeluid: de activiteiten blijven binnen de geldende Nederlandse en (strengere) Duitse normen, al dan niet met behulp van mitigerende maatregelen.

Emissies naar water: de activiteiten blijven binnen de eisen van de mijnbouregeling. Er zijn geen significante effecten op de natuur door vertroebeling als gevolg van het lozen van boorspoeling en boorgruis. Door sedimentatie van boorgruis wordt een verstoring geschat op een gebied van 3,5 hectare (0.006% van de Borkumse Stenen)

Zeebodem: De aanleg van de pijpleiding, het installeren van het platform en de booractiviteiten verstoren naar schatting een gebied van 30 hectare, veel minder dan 1% van de Borkumse Stenen.

Emissies naar lucht: De bijdrage van de activiteiten is verwaarloosbaar tegen de achtergrondconcentraties en ruim binnen de wettelijke eisen/normen. Voor de depositie van stikstof wordt een Passende Beoordeling geschreven en een Wet natuurbeschermingsvergunning aangevraagd. Er zijn geen significante effecten op N2000-gebieden en beschermde soorten in de aanlegfase, de boorfase, de productiefase, en de transporten in alle fases. Significante effecten op het oesterbankherstelproject in de Borkumse Stenen zijn evenmin te verwachten.

De belangrijkste effecten op natuur in de ontmantelingsfase worden veroorzaakt door het verwijderen van het productieplatform, de pijpleiding en de kabel. Deze activiteiten liggen zo ver in de toekomst dat ze nu nog niet beoordeeld zijn.

Vergunningsproces

Dit document richt zich op het Nederlandse vergunningstraject en verzoekt instemming van de winning van het voorkomen N05-A, en de prospects N05-A Noord en Tanzaniet Oost indien deze gas bevatten.

Het winningsplan behoeft de instemming van de minister van Economische Zaken en Milieu. Op de voorbereiding van dit instemmingsbesluit is de uniforme openbare voorbereidingsprocedure van toepassing. Dit betekent onder andere dat iedereen zienswijzen naar voren kan brengen op het ontwerpbesluit van de minister. Op het definitieve besluit van de minister is beroep mogelijk bij de rechtbank en hoger beroep bij de Afdeling Bestuursrechtspraak van de Raad van State.

Formulier aanvraag instemming winningsplan

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

Elektronisch in te dienen bij:

De minister van Economische Zaken en Klimaat

Directoraat-Generaal voor Energie, Telecom en Mededinging

Directie Warmte en Ondergrond

mijnbouwvergunningen@minezk.nl

<u>Artikel 1)</u>	<u>Onderwerp</u>	<u>Beschrijving</u>
Mw 34 lid 1	Verzoek om instemming voor een nieuw winningsplan N05-A en omliggende potentiële gasvoorkomens	<input type="checkbox"/> een winningsplan voor voorkomens in het continentaal plat vanaf de 12 zeemijlszone <input checked="" type="checkbox"/> een winningsplan voor voorkomens in Nederlands territorium tot 12 zeemijl uit de kust
	A) Algemene gegevens	
	A1.1) Naam indiener	ONE-Dyas B.V.
	A1.2) Adres	Parnassusweg 815 1082 LZ, Amsterdam
	A1.3) Contactpersoon	_____
	A1.4) E-mail	_____
	A1.5) Telefoon	_____
Mw 34 lid 2 en Mw 22	A1.6) Indiener	<input checked="" type="checkbox"/> is houder van de vergunning <input checked="" type="checkbox"/> is uitvoerder cf artikel 22 Mw
	A2) Winningsvergunningengebied(en)	N04-N05-N08 en N07c.
Mw 34 lid 1 Mb 24 lid 1a	A2.1) Voorkomen(s) koolwaterstoffen	N05-A gasvoorkomen Potentiële gasvoorkomens: N05-A-Noord, Tanzaniet-Oost
Mb 24 lid 1a	A2.2) Soort koolwaterstof die wordt gewonnen	<input type="checkbox"/> olie <input type="checkbox"/> hoog calorisch gas <input type="checkbox"/> Groningen kwaliteit gas <input checked="" type="checkbox"/> laag calorisch gas <input type="checkbox"/> zwavelhoudend gas <input checked="" type="checkbox"/> aardgascondensaat
Mr 1.2.1 lid 3	A3) Bestaande of nieuwe winning	<input type="checkbox"/> winningsplan voor reeds bestaande winning (inclusief voorziene uitbreiding)

		<input checked="" type="checkbox"/> winningsplan voor nieuwe winning
Mw 38	A4) Samenloop vergunningen Wet milieubeheer	<input type="checkbox"/> nee, productie vindt plaats op bestaande mijnbouwlocatie <input checked="" type="checkbox"/> ja: te weten: art 2.1 onder e Wabo platform N05-A / art 94 Mbb pijpleiding N05-A – NGT, kabel N05-A – Duitse grens.
	<p>Opmerkingen:</p> <p>Dit winningsplan betreft gasvoorkomens buiten de 3-mijls zone en binnen de 12-mijlszone. Op basis van een wijziging van de Mijnbouwwet en de aanscherping van toetsingsgronden, waaronder de eisen voor een winningsplan uit te breiden tot de gehele 12-mijlszone, is bodembeweging (bodemdaling en trillingen) opgenomen in dit winningsplan.</p> <p>Het N05-A gasvoorkomen en het N05-A-Noord potentieel gasvoorkomen bevinden zich deels in Duitsland.</p> <p>De winningsplannen van het N05-A gasvoorkomen en de potentiële gasvoorkomens N05-A-Noord en Tanzaniet-Oost zijn in overleg met het ministerie van Economische Zaken en Klimaat samengevoegd om inzicht te geven in de totale beoogde exploratie- en ontwikkelingsactiviteiten rond het N05-A voorkomen, en om zo de cumulatieve omgevingseffecten in kaart te brengen. Om deze redenen wordt ook een tweetal geheel in Duitsland gelegen potentiële gasvoorkomens (N05-A-Südost en Diamant) bij dit winningsplan betrokken.</p>	

	Bedrijfs- en productiegegevens	Paragraaf
Mw 35 lid 1	Beknopte beschrijving van het winningsplan	1
Mw 35 lid 1c Mb 24 lid 1c,d	Beknopte beschrijving van wijze van winning alsmede daarmee verband houdende activiteiten	2, Bijlage 3, 4, 5
Mb 24 lid 1a	Geologische beschrijving van voorkomen(s)	3, Bijlage 5
Mb 24 lid 1a Mb 24 lid 1b	Geologische doorsnede van voorkomen(s)	3, Bijlage 5
Mw 35 lid 1a Mb 24 lid 1d,e	Overzicht ligging voorkomens en putten	2, Bijlage 3
Mb 24 lid 1d,e,g	Situering mijnbouwwerken situatietekening /eventueel foto	2
Mb 24 lid 1e,f	Overzicht boringen in voorkomen(s)	2
Mb 24 lid 1g	Schematische voorstelling putverbuizing(en)	4, Bijlage 6
Mb 24 lid 1h	Plaats en wijze waarop koolwaterstoffen in verbuizing treden	4, Bijlage 6
Mb 24 lid 2	Productieontwikkeling strategie	5.2
Mb 24 lid 2	Productiefilosofie	5.2
Mb 24 lid 2	Reservoir management	5.2, 5.5
Mw 35 lid 1a,d Mb 24 lid 1a	Omvang winning (hoeveelheden per voorkomen/per jaar)	5.3, Bijlage 7, 8

Mw 35 lid 1b	Duur van de winning (per voorkomen)	5.5, Bijlage 7, 8
Mb 24 lid 1i	Stoffen die jaarlijks worden mee geproduceerd	5.8
Mb 24 lid 1j	Jaarlijks eigengebruik bij winning	5.6
Mb 24 lid 1j	Jaarlijks bij winning afgeblazen/afgefakkelde koolwaterstoffen	5.7
Mb 24 lid 1k	Jaarlijks bij winning in de ondergrond terug te brengen delfstoffen en andere stoffen	5.9
Mw 36 lid 1 sub b	Planmatig gebruik of beheer van delfstoffen, aardwarmte, andere natuurlijke rijkdommen, waaronder grondwater met het oog op de winning van drinkwater, of mogelijkheden tot het opslaan van stoffen	2.2
Mw 35 lid 1e, Mw 24 lid 1l	Jaarlijkse kosten onderverdeeld in investeringen, onderhoud, bedrijfsvoering	Bijlage 9, (confidentieel)
Mw 24 lid 1a	Verwachte samenstelling van de aanwezige koolwaterstoffen	5.8
	Gegevens inzake bodembeweging	Paragraaf
Mw 35 lid 1f	Aard van de bodembeweging	6
Mb 24 lid 1m	Bodemdalingscontouren en verloop van de bodemdaling in tijd	6
Mb 24 lid 1p	Risicoanalyse bodemtrilling	6
	Mogelijke gevolgen voor milieu en natuur	Paragraaf
Mw 36 lid 1 sub c en d	Onze minister kan zijn instemming met het opgestelde winningsplan slechts geheel of gedeeltelijk weigeren indien nadelige gevolgen voor het milieu ontstaan, of indien nadelige gevolgen voor de natuur worden veroorzaakt.	7.1, 7.2
Ondertekening	<i>Datum: 23.09.2020</i>	
Naam:		
Functie:		

Document Control

	Name	Signature	Date
Prepared			23-09-2020
Reviewed			23-9-2020
			23-09-2020
Approved			23/09/2020

Revisions

Version	Date	Remark/Update
0.0	24-06-2020	Eerste concept
1.0	23-09-2020	Definitieve versie

Document Distribution List

Company	Person	Copy No.
Ministerie van Economische Zaken en Klimaat		1
ONE-Dyas B.V.	Doc control	
Hansa Hydrocarbons Limited		
EBN B.V.		

Table of Contents

Samenvatting	II
Formulier aanvraag instemming winningsplan	V
Document Control.....	VIII
Revisions	VIII
Document Distribution List	VIII
Table of Contents.....	IX
List of Figures	X
List of Tables	XI
1 Inleiding	12
1.1 Doel van het winningsplan en te volgen procedures	13
1.2 Leeswijzer.....	13
2 Plaats van winning en geplande activiteiten.....	14
2.1 Plaats van winning.....	14
2.2 Andere gebruiksmogelijkheden van de ondergrond.....	14
2.3 Overzicht van de geplande activiteiten.....	15
3 Overzicht van de geologie	22
3.1 Geologie en modelering van de ondergrond	22
3.2 De (potentiele) gasvoorkomens.....	24
3.3 Gemiddelde reservoirkarakteristieken.....	26
4 Geplande boringen	27
4.1 Algemene beschrijving van een put	27
4.2 Overzicht van aangemerkte puttrajecten.....	28
4.3 Schematische voorstelling van de geplande putverbuizing	29
4.4 Overzicht van putbehandelingen	32
5 Ontwikkelingsvooruitzichten.....	33
5.1 Bepaling van de ontwikkelingsvooruitzichten	33
5.2 Winningsstrategie en reservoirmanagement.....	33
5.3 Ontwikkelingsvooruitzichten per (potentieel) gasvoorkomen.....	34
5.4 Gezamenlijk ontwikkelingsvooruitzicht voor de vijf voorkomens.....	35
5.5 Duur van de winning.....	35
5.6 Eigengebruik bij de winning.....	35
5.7 Bij winning afgeblazen/afgefakkelde koolwaterstoffen.....	35
5.8 Gassenstelling en stoffen die jaarlijks worden meegeproduceerd.....	35
5.9 Bij winning in de ondergrond terug te brengen delfstoffen en andere stoffen	36

5.10	Ondersteunende voorzieningen	37
5.11	Onderhoud van het behandelingsplatform.....	38
6	Gegevens inzake bodembeweging	40
7	Mogelijke gevolgen voor milieu en natuur	42
7.1	Milieu	42
7.2	Natuur.....	44
	Bijlage 1: Verklarende woordenlijst.....	45
	Bijlage 2: Referenties	47
	Bijlage 3: Topografische kaart met de ligging van de voorkomens.....	48
	Bijlage 4: Proces-stroomdiagram van de mijnbouwlocatie	49
	Bijlage 5: Geologische kaart en doorsnedes van de voorkomens	50
	Bijlage 6: Detailschema productieverbuizing	54
	Bijlage 7: Gasproductieprofielen voor de individuele voorkomens	55
	Bijlage 8: Productietabellen voor de individuele voorkomens.....	60
	Bijlage 9: Investeringsen en jaarlijkse kosten voor onderhoud en bedrijfsvoering.....	65

List of Figures

Figuur 1-1	: Locatie van het N05-A gasvoorkomen en de vier omliggende prospects	12
Figuur 2-1	Ligging van de voorkomens en omliggende activiteiten, infrastructuur en natuurgebieden	14
Figuur 2-2	Impressie van de N05-A mijnbouwinstallatie	15
Figuur 2-3	Aangemerkte putlocaties voor het N05-A voorkomen	17
Figuur 2-4	Aangemerkte putlocaties voor het N05-A-Noord prospect.....	18
Figuur 2-5	Aangemerkte putlocatie voor het Tanzaniet-Oost prospect	19
Figuur 2-6	Aangemerkte putlocaties voor het Diamant prospect.....	20
Figuur 2-7	Aangemerkte putlocatie voor het N05-A-Südost prospect.....	21
Figuur 3-1	Dieptekaart van de bovenzijde van de voorkomens (top reservoir). De rode lijn geeft de locatie van de dwarsdoorsnede aan in Figuur 3-2.....	24
Figuur 3-2	Dwarsdoorsnede langs lijn A-A' in Figuur 3-1 verticale schaal 2x vergroot	24
Figuur 4-1	Schematische weergave van een generieke gasproductieput. De tekening is niet op schaal (sterk verticaal gekrompen)	27
Figuur 4-2	Schematische weergave verticale putverbuizing. De tekening is niet op schaal (sterk verticaal gekrompen).....	31
Figuur 4-3	Schematische weergave gedeveierde putverbuizing. De tekening is niet op schaal (sterk verticaal gekrompen).....	32

Figuur 6-1 Gasproductieprofiel dat gebruikt is voor de bodembewegingsstudie, met een totaal winningsvolume van 22.3 miljard Nm ³	40
Figuur 6-2 Bodemdaling (in centimeters) voor het N05-A-gasveld en omliggende prospects, tijdstip is einde productie met maximale gaswinningsscenario voor de meest waarschijnlijke compactiecoëfficiënt uit laboratoriumanalyses op gesteentemonsters van 0,035 GPa-1. L.....	41

List of Tables

Tabel 4-1 Overzicht van bestaande putten en de 21 aangemerkte potentiële puttrajecten	28
Tabel 5-1 Parametrisering van de drie productiescenario's	34
Tabel 5-2 Technisch winbare gasvolumes voor de drie beschouwde scenario's	34
Tabel 5-3 Analyse van het aardgas monster N05-01-S1 PVT-1B	36
Tabel 5-4 Maximum water- en condensaat productie-verwachtingen.....	36

1 Inleiding

Dit document betreft het gezamenlijke winningsplan voor het N05-A gasvoorkomen en twee nabijgelegen nog niet aangeboorde potentiële gasvoorkomens (prospects) genaamd N05-A-Noord en Tanzaniet-Oost. Het N05-A gasvoorkomen is in 2017 ontdekt door proefboring N05-01. Er worden twee geheel in Duitsland gelegen prospects (Diamant en N05-A-Südost) bij dit winningsplan betrokken om zo de cumulatieve omgevingseffecten in kaart te brengen.

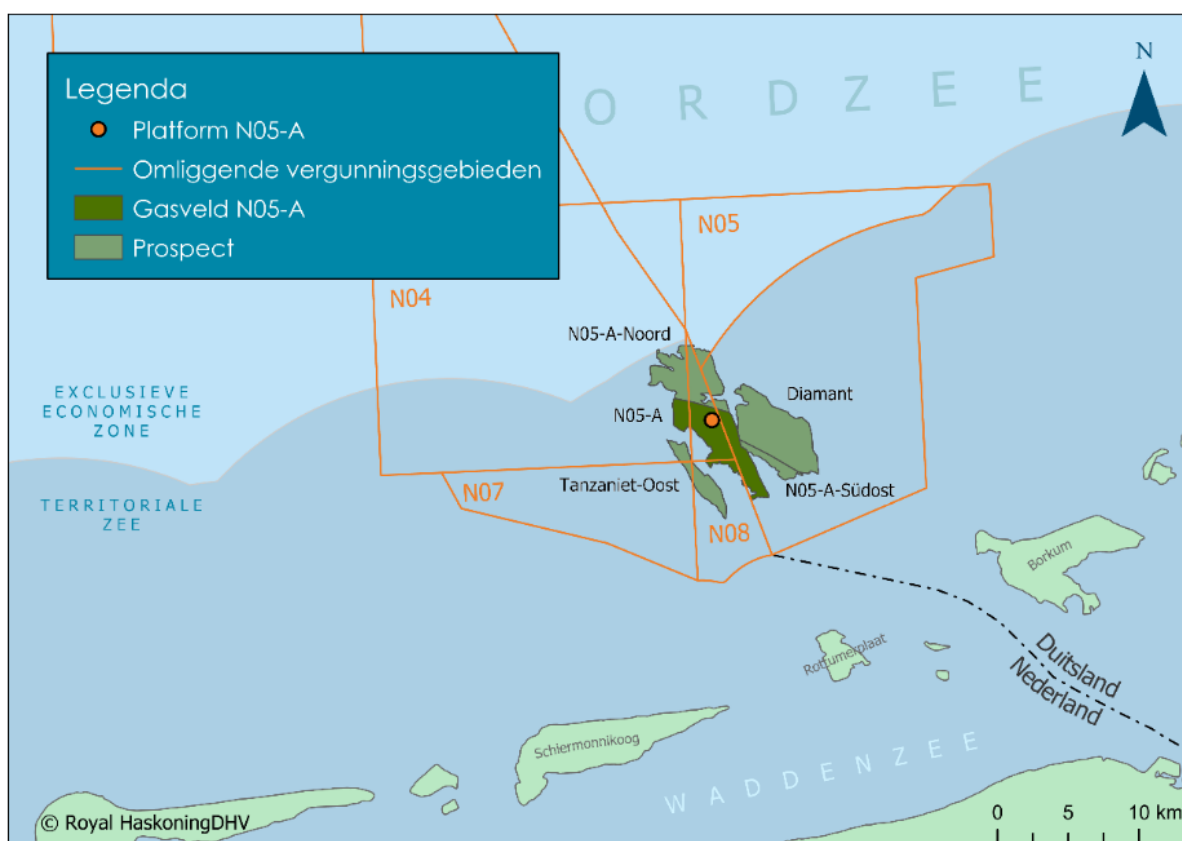
Zoals Figuur 1-1 aangeeft overschrijden het N05-A voorkomen en het N05-A-Noord prospect de grens met Duitsland. Het Tanzaniet-Oost prospect ligt geheel onder Nederlandse territoriale wateren.

Een consortium van ONE-Dyas B.V. (ONE-Dyas), Hansa Hydrocarbons B.V. (Hansa) en EBN B.V. (EBN) gaat gezamenlijk de gaswinning ondernemen. ONE-Dyas is belast met de daadwerkelijke uitvoering en is daarmee de initiatiefnemer.

ONE-Dyas is samen met Hansa houder van de winningsvergunning voor de vergunningsgebieden N04, N05 en N08 (DEKE-WO / 19137629, d.d. 24 juli 2019) waarin zich het Nederlandse deel van N05-A en N05-A-Noord bevinden, en houder van de winningsvergunning voor vergunningsgebied N07c (DGETM-EM/15007992, d.d. 13 februari 2015) waarin Tanzaniet-Oost gedeeltelijk ligt. De vergunningshouders hebben voor beide winningsvergunningen overeenkomsten van samenwerking getekend met EBN.

ONE-Dyas is in Duitsland licentiehouder van de vergunningsgebieden waarin zich ten dele N05-A en N05-A-Noord bevinden, en in zijn geheel Diamant en N05-A-Südost.

ONE-Dyas heeft het voornemen om in Nederlandse territoriale wateren boven het N05-A gasvoorkomen een nieuwe mijnbouwinstallatie te plaatsen en vanaf deze locatie het N05-A gasvoorkomen te ontwikkelen. Het is de intentie om vanaf de nieuwe installatie proefboringen te verrichten naar de vier omliggende Nederlands en Duitse prospects, en eventueel ontdekte Nederlandse en Duitse gasvoorkomens vanaf de nieuwe installatie te ontwikkelen.



Figuur 1-1 : Locatie van het N05-A gasvoorkomen en de vier omliggende prospects

1.1 Doel van het winningsplan en te volgen procedures

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. Het winningsplan geeft een overzicht van de geologie, de voorkomens en putten, de situering van de mijnbouwwerken, productiegegevens en gegevens inzake bodembeweging en mogelijke gevolgen voor natuur en milieu. Dit laatste wordt behandeld in het milieueffectrapport (MER), de natuurtoets en de Passende Beoordeling.

De winningsplannen van N05-A, N05-A-Noord en Tanzaniet-Oost zijn in overleg met het ministerie van Economische Zaken en Klimaat samengevoegd om inzicht te geven in de totale beoogde exploratie- en ontwikkelingsactiviteiten rond het N05-A voorkomen, en om zo de cumulatieve omgevingseffecten in kaart te brengen. Om deze redenen wordt ook een tweetal geheel in Duitsland gelegen prospects (N05-A-Südost en Diamant) bij dit winningsplan betrokken.

De berekeningen en inschattingen worden gecontroleerd door Staatstoezicht op de Mijnen (SodM). Wettelijke adviseurs (TNO, EBN, Tcbb) brengen advies uit aan de minister. Als laatste brengt de Mijnraad advies uit, gebaseerd op alle eerdere adviezen.

De instemming met het winningsplan wordt gelijktijdig aangevraagd met de Wabo-vergunning (Wet algemene bepalingen omgevingsrecht) voor het oprichten en instandhouden van de mijnbouwinstallatie N05-A. Tegelijk worden ook de vergunningen voor de mijnbouwlocatie op grond van artikel 55 Mb, en voor het leggen van de pijpleiding en elektriciteitskabel op grond van artikel 94 Mb aangevraagd. Deze vier besluiten (wipla/wabo/art55/art94) worden gecoördineerd aangevraagd bij het ministerie van Economische Zaken en Klimaat. Tevens wordt bij het ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Voedselkwaliteit (LNV) een Wnb-vergunning aangevraagd voor bovengenoemde activiteiten. Het Duitse gedeelte van de elektriciteitskabel van de grens naar het Riffgat windmolenpark doorloopt een Duitse vergunningsprocedure.

1.2 Leeswijzer

In dit document wordt ingegaan op voorkomens en ligging daarvan, de mijnbouwinstallatie, de geologie en de eigenschappen van de ondergrondse gasvoorkomens, de manier waarop het aardgas gewonnen wordt inclusief de boringen, de voorspelde productiehoeveelheden, mogelijke bodembeweging en mogelijke gevolgen voor milieu en natuur.

Het conceptrapport “Aardbevingsrisico en bodemdalings-studie van N05-A gasveld en omliggende prospects” is een op zichzelf staand onderdeel van dit winningsplan.

Bijlage 1 bevat een verklarende woordenlijst.

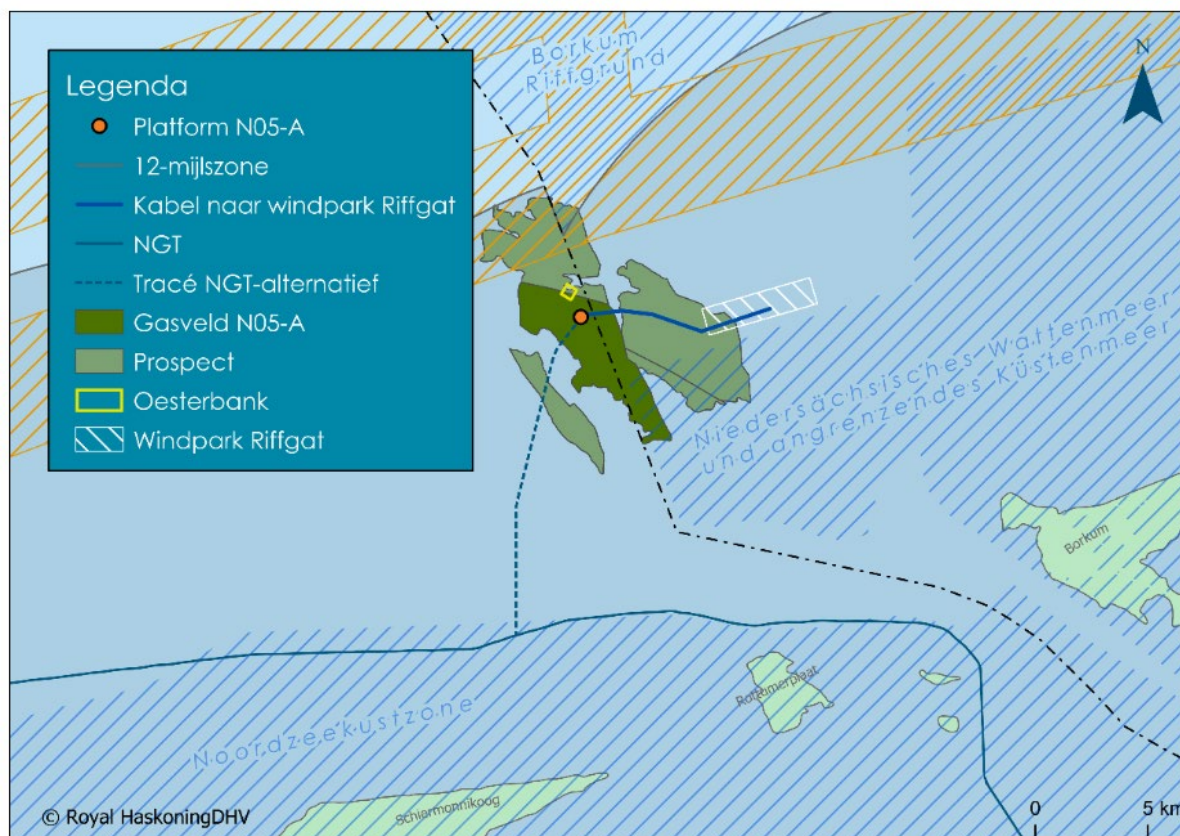
Zoals gebruikelijk wordt een onderdeel van het winningsplan apart toegezonden aan het ministerie van Economische Zaken. Dit vertrouwelijke deel bevat informatie over de verwachte productiekosten en investeringskosten, alsmede concurrentiegevoelige details over de geplande put en gasvolumeberekeningen. Openbaarmaking kan de concurrentiepositie van ONE-Dyas en Hansa schaden.

2 Plaats van winning en geplande activiteiten

2.1 Plaats van winning

De voorkomens liggen binnen de territoriale wateren van de Noordzee ten noorden van de Nederlandse en Duitse kust, zie Figuur 2-1 en Bijlage 3. De meest zuidelijke grens van de voorkomens bevindt zich op ongeveer tien kilometer afstand van Schiermonnikoog en het Duitse eiland Borkum en op ruim vijf kilometer van Rottumerplaat. Figuur 2-1 laat tevens de omliggende natuurgebieden en infrastructuur zien.

Zoals Figuur 2-1 aangeeft overschrijden het N05-A voorkomen en het N05-A-Noord prospect de grens met Duitsland. Het Tanzaniet-Oost prospect bevindt zich geheel binnen Nederlandse territoriale wateren.



Figuur 2-1 Ligging van de voorkomens en omliggende activiteiten, infrastructuur en natuurgebieden

2.2 Andere gebruiksmogelijkheden van de ondergrond

Er is voor de ondergrond in de omgeving een zandwinningsvergunning afgegeven. Het zandwingebed is op Figuur 2-1 aangegeven.

Grondwaterwinning vindt plaats op ongeveer twintig kilometer van de beoogde mijnbouwlocatie aan de westkant en noordwestkant van Schiermonnikoog (Hertenvallei en Westerplas). Op van twintig tot dertig meter diepte wordt op beide locaties jaarlijks 0,15 miljoen kubieke meter grondwater onttrokken (Gebiedsdossier grondwater-beschermingsgebieden Fryslân, Schiermonnikoog). Er is geen interactie met de gaswinning rond N05-A te verwachten. Als standaardprocedure bij gaswinning wordt bij het plaatsen van de boringen de eerste vijfenzeventig meter onder NAP een stalen buis (dertig duim conductor) geplaatst. Hierbij worden de ondiepe grondwaterlagen afgesloten. Voor het beschermen van de onderliggende lagen tot aan de hydrologische basis (225 meter onder NAP) wordt geboord met boorspoeling op waterbasis. Daarna wordt dit traject volledig afgesloten door middel van een gecementeerde stalen buis (18 5/8 duim casing).

Er zijn in de directe omgeving geen geothermieprojecten. Gezien de dikte en doorlatendheid van de Slochteren-laag in deze omgeving is de geschiktheid van de formatie voor geothermische projecten gering.

Gasopslag en zoutwinning zijn in de omgeving niet voorzien.

2.3 Overzicht van de geplande activiteiten

2.3.1 De mijnbouwinstallatie

ONE-Dyas heeft het voornemen om de voorkomens te ontwikkelen vanaf een nieuw te plaatsen mijnbouwinstallatie, N05-A. De oppervlaktecoördinaten van de geplande mijnbouwinstallatie staan in Tabel 2-1. Alle proef- en ontwikkelingsboringen worden vanaf deze oppervlaktelocatie uitgevoerd.

Tabel 2-1 Locatie van de toekomstige mijnbouwinstallatie N05-A

N05-A Mijnbouwinstallatie	Datum ED50
Breedtegraad	06° 21' 23" E
Lengtegraad	53° 41' 32" N

Figuur 2-2 toont een impressie van de mijnbouwinstallatie, waarvan het proces-stroomdiagram gegeven is in Bijlage 4.



Figuur 2-2 Impressie van de N05-A mijnbouwinstallatie

De installatie wordt uitgerust voor het aansluiten en produceren van twaalf putten.

De energievoorziening voor het opereren van de installatie gebeurt op basis van elektriciteit. Hiervoor zal vanaf het Duitse Riffgat windpark een nieuwe elektriciteitskabel worden gelegd.

Op de installatie wordt het aardgas behandeld tot de vereiste exportleidingspecificaties. Het aardgas wordt van de geproduceerde vloeistoffen gescheiden en gedroogd. Water wordt, na verwijdering van koolwaterstoffen tot beneden de wettelijke specificaties van dertig ppm, in zee afgevoerd. De mijnbouwinstallatie heeft een initiële behandelingscapaciteit van vier miljoen Nm³ gas per dag, met de mogelijkheid deze op een later moment uit te breiden naar zes miljoen Nm³ gas per dag.

Het behandelde aardgas wordt samen met het condensaat via een nieuw te leggen dertien kilometer lange leiding naar de bestaande aardgasleiding van NGT (Noordgastransport) getransporteerd. De NGT-leiding brengt het aardgas naar Uithuizen waar het na verdere behandeling wordt afgenomen.

De installatie wordt ingericht om een aantal jaar na start van de productie een elektrisch aangedreven compressor te kunnen plaatsen. Deze compressor brengt het aardgas op de gewenste afvoerdruk nadat door productie de druk in de voorkomens te laag is geworden voor directe export naar de NGT-leiding.

De installatie is normaliter onbemand, en wordt op afstand gecontroleerd en gemonitord vanuit een permanent bemande ONE-Dyas controlekamer. Er zijn gemiddeld twaalf bezoeken per jaar voorzien voor controles en onderhoud. Het bezoeken van de installatie kan door middel van schepen en helikopters.

De installatie biedt de mogelijkheid voor het aansluiten van maximaal twee nieuwe pijpleidingen ten behoeve van de mogelijke toekomstige gasontwikkelingen die geen onderdeel zijn van dit winningsplan.

2.3.2 Geplande boringen

De totale booractiviteit (voor de vijf voorkomens) voorziet in maximaal twaalf putten en maximaal twaalf aftakkingen (*sidetracks*), allen geboord vanaf de nieuw te plaatsen mijnbouwinstallatie N05-A.

Gezien de ondergrondse onzekerheden zijn de benodigde hoeveelheid putten en de exacte ondergrondse putlocaties op voorhand niet zeker. Er zijn in dit winningsplan voor de vijf voorkomens eenentwintig potentiële ondergrondse putlocaties aangemerkt. Resultaten van de eerste boringen bepalen welke, en hoeveel, van de resterende potentiële ondergrondse locaties aangeboord worden. De ondergrondse locaties worden tijdens gedetailleerde planning van de putten geoptimaliseerd.

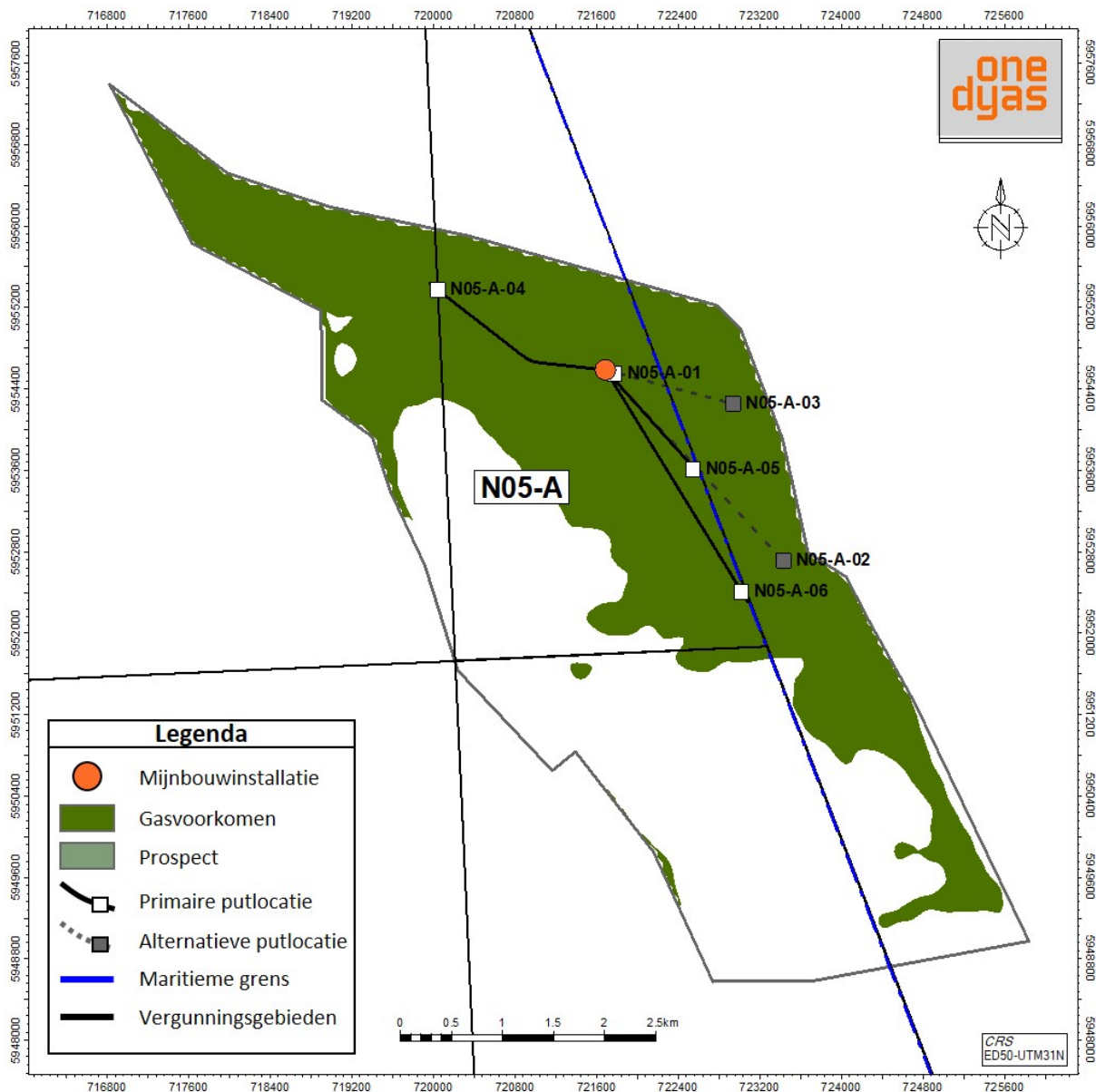
Op basis van de informatie die wordt verkregen uit de eerdere putten kan besloten worden volgende putten van een horizontale reservoirsectie te voorzien. Bijvoorbeeld als blijkt dat zich in het voorkomen (geologische) barrières tegen vrije stroming van het aardgas bevinden. Deze horizontale secties zouden een lengte van vijftig tot vijfhonderd meter kunnen beslaan.

Alle putten worden vanaf de beoogde installatie geboord. De putten worden gecompleteerd met een voor de Nederlandse Noordzee gebruikelijk verbuizingsschema. Technische details over de putten zijn te vinden in Hoofdstuk 4.

Boringen naar het N05-A voorkomen

Voor het N05-A gasvoorkomen zijn maximaal vier putten voorzien. Er zijn in Figuur 2-3 vier primaire putlocaties gedefinieerd en twee alternatieve putlocaties.

De ontwikkeling van het grensoverschrijdende N05-A voorkomen zou volledig binnen Nederlandse grenzen kunnen plaatsvinden. ONE-Dyas overweegt echter om met het oog op de winningsefficiëntie een aantal putten naar het N05-A voorkomen in de Duitse ondergrond te plaatsen.

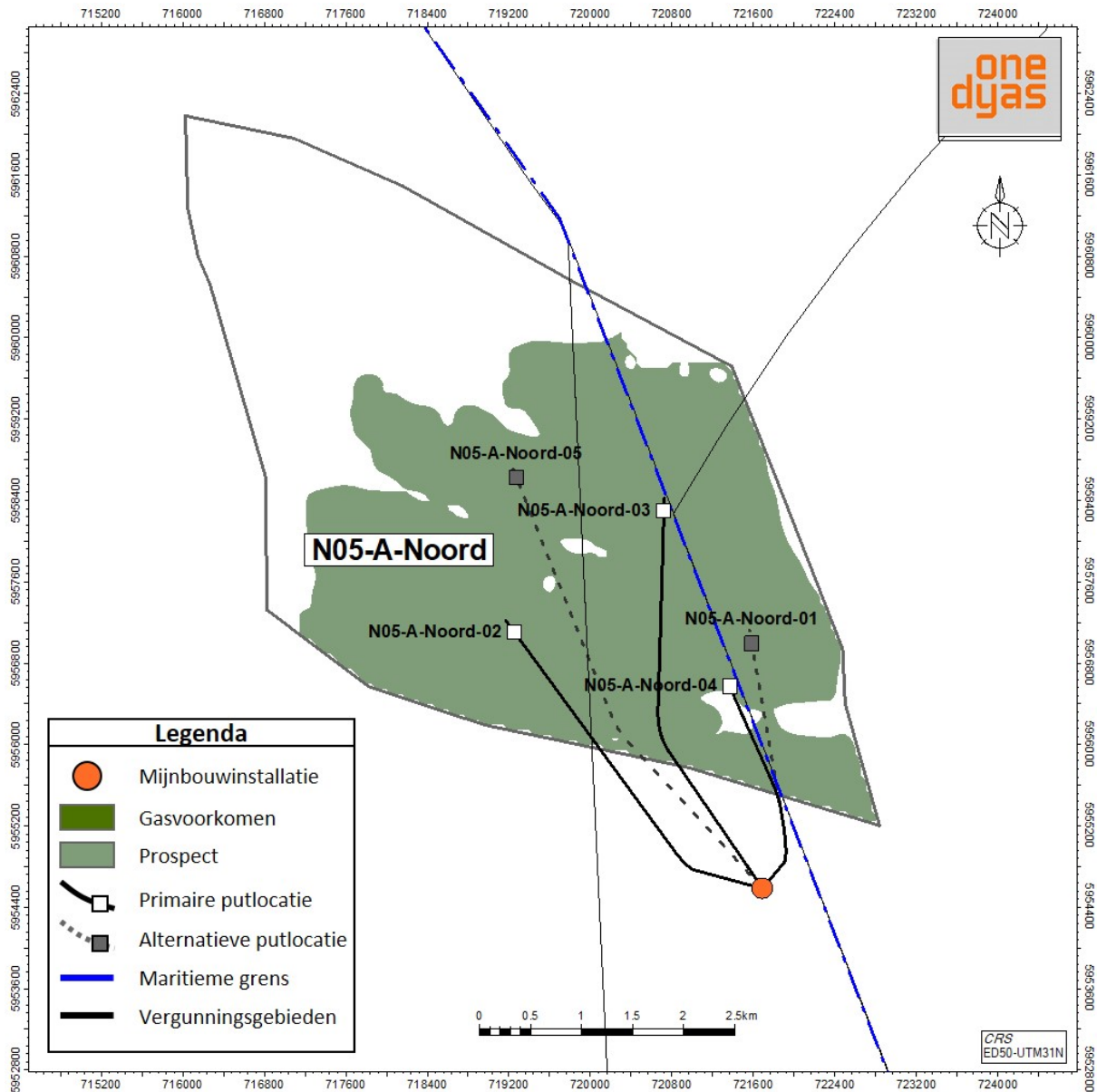


Figuur 2-3 Aangemerkte putlocaties voor het N05-A voorkomen

Boringen naar het N05-A-Noord prospect

Voor het N05-A-Noord prospect zijn maximaal drie putten voorzien. Er zijn in Figuur 2-4 drie primaire putlocaties gedefinieerd en twee alternatieve putlocaties.

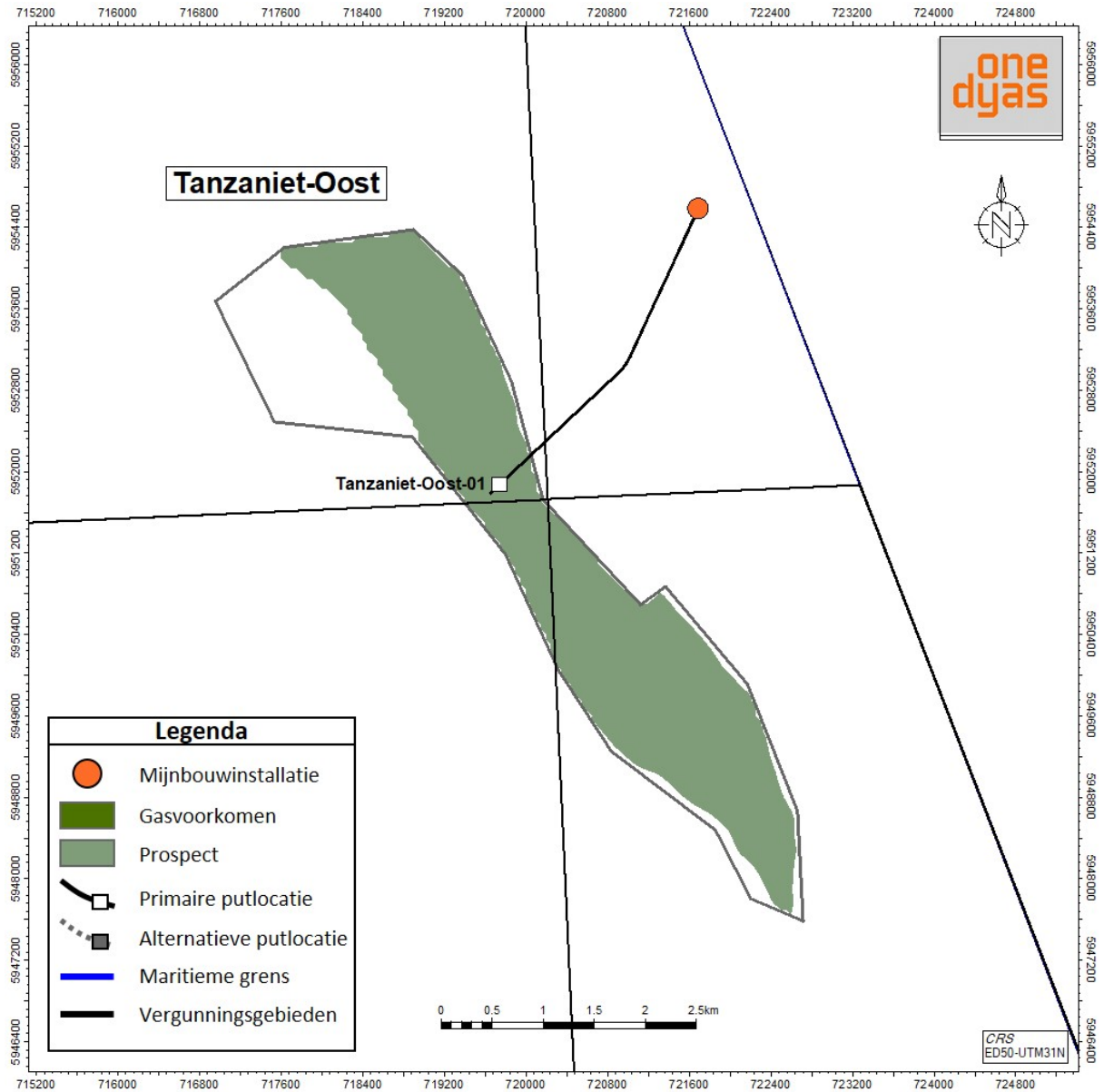
De ontwikkeling van het grensoverschrijdende N05-A-Noord prospect zou volledig binnen Nederlandse grenzen kunnen plaatsvinden. ONE-Dyas overweegt echter om met het oog op de winningsefficiëntie een aantal putten naar het N05-A-Noord prospect in de Duitse ondergrond te plaatsen.



Figuur 2-4 Aangemerkte putlocaties voor het N05-A-Noord prospect

Boringen naar het Tanzaniet-Oost prospect

Voor het Tanzaniet-Oost prospects is maximaal één put voorzien, zie Figuur 2-5. De proefboring dient tevens als ontwikkelingsboring als er aardgas wordt gevonden.



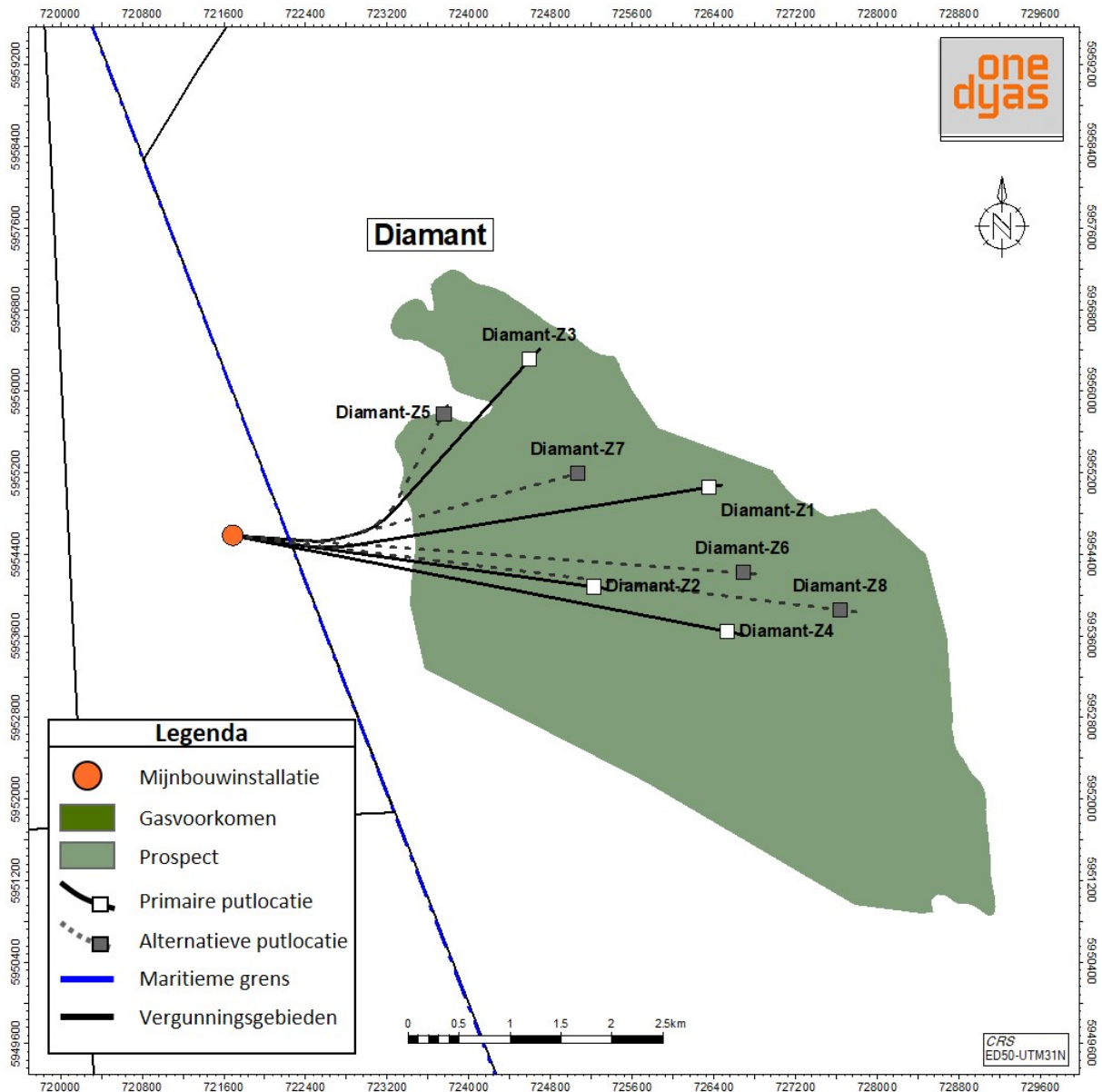
Figuur 2-5 Aangemerkte putlocatie voor het Tanzaniet-Oost prospect

Boringen naar de Diamant en N05-A-Südost prospects

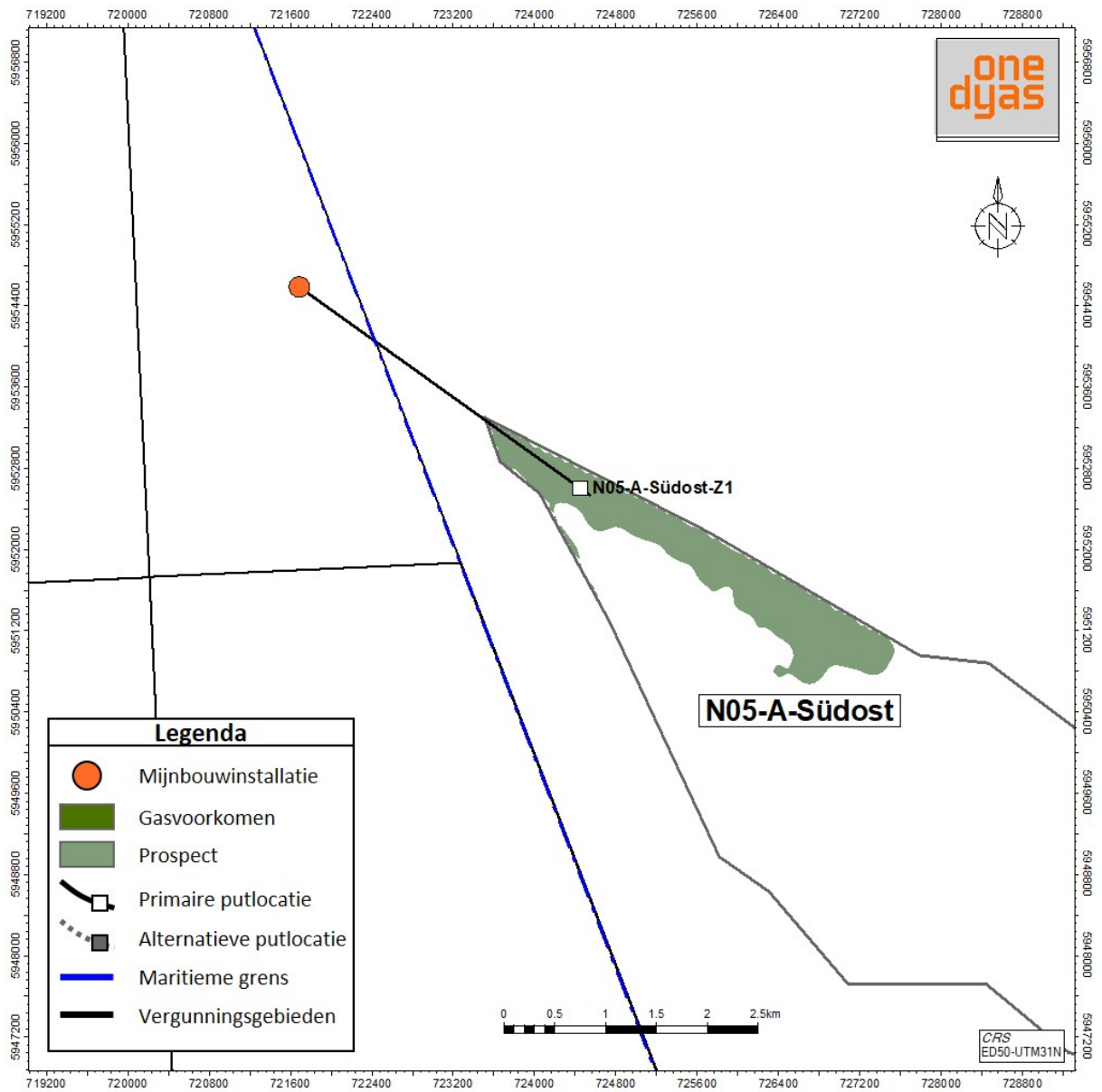
Voor het Diamant prospect zijn maximaal vier putten voorzien. Er zijn in Figuur 2-6 vier primaire putlocaties gedefinieerd en vier alternatieve putlocaties.

Voor het N05-A-Südost prospects is maximaal één puttraject aangemerkt, zie Figuur 2-7. De proefboring dient tevens als ontwikkelingsboring als er aardgas wordt gevonden.

Voor de Diamant en N05-A-Südost prospects is het noodzakelijk om de putten onder de zeebodem op Duits grondgebied te plaatsen.



Figuur 2-6 Aangemerkte putlocaties voor het Diamant prospect



Figuur 2-7 Aangemerkte putlocatie voor het N05-A-Südost prospect

3 Overzicht van de geologie

3.1 Geologie en modelering van de ondergrond

De Nederlandse bodem en ondergrond, zowel onshore als offshore, zijn gekenmerkt door een continue daling waardoor in de loop van de laatste driehonderd tot vierhonderd miljoen jaar verschillende typen sediment zijn afgezet. Een algemene beschrijving met nadere uitwerking van de gebruikte begrippen kan bijvoorbeeld gevonden worden in Referentie 2 (zie Bijlage 2).

Als een van de eerste stappen in de exploratie naar aardgas wordt met behulp van seismisch onderzoek en gespecialiseerde computerprogramma's een driedimensionaal beeld gemaakt van de ondergrond. Hierbij worden mogelijk gasvoerende structuren (prospects) in kaart gebracht.

Potentiele gasvolumes in de geïdentificeerde ondergrondse structuren worden geschat door middel van een zogenaamde *spill-point* analyse. Hierbij wordt geanalyseerd op welke punten het aardgas zou kunnen ontsnappen uit de gekarteerde structuur. Deze gasmigratie wordt bepaald door meerdere factoren zoals bijvoorbeeld de doorlaatbaarheid van ondergrondse breuken en gesteentelagen.

Door middel van een proefboring wordt de gasvoerendheid van een potentieel gasvoorkomen bevestigd. De gegevens van boringen worden gebruikt om de nauwkeurigheid van het driedimensionale beeld te verhogen. Aan de hand van metingen in het boorgat en aan boorkernen worden de relevante gesteente-eigenschappen bepaald, zoals de porositeit (percentage porie-volume tussen de gesteentekorrels), de gassaturatie (verhouding gas/water in het porie-volume) en de permeabiliteit (de doorlaatbaarheid van het gesteente).

De beschrijving van een (mogelijk) gasvoorkomen behoeft kwantificatie van onzekerheden. Voorspellingen van het aanwezige- en winbare gasvolume worden voorzien van een onzekerheidsmarge. Voor de onbewezen gasvoorkomens (prospects) wordt bovendien de *kans op exploratie succes* gehanteerd, die de waarschijnlijkheid beschrijft dat een gekarteerde structuur gashoudend is.

3.1.1 Reservoirformatie

Het laagcalorische aardgas bevindt zich in de Slochteren zandsteen, onderdeel van de *Rotliegend* formatie, op ongeveer vier kilometer onder de zeebodem. Het Slochteren zandsteenpakket is in het gebied rond N05-A relatief dun (vijfentwintig tot dertig meter dik) en op plekken geheel afwezig.

3.1.2 Overliggende gesteentelagen

De betrokken voorkomens worden afgedekt (en afgesloten) door kleisteenlagen welke ook tot het *Rotliegend* behoren. Hierboven bevinden zich een kilometers dik pakket van verschillende gesteentesoorten. Van boven naar beneden:

Kwartair/Tertiair	
Boven Noordzee	Zandlagen afgewisseld met niet-doorlatende (<i>impermeabele</i>) kleilagen
Onder Noordzee	Impermeabele kleilagen; mogelijk afgewisseld met zandsteenlagen
Krijt	
Ommelanden/Texel	Krijtsteen, potentieel permeabel
Onder-Krijt	<i>Impermeabele</i> kleilagen; mogelijk afgewisseld met zandsteenlagen
Trias	
Main Buntsanstein	Permeabele laag; grotendeels geërodeerd
Lower Buntsandstein	<i>Impermeabele</i> kleilagen; mogelijk afgewisseld met zandsteenlagen
Perm	
Zechstein	<i>Impermeabele</i> zout-, anhydriet- en kalksteenlagen
Rotliegend	<i>Boven de voorkomens in het Rotliegend bevinden zich impermeabele klei- en zout/anhydrietlagen</i>

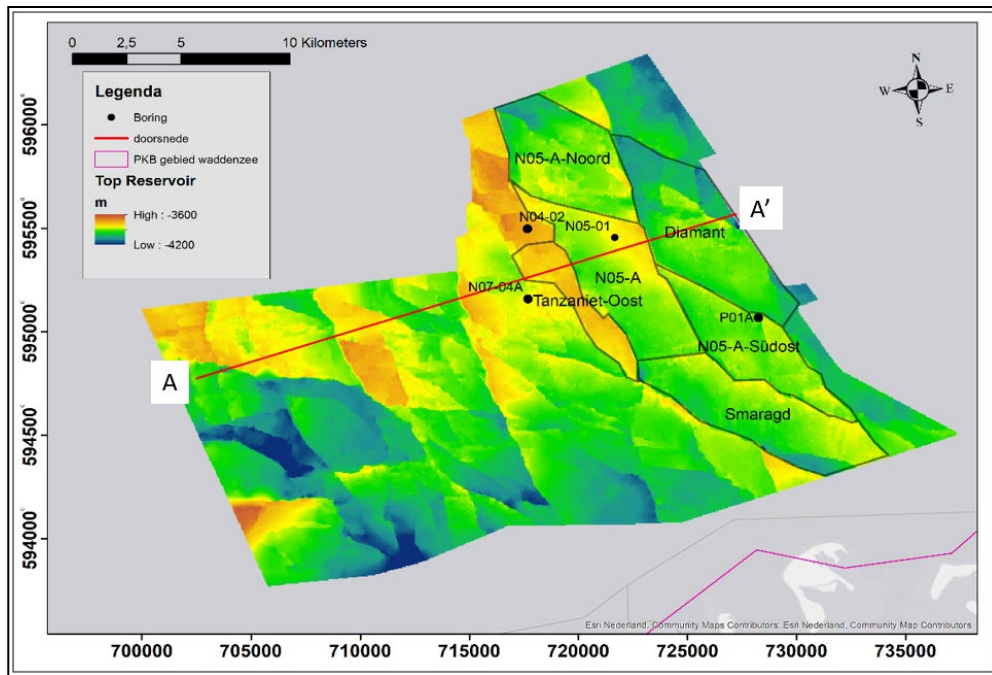
3.1.3 Oorsprong van het aardgas

Aan het eind van het *Carboon* tijdperk werd het koolhoudende carboonsediment door aanvoer van nieuwe sedimenten tot een diepte van meer dan vier kilometer begraven. Doordat de temperatuur met de diepte toeneemt werd het *Carboon* tijdens deze begravingsfase verhit tot meer dan honderd graden Celsius. Tijdens dit begravingsproces werden de oorspronkelijke veenlagen samengedrukt tot kolen en uiteindelijk antraciet. Hierbij ontstond aardgas (methaan en mogelijk zwaardere koolwaterstoffen).

Het ontstane aardgas migreerde richting de oppervlakte waarbij poreuze zandsteenformaties langs de migratieroute met aardgas werden gevuld.

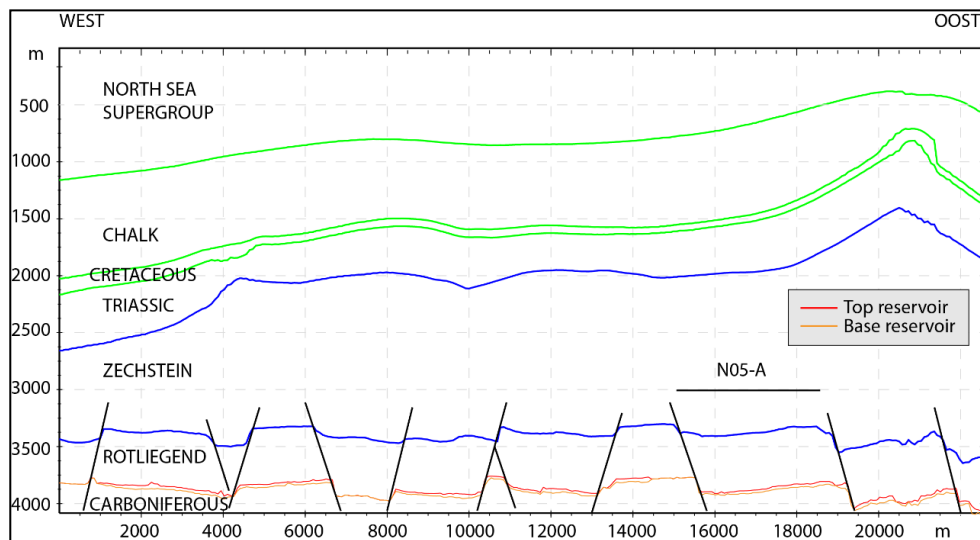
3.1.4 Structuur

Verschillende tektonische fasen hebben de Nederlandse ondergrond gedeformeerd waardoor veel breukvorming is opgetreden. Dit manifesteert zich in een aantal dominante breukoriëntaties, waardoor op het niveau van het N05-A gasvoorkomen en omliggende prospects een onregelmatig ruitpatroon van breukblokken is ontstaan. Elk van deze breukblokken kan een gasvoorkomen vormen. Het beschreven breukpatroon is weergegeven op de dieptekaart in Figuur 3-1. Deze kaart is samengesteld op basis van putgegevens en seismische data.



Figuur 3-1 Dieptekaart van de bovenzijde van de voorkomens (top reservoir). De rode lijn geeft de locatie van de dwarsdoorsnede aan in Figuur 3-2

Figuur 3-2 toont een dwarsdoorsnede langs het profiel A-A'. Het Slochteren gasvoorkomen is de dunne strook aan de basis van het Rotliegend interval, boven op het Carboon (Carboniferous). De dwarsdoorsnede illustreert ook de diktevariaties in de overliggende gesteentepakketten.



Figuur 3-2 Dwarsdoorsnede langs lijn A-A' in Figuur 3-1 verticale schaal 2x vergroot

3.2 De (potentiele) gasvoorkomens

Naast de figuren in dit hoofdstuk bevat Bijlage 5 een geologische kaart van de vijf voorkomens en een aantal doorsnedes. Gemiddelde reservoirkarakteristieken worden gegeven in Paragraaf 3.3.

3.2.1 Het N05-A gasvoorkomen

Dit voorkomen bevindt zich gedeeltelijk onder Nederlandse en gedeeltelijk onder Duitse wateren.

Het voorkomen is in 2017 aangetoond door de proefboring N05-01 (boorgaten -S1 en -S3).

Het ondiepste punt van het N05-A voorkomen ligt op ongeveer 3770 m. Het gas-watercontact wordt ingeschat op een diepte van 3906 m tot 3914 m onder gemiddeld zeeniveau, waarbij de gaskolom in dit geval dus een hoogte heeft van ongeveer 140 m. Het meest waarschijnlijke contact wordt verwacht rond 3910 m diepte.

3.2.2 Het N05-A-Noord prospect

Dit prospect bevindt zich gedeeltelijk onder Nederlandse en gedeeltelijk onder Duitse wateren.

Deze structuur wordt door een praktisch oost-west georiënteerde breuk gescheiden van het N05-A voorkomen. Een duidelijke afname van het verticale verzet in westelijke richting is waarneembaar waardoor de N05-A-Noord structuur in verbinding zou kunnen staan met het N05-A voorkomen, hetgeen de kans op de aanwezigheid van aardgas in het prospect verhoogt. Anderzijds lijkt de reservoirdikte in het noordwestelijke deel van het N05-A voorkomen geringer te zijn hetgeen de kans op een directe verbinding met N05-A-Noord verkleint. Het is mogelijk dat de reservoirkwaliteit in N05-A-Noord lager is door de werking van oost-west georiënteerde breuken binnen dit blok waardoor meer dan normale cementatie (neerslag van opgeloste mineralen en zouten) de porieruimte kan hebben teruggebracht. Het bereik van het gas-watercontact wordt ingeschat op 3901 m tot 4047 m diepte onder gemiddeld zeeniveau. Het meest waarschijnlijke contact wordt verwacht rond 3920 m.

3.2.3 Het Tanzaniet-Oost prospect

Dit prospect bevindt zich geheel onder Nederlandse wateren.

Langs de westkant van het N05-A gasveld loopt een smalle, NW-ZO georiënteerde rug waar over grote delen geen reservoir van enige betekenis voorkomt. Deze één tot drie kilometer brede rug wordt aan de oostelijke- en westelijke kant begrensd door een breuksysteem met een NNW-ZZO-oriëntatie. Het vermoeden is dat dit hoog ook al tijdens afzetting van de reservoir zanden in het Perm (260-265 miljoen jaar geleden) een topografisch 'hoog' was waar geen, of nauwelijks, sedimentatie plaatvond. De boringen N04-1 (1968) en N04-2 (1992) zijn op basis van 2D seismische data geplaatst op de hoogste locatie in dit gebied. Beide boringen vonden aardgas aanwijzingen maar onvoldoende goed reservoirzand. Het bereik van het gas-watercontact wordt ingeschat op 3763 m tot 3900 m diepte onder gemiddeld zeeniveau. Het meest waarschijnlijke contact wordt verwacht rond 3840 m.

3.2.4 Het Diamant prospect

Dit prospect bevindt zich geheel onder Duitse wateren.

De top van de structuur (3750 m) bevindt zich op drie kilometer afstand van de beoogde N05-A platformlocatie. Het wordt aan de westzijde gescheiden van het N05-A gasveld door een breuk met een verticaal verzet van 120-200 m. Aan de oostkant bevindt zich eveneens een relatief grote breuk met een verticaal verzet van 100-250 m. De Diamant structuur ligt hierbinnen en is zo'n drie kilometer breed en, parallel aan de breuken, zo'n zeven kilometer lang in NNW-ZZO-richting. In beide richtingen helt het reservoir naar het noorden respectievelijk zuiden; aan de zuidkant buigen de lagen om op ongeveer 4100 m waarmee de maximale diepte is bereikt tot waar de structuur mogelijk met aardgas gevuld kan zijn.

Het model zegt dat aardgas vanuit de diepte, maar vooral door migratie binnen het reservoir vanuit het noorden is gevuld. Indien deze migratie heeft plaatsgevonden kan een maximale vulling optreden tot 413 m. Op deze diepte bevindt zich dan het diepst mogelijke gas-watercontact. Dit kan alleen plaatsvinden als de breuken gasdicht zijn. Mochten de breuken doorlatend zijn dan ligt het gas-watercontact hoger en zijn de initiële gasvolumes kleiner.

In het minst positieve geval lekt de structuur dicht bij de top van het reservoir en bevindt er zich geen, of slechts heel weinig aardgas. Dit laatste kan ook optreden wanneer de afsluitende toplaag niet effectief is. Dit lijkt niet waarschijnlijk voor Diamant, zo dicht bij het N05-A gasvoorkomen. De verwachting is dat reservoirkwaliteit en de kwaliteit van de afdekkende laag beiden vergelijkbaar zijn aan N05-A.

Het bereik van het gas-watercontact wordt ingeschat op 3930 m tot 4013 m diepte onder gemiddeld zeeniveau. Het meest waarschijnlijke contact wordt verwacht rond 3975 m.

3.2.5 Het N05-A-Südost prospect

Dit prospect bevindt zich geheel onder Duitse wateren.

N05-A-Südost wordt door twee grote breuken gescheiden van Diamant (in het noorden) en het N05-A gasvoorkomen (in het westen). Het reservoir helt zuidwaarts en de structuur wordt verder naar het oosten begrensd door wederom een NNW-ZZO-georiënteerde breukzone. De Duitse boring P1A is in 1965 in deze structuur geboord en het resultaat was enigszins onduidelijk; de huidige interpretatie is dat een gas-watercontact tussen 3898 m en 3926 m diepte onder gemiddeld zeeniveau tot de mogelijkheden behoort. Het meest waarschijnlijke contact wordt verwacht rond 3910 m. Een moderne boring zal moeten uitwijzen hoe diep het gas-watercontact ligt en of de aangetroffen gasvolumes economisch winbaar zijn.

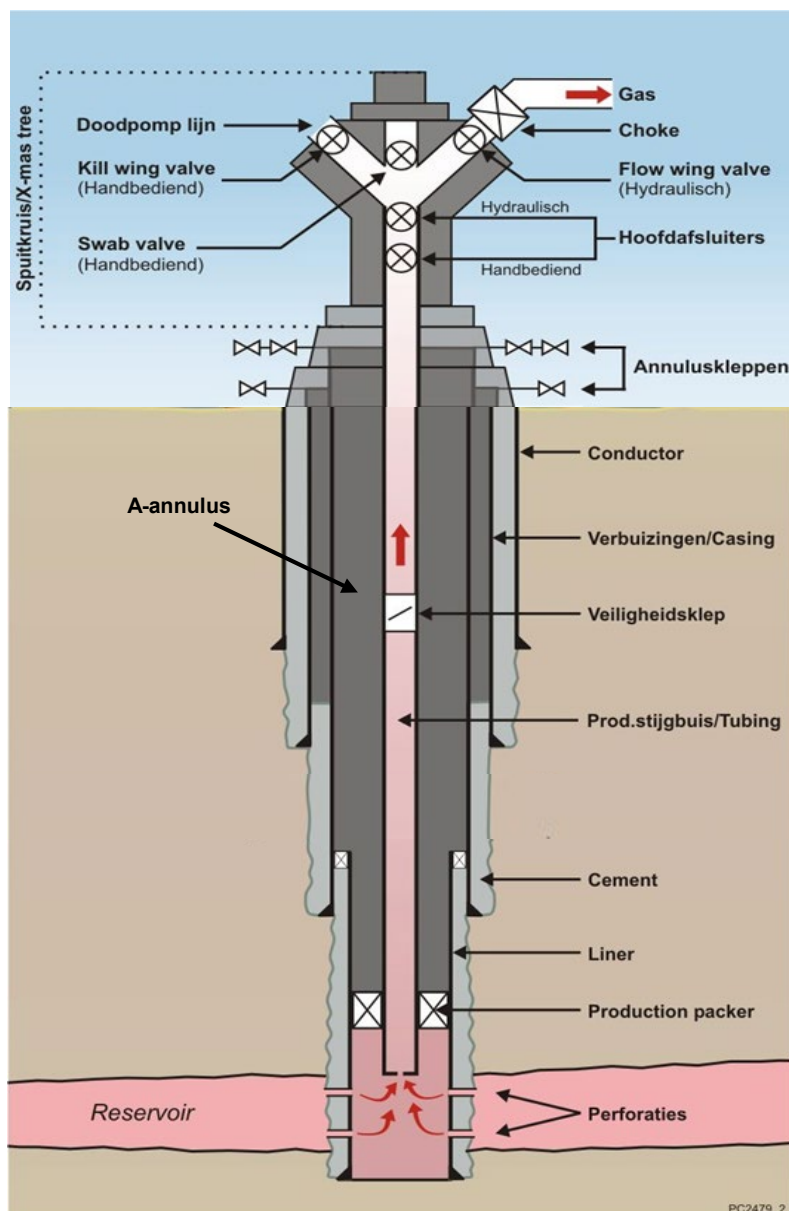
3.3 Gemiddelde reservoirkarakteristieken

De voorkomens hebben een geschatte bruto dikte van twintig tot veertig meter met een netto/bruto ratio tot 75%. De gemiddelde porositeit ligt rond de twaalf procent. De gemiddelde permeabiliteit is ingeschat rond de tien milli-Darcy.

4 Geplande boringen

4.1 Algemene beschrijving van een put

Figuur 4.1 toont een schematische weergave van een boorput. De belangrijkste onderdelen worden hier besproken.



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

Een boorput bestaat uit een telescopisch gevormd gat, waarvan de diameter stapsgewijs afneemt met toenemende diepte. Het boorgat wordt verstevigd door middel van een metalen buis: een *casing*. De ruimte tussen de casing en het boorgat wordt met cement gevuld. Het cement voorkomt stroming van vloeistoffen tussen verschillende aardlagen. Het laatste deel van de put bestaat meestal uit een zogenaamde *liner*: een metalen verbuizing die niet helemaal tot aan de oppervlakte gaat maar eindigt in de laatste casing. Ook de liner wordt gecementeerd in zowel de laatste metalen verbuizing als in de boorgatwand.

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

De diepte waarop een nieuwe buizenserie wordt aangebracht hangt onder andere af van de gesteente eigenschappen en de druk van de vloeistoffen in de aardlagen. Nadat de laatste verbuizing is gecementeerd wordt de put klaargemaakt voor productie door middel van een productie-stijgbuis (de *tubing*).

Nadat de tubing is geïnstalleerd en getest, wordt de metalen verbuizing tegenover het gasvoorkomen geperforeerd. Het aardgas stroomt tijdens productie door deze perforaties via de tubing naar de oppervlakte.

De tubing is voorzien van een hydraulische bediende ondergrondse beveiligingsklep, die automatisch sluit bij wegvallen van de hydraulische druk. Naast deze ondergrondse klep zijn er aan het oppervlak twee hoofdafsluiters op het spuitkruis (X-mas tree) van de put; de bovenste hoofdafsluiter wordt hydraulisch aangestuurd, de onderste hoofdafsluiter is handbediend.

De X-mas tree heeft een aansluiting voor het 'doodpompen' van de put, ook wel Kill Wing Valve genoemd. Dit doodpompen, met een vloeistof met een hoog soortelijk gewicht, kan in uitzonderingsgevallen nodig zijn, bijvoorbeeld bij reparatie van of storing aan de put.

Tenslotte is een put voorzien van een *choke* (of smoorstuk) waarmee de productie gecontroleerd wordt.

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

Putten kunnen gedeveierd geboord worden, wat betekent dat het boortraject niet recht naar beneden is maar gebogen. Met behulp van gedeveierde putten worden ondergrondse locaties bereikt die niet direct onder de mijnbouwinstallatie liggen.

4.2 Overzicht van aangemerkte puttrajecten

Tabel 4-1 geeft een overzicht van eenentwintig aangemerkte puttrajecten. De maximale laterale afstand van de mijnbouwinstallatie naar de ondergrondse putlocaties is vijf kilometer.

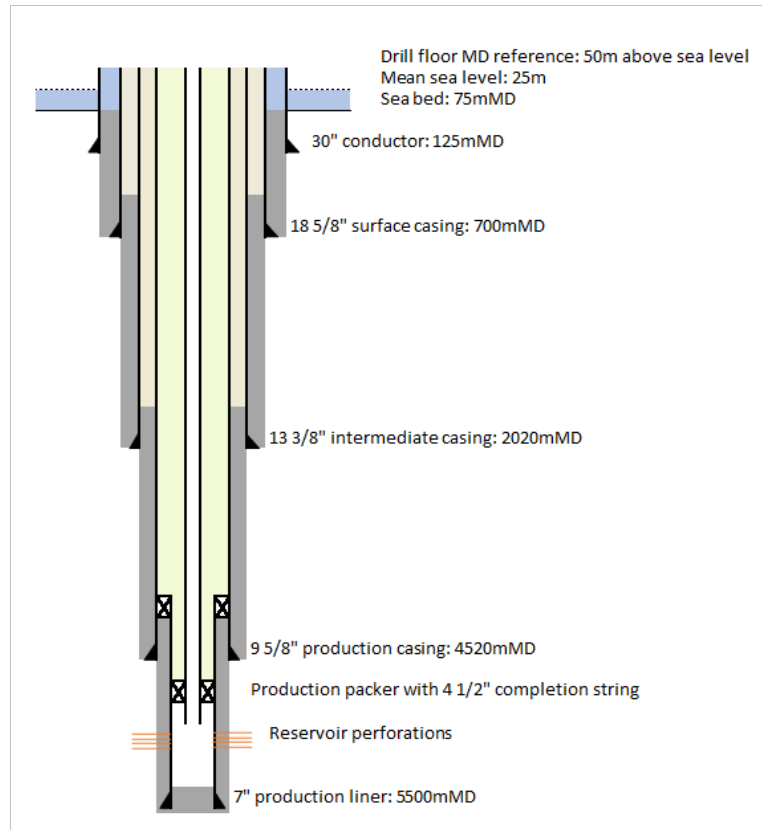
Tabel 4-1 Overzicht van bestaande putten en de 21 aangemerkte potentiële puttrajecten

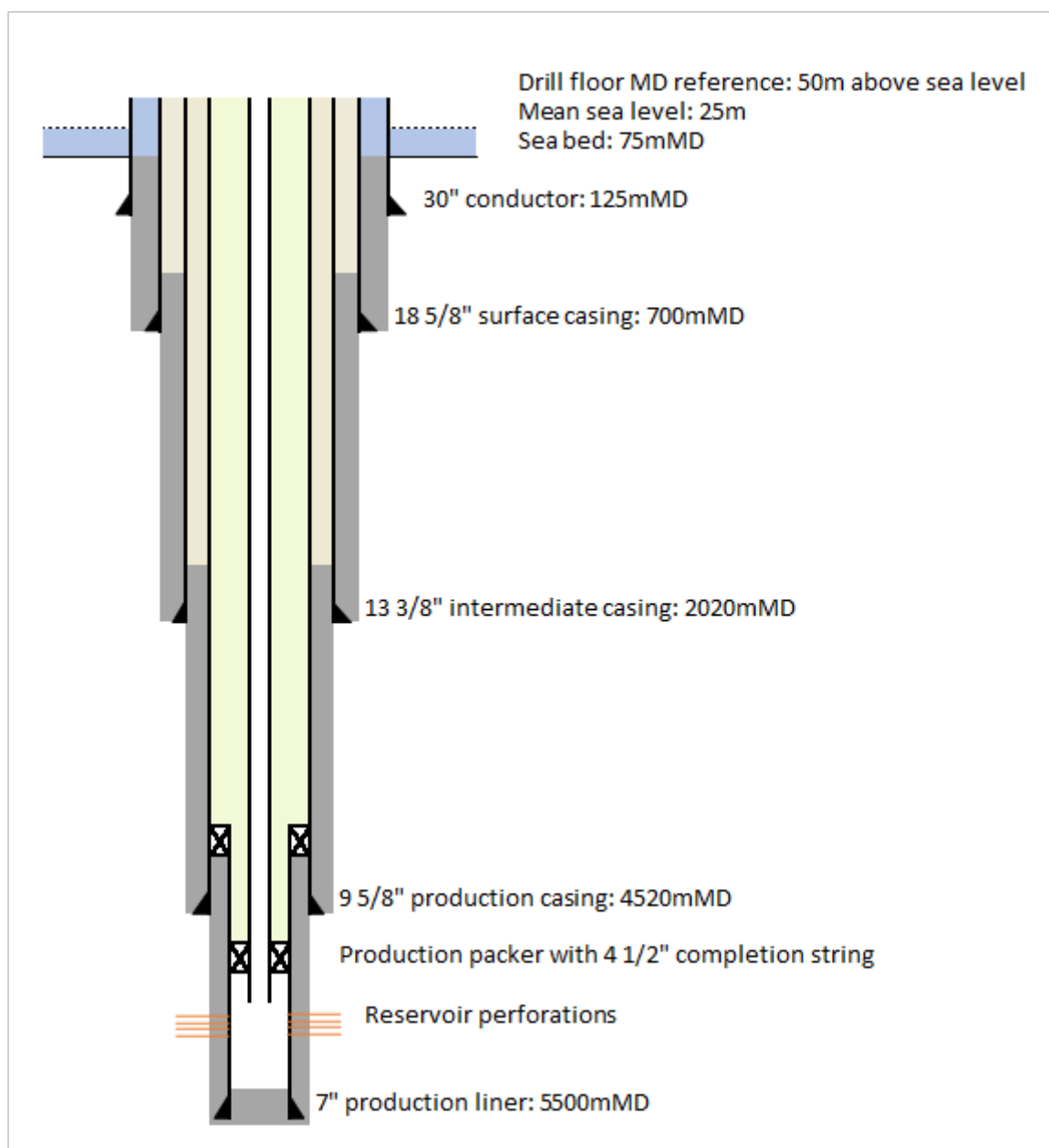
Voorkomen	Put	Target Locatie	Vorm	Formatie	Jaar	Status
N05-A	N05-01-S1	NL	Verticaal	Rotliegend	2017	Proefboring
	N05-01-S3		Gedevieerd			
N05-A	N05-A-01	NL	Gedevieerd	Rotliegend	Gepland	Ontwikkelingsboring
N05-A	N05-A-02	DE	Gedevieerd	Rotliegend	Gepland	Ontwikkelingsboring
N05-A	N05-A-03	DE	Gedevieerd	Rotliegend	Gepland	Ontwikkelingsboring
N05-A	N05-A-04	NL	Gedevieerd	Rotliegend	Gepland	Ontwikkelingsboring
N05-A	N05-A-05	NL	Gedevieerd	Rotliegend	Gepland	Ontwikkelingsboring
N05-A	N05-A-06	NL	Gedevieerd	Rotliegend	Gepland	Ontwikkelingsboring
N05-A-Noord	N05-A-Noord-01	DE	Gedevieerd	Rotliegend	Gepland	Proefboring / Potentiële ontwikkelingsboring
N05-A-Noord	N05-A-Noord-02	NL	Gedevieerd	Rotliegend	Gepland	Potentiële ontwikkelingsboring
N05-A-Noord	N05-A-Noord-03	NL	Gedevieerd	Rotliegend	Gepland	Potentiële ontwikkelingsboring
N05-A-Noord	N05-A-Noord-04	NL	Gedevieerd	Rotliegend	Gepland	Ontwikkelingsboring

N05-A-Noord	N05-A-Noord-05	NL	Gedevieerd	Rotliegend	Gepland	Ontwikkelingsboring
Tanzaniet-Oost	Tanzaniet-Oost-01	NL	Gedevieerd	Rotliegend	Gepland	Proefboring / Potentiele ontwikkelingsboring
Diamant	Diamant-Z1	DE	Gedevieerd	Rotliegend	Gepland	Proefboring / Potentiele ontwikkelingsboring
Diamant	Diamant-Z2	DE	Gedevieerd	Rotliegend	Gepland	Potentiele ontwikkelingsboring
Diamant	Diamant-Z3	DE	Gedevieerd	Rotliegend	Gepland	Potentiele ontwikkelingsboring
Diamant	Diamant-Z4	DE	Gedevieerd	Rotliegend	Gepland	Potentiele ontwikkelingsboring
Diamant	Diamant-Z5	DE	Gedevieerd	Rotliegend	Gepland	Potentiele ontwikkelingsboring
Diamant	Diamant-Z6	DE	Gedevieerd	Rotliegend	Gepland	Potentiele ontwikkelingsboring
Diamant	Diamant-Z7	DE	Gedevieerd	Rotliegend	Gepland	Potentiele ontwikkelingsboring
Diamant	Diamant-Z8	DE	Gedevieerd	Rotliegend	Gepland	Potentiele ontwikkelingsboring
N05-A-Südost	N05-A-Südost-Z1	DE	Gedevieerd	Rotliegend	Gepland	Proefboring / Potentiele ontwikkelingsboring

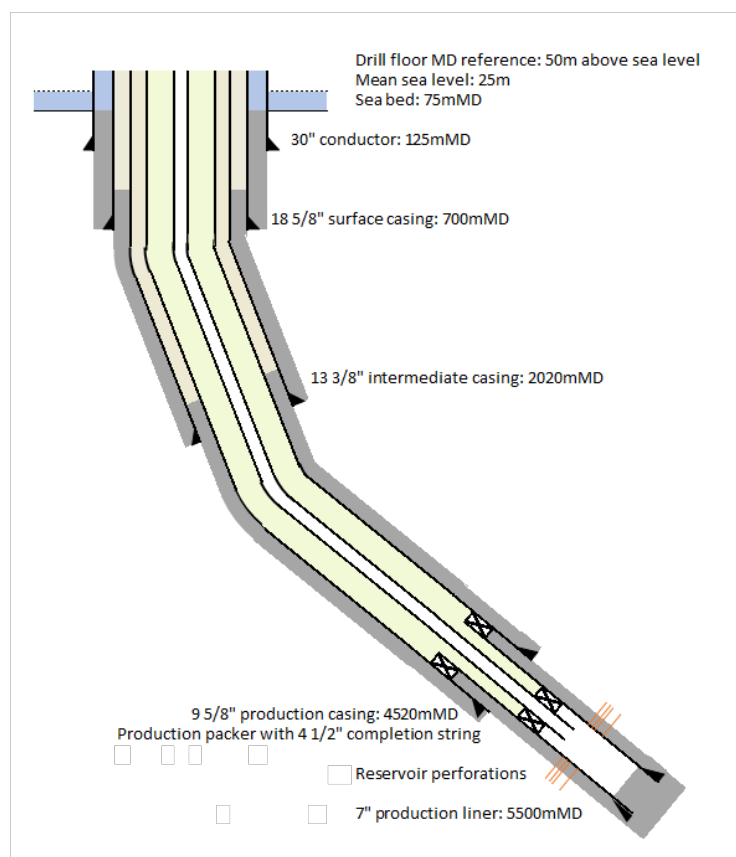
4.3 Schematische voorstelling van de geplande putverbuizing

In Figuren 4-2 en 4-3 is schematisch de verbuizing (casing) van de geplande putten weergegeven. Alle putten zullen een soortgelijk schema volgen, de dieptes voor het verbuizingsschema variëren per put.





Figuur 4-2 Schematische weergave verticale putverbuizing. De tekening is niet op schaal (sterk verticaal gekrompen).



Figuur 4-3 Schematische weergave gedeveerde putverbuizing. De tekening is niet op schaal (sterk verticaal gekrompen).

4.3.1 Plaats en wijze waarop koolwaterstoffen in verbuizing treden

De putten worden geperforeerd in de Rotliegend formatie.

4.4 Overzicht van putbehandelingen

De verwachte productiviteit van de *Rotliegend* zandsteen reservoirs is op basis van de productietest in de N05-01 proefboring ingeschat als ruim voldoende. Het wordt niet noodzakelijk geacht om de productieputten te stimuleren.

Gedurende de operationele fase 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 de put met zoet water of een zuuroplossing behandeld worden. Dit is een routinehandeling, waarbij geen overdruk gebruikt wordt en geen boortoren nodig is.

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

Tijdens de operationele fase van de put kan het nodig zijn de diameter van de tubing aan te passen. Deze operatie gebeurt met een kleine installatie (een zgn. *workover unit*, geen boortoren).

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

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

5 Ontwikkelingsvooruitzichten

5.1 Bepaling van de ontwikkelingsvooruitzichten

De ontwikkelingsvooruitzichten in dit winningsplan zijn gebaseerd op computersimulatiemodellen.

De simulatiemodellen voor N05-A en de omliggende prospects zijn gebouwd op basis van seismische data en putgegevens. De modellen zijn gekalibreerd met behulp van de N05-01 productietest.

Dit winningsplan richt zich in eerste instantie op de ontwikkelingsvooruitzichten voor de individuele voorkomens. Er is een minimaal verwacht, een verwacht en een maximaal verwacht productiescenario gedefinieerd. Voor elk voorkomen bestaan drie simulatiemodellen die deze scenario's beschrijven.

Het uitgangspunt voor de ontwikkelingsvooruitzichten per individueel voorkomen is dat de prospects gasvoerend zijn. Gasvoerenheid is voor het N05-A voorkomen bewezen met behulp van de boring N05-01, maar is voor de prospects niet zeker.

Naast de ontwikkelingsvooruitzichten per individueel voorkomen wordt in dit hoofdstuk ook een schatting gegeven van het verwachte gezamenlijke ontwikkelingsvooruitzicht voor de vijf voorkomens. Hierin wordt de *kans op exploratie succes* van de prospects meegewogen.

5.1.1 Onzekerheden in de ontwikkelingsvooruitzichten

De drie productiescenario's beschrijven per voorkomen de onzekerheid in de toekomstige productie als gevolg van de ondergrondse onzekerheden, zoals:

1. Het initiële gasvolume in de voorkomens.
2. De hoeveelheid aardgas die met de individuele putten verbonden is.
3. De productiviteit van de putten.
4. De mate waarin waterproductie de gasproductie zal hinderen of uiteindelijk stoppen.

Onzekerheid in het initiële gasvolume wordt in grote mate bepaald door de onzekerheid in de diepte van de gas-watercontacten en de nauwkeurigheid van de seismisch verkregen informatie met betrekking tot de diepte en vorm van de structuur.

De hoeveelheid aardgas die met de individuele putten verbonden is en de productiviteit van de putten wordt beïnvloed door eventuele (geologische) barrières tegen vrije stroming van het aardgas in het reservoir. Deze barrières zijn niet zichtbaar op seismiek, maar hun aanwezigheid wordt mogelijk geacht op basis van de productietest van de N05-01 proefboring. In het maximaal verwachte scenario zijn geen barrières meegenomen, in het verwachte scenario wordt de interne breukdichtheid ingeschat op basis van de test van de N05-01 proefboring, in het minimaal verwachte scenario is de breukdichtheid verdubbeld ten opzichte van het verwachte scenario.

De kans op waterproductie wordt laag ingeschat vanwege het aangenomen afsluitende karakter van de breuken rondom de voorkomens. Het kan echter niet worden uitgesloten.

Zoals eerder besproken is voor de prospects *kans op exploratie succes* een belangrijke additionele onzekerheid. Deze onzekerheid komt in de ontwikkelingsvooruitzichten van de individuele prospects niet tot uitdrukking, omdat voor deze individuele vooruitzichten het voorbehoud geldt dat aardgas aanwezig is.

5.2 Winningsstrategie en reservoirmanagement

De winning van alle voorkomens zal plaatsvinden door natuurlijke stroming van het aardgas door de aanwezige overdruk in het reservoir (zogenaamde *depletion drive*).

De N05-A mijnbouwinstallatie wordt uitgerust met een gasbehandelingscapaciteit van initieel vier en maximaal zes mln Nm³ gas per dag (respectievelijk ongeveer 1400 mln Nm³ gas per jaar, en 2100 mln Nm³ gas per jaar bij een vijftien procent efficiëntie van het productiesysteem).

Door productie zal de reservoirdruk na verloop van tijd te laag worden voor directe export naar de NGT-leiding. Er is in alle productiescenario's aangenomen dat na enkele jaren op mijnbouwlocatie N05-A productiecompressie wordt toegepast door een later te plaatsen elektrisch aangedreven compressor.

De reservoir-prestaties worden gemonitord door:

- Drukmeting in het spuitkruis (op afstand uit te lezen).
- Water-, condensaat- en gas-productiemetingen (op afstand uit te lezen).
- Drukmetingen beneden in de verbuizing (op afstand uit te lezen).
- Indien nodig worden specifieke metingen in het boorgat uitgevoerd, bijvoorbeeld om het instroom profiel te bepalen of om veranderingen in het gas-watercontact rond de put te monitoren.

5.3 Ontwikkelingsvooruitzichten per (potentieel) gasvoorkomen

De parametrisering van de productiescenario's is samengevat in Tabel 5-1.

Tabel 5-1 Parametrisering van de drie productiescenario's

	Minimaal verwacht productie scenario	Verwacht productiescenario	Maximaal verwacht productiescenario
Initieel gasvolume	Minimaal verwacht	Verwacht	Maximaal verwacht
Reservoir Productiviteit	Laag (verdubbelde interne breukdichtheid)	Verwacht (gekalibreerd aan N05-01 productietest)	Hoog (geen interne breuken)
Compressor zuigdruk	10 bar		
Productie-efficiëntie	95%		
Putten N05-A	4		
Putten N05-A-Noord	3		
Putten Tanzaniet-Oost	1		
Putten Diamant	4		
Putten N05-A-Südost	1		

Er is bij de dimensionering van het platform rekening mee gehouden dat in één of meerdere prospects geen aardgas aangetroffen zal worden. De installatie wordt uitgerust voor maximaal 12 putten terwijl volgens Tabel 5-1 in totaal 13 putten nodig zijn voor de ontwikkeling van de vijf voorkomens.

Tabel 5-2 toont per voorkomen voor de drie scenario's een overzicht van de resulterende technisch winbare gasvolumes. Bijlages 7 en 8 tonen voor de vijf individuele voorkomens grafieken en tabellen van de geschatte jaarlijks geproduceerde gasvolumes.

Tabel 5-2 Technisch winbare gasvolumes voor de drie beschouwde scenario's

Technisch winbare gasvolumes in Miljard Nm ³				
Voorkomens en prospects	Minimaal verwacht	Verwacht	Maximaal verwacht	
N05-A voorkomen	2.9	4.9	7.5	
Drengende	N05-A-Noord	1.5	2.5	5.7
	Tanzaniet-Oost	0.0	0.2	1.0
	Diamant	1.7	5.6	7.3
	N05-A-Südost	0.2	0.4	0.8

5.4 Gezamenlijk ontwikkelingsvooruitzicht voor de vijf voorkomens

Op basis van de verwachte winbare volumes uit Tabel 5-2 en de kans op exploratie succes uit wordt voor de vijf gezamenlijke voorkomens een verwacht technisch winbaar gasvolume geschat van viereneenhalf tot dertien miljard Nm³.

5.5 Duur van de winning

De verwachte winningsduur bedraagt tien tot vijftig jaar. De gaswinning wordt over het algemeen beëindigd wanneer de jaarlijkse productie zodanig is afgenomen dat de productiekosten de baten overstijgen. De onzekerheid in de winningsduur wordt sterk bepaald door ondergrondse factoren, maar ook door toekomstige technische, economische en maatschappelijke ontwikkelingen die zich moeilijk laten voorspellen.

5.6 Eigengebruik bij de winning

Eigen gebruik van koolwaterstoffen op de mijnbouwlocatie is niet voorzien, aangezien de installatie elektrisch wordt aangedreven.

5.7 Bij winning afgeblazen/afgefakkelde koolwaterstoffen

De hoeveelheid afgefakkeld en afgeblazen aardgas is marginaal. Afblazen/affakkelen beperkt zich tot het druk-vrij maken van het systeem voor onderhouds- en inspectiewerkzaamheden.

5.8 Gassamenstelling en stoffen die jaarlijks worden meegeproduceerd

Tabel 5-3 geeft een analyse van het laagcalorische N05-A aardgas op grond van gasmonsters uit 2017.

Tabel 5-3 Analyse van het aardgas monster N05-01-S1 PVT-1B

Component	Mol%
Methaan (C ₁)	69.600
Ethaan (C ₂)	3.455
Propaan (C ₃)	0.864
i-Butaan (iC ₄)	0.135
n-Butaan (nC ₄)	0.220
neo-Pentaaan (C ₅)	0.007
i-Pentaaan (iC ₅)	0.055
n-Pentaaan (nC ₅)	0.076
Hexaan (C ₆)	0.076
Me-Cyclopentaaan	0.003
Benzeen	0.068
Cyclohexaan	0.022
Heptaan (C ₇)	0.041
Me-Cycloheptaan	0.019
Tolueen	0.010
Octaan (C ₈) plus	0.066
Stikstof (N ₂)	23.995
Kooldioxide (CO ₂)	1.288
Waterstofsulfide (H ₂ S)	-
Totaal	100.000

Met het aardgas worden ook water en aardgascondensaat geproduceerd. In Tabel 5-5 is een schatting gemaakt van de maximale hoeveelheden. De maximale waterproductie is ingeschat op basis van het condenswater uit het aardgas plus het mogelijke geproduceerde formatiewater. De schatting van het maximaal geproduceerde formatiewater is gebaseerd op simulatieresultaten voor twee toekomstige putten die dicht bij het gas-watercontact geplaatst zijn, in de naar verwacht kleinere gasvoorkomens N05-A-Südost en Tanzaniet-Oost.

De maximale aardgascondensaatproductie treedt op bij maximale gasproductie en is gebaseerd op een hogere condensaat/gas verhoudingen dan aangetroffen in de N05-01 gasmonsters.

Tabel 5-4 Maximum water- en condensaat productie-verwachtingen

Maximaal mee-geproduceerde stoffen	
Water (gecondenseerd & formatie)	150 m ³ /d
Aardgas condensaat	80 m ³ /d

5.9 Bij winning in de ondergrond terug te brengen delfstoffen en andere stoffen

Op mijnbouwlocatie N05-A is niet voorzien dat stoffen in de ondergrond worden teruggebracht.

5.10 Ondersteunende voorzieningen

Naast de beschreven productie-installaties zijn op het behandelingsplatform ook diverse ondersteunde voorzieningen aanwezig. De belangrijkste van deze voorzieningen worden hieronder beknopt beschreven.

5.10.1 Schrob-, spoel- en hemelwateropvang en -behandeling

Er is een gesloten en een open afvoersysteem aanwezig voor diverse (afval)waterstromen:

Het open afvoersysteem verzamelt het mogelijk vervuilde hemel-, schrob- en spoelwater afkomstig van de dekken. Een olie-waterscheider zorgt voor scheiding van de olie- en de waterfase van het open afvoersysteem. Hiermee wordt de olie afgescheiden tot beneden de wettelijke lozingseisen en mag het resterende water op zee worden geloosd. De afgescheiden olie wordt naar het gesloten afvoersysteem gepompt.

In het gesloten afvoersysteem worden procesvloeistoffen, die bijvoorbeeld vrijkomen bij onderhoudswerkzaamheden, afgevoerd naar degasser. Het water uit het gesloten afvoersysteem wordt gecombineerd met het productiewater in de degasser. Het is mogelijk om eventueel aanvullende zuiveringssystemen aan te sluiten op het gesloten afvoersysteem, zoals een absorptiefilter. Uit veiligheidsoverwegingen wordt hemelwater van het helikopterdek direct geloosd op de zee.

5.10.2 Opslag van hulpstoffen

Op het behandelingsplatform worden diverse hulpstoffen gebruikt, zoals TEG voor de gasbehandeling, corrosie-inhibitor voor bescherming van de exportpijpleiding, methanol ter voorkoming van hydraten bij het opstarten van putten en diesel voor gebruik in de noodstroomgeneratoren en brandbluspompen. Daarnaast zijn diverse andere stoffen aanwezig zoals smeerolie, verf en schoonmaakmiddelen. Alle hulpstoffen worden conform de wettelijke eisen opgeslagen. Voor grotere hoeveelheden zijn opslagtanks aanwezig, kleinere hoeveelheden stoffen worden opgeslagen in speciale verpakkingen. Het gaat hierbij om 10 m³ diesel en Tote-tanks van 5 m³ voor methanol, corrosie-inhibitor en TEG.

5.10.3 Afblaassystemen

Tijdens de normale bedrijfsvoering van het behandelingsplatform worden het merendeel van de in het proces vrijkomende afgasstromen teruggebracht in het proces via een off-gas compressor. Een kleine hoeveelheid afgas, het laatste restant gas dat opgelost is in het geproduceerde water wordt afgeblazen. Bij calamiteiten kan het echter noodzakelijk zijn om een of meerdere installaties van druk af te laten. Het platform wordt voorzien van aparte hoge- en lagedruk-afblaassystemen om het in deze installaties aanwezige aardgas bij calamiteiten veilig af te kunnen voeren. Bij onderhoud wordt het platform van druk afgelaten via de off-gas compressor en naar de exportleiding gevoerd.

5.10.4 Brandblussysteem

Het behandelingsplatform wordt voorzien van een brandblussysteem bestaande uit brandbluspompen, leidingwerk, sprinklers en aansluitingen om brand te bestrijden. Het platform wordt daarnaast voorzien van vlam- en gasdetectors om brand en het vrijkomen van brandbare gassen vroegtijdig te detecteren. Ook worden verspreid over het platform draagbare brandblussers geplaatst.

5.10.5 Besturings- en beveiligingssystemen

Voor het aansturen van de diverse processen wordt het behandelingsplatform voorzien van een uitgebreid meet-, regel- en controlesysteem. Dit systeem maakt het mogelijk om alle processen te besturen via de controlekamer op het platform zelf of op afstand via een centrale controlekamer op land.

Het platform wordt bestuurd en gecontroleerd door een DCS (Distributed Control System). Bij proces upsets grijpt het SGS (Safe Guarding System) in. Het SGS kan een deel of het gehele proces insluiten om escalatie te voorkomen.

Het platform is zo ontworpen dat bij falen van het SGS alle afsluiters van het platform in de veilige positie komen te staan: (Emergency Shut Down Valves) ESDV kleppen sluiten en (Emergency Blow Down) EBD kleppen gaan open.

Op het platform is ook een (High Integrity Pressure Protection System) HIPPS-beveiliging, een autonoom systeem aanwezig. Deze beveiliging grijpt in als de druk in de installatie te hoog dreigt te worden. De HIPPS-kleppen sluiten en isoleren de putten en manifold van het platform en de export pijpleiding. Het geïsoleerde deel van de installatie is bestand tegen de maximale druk die vanuit het reservoir geleverd kan worden.

In het geval van brand wordt het platform ingesloten en de installatie afgeblazen. Om ingesloten delen van het platform te beschermen tegen overdruk zijn er (Proces Safety Valves) PSV's geïnstalleerd om de exces druk af te laten tot een veilig niveau.

5.10.6 Overige platformvoorzieningen

Het platform zal onbemand vanaf de wal geopereerd worden, voor onderhoud e.d. wordt een accommodatie voor maximaal twaalf personen voorzien. Deze accommodatie bestaat uit slaap- en verblijfruimten, sanitaire voorzieningen, een keuken en een opslagruimte. De accommodatie is zo gesitueerd dat personeel altijd een veilige vluchtroute heeft. Bovendien heeft een accommodatie een zogenaamde blast-wall (explosiebestendige wand) die de bemanning beschermt bij explosies en tevens is de accommodatie bestand tegen brand voor een bepaalde periode.

Voor de overslag van goederen van en naar bevoorradingsschepen wordt het platform voorzien van een hijskraan. Deze kraan wordt ook gebruikt voor het verplaatsen van goederen op het platform zelf en bij onderhoudswerkzaamheden.

Het platform heeft een helikopterdek ten behoeve van het personenvervoer. Personeel kan daarnaast ook per schip van en naar het platform worden vervoerd. Bij noodsituaties op het platform wordt in principe geëvacueerd met behulp van helikopters. Aanvullend kan worden geëvacueerd met behulp van de op het platform aanwezige reddingsboot, reddingsvlotten en descenderstations.

In het jacket van het platform zijn twee risers en 2 J-tubes bevestigd. De risers zijn bedoeld om in de toekomst aan te leggen pijpleidingen vanaf satellieten op aan te sluiten. Door J-tubes dienen voor de aansluiting en geleiding van (bundels) kabels, besturings- en communicatieleidingen en leidingen voor hulpstoffen naar binnen getrokken worden (umbilicals). Dit betreft de elektriciteitskabel naar windpark Riffgat en toekomstig voor bundels om toekomstige satellieten te verbinden met het hoofdplatform. Het gas van satellietplatformen wordt behandeld en gedroogd op het hoofdplatform voordat het verder getransporteerd wordt naar de NGT.

5.11 Onderhoud van het behandelingsplatform

Het nieuwe behandelingsplatform wordt zo robuust en onderhoudsarm mogelijk ontworpen. Periodiek onderhoud blijft echter noodzakelijk. Voor groot onderhoud of bepaalde putinterventies kan het nodig zijn om tijdelijk een boor- of accommodatieplatform naast het behandelingsplatform te plaatsen. Om het behandelingsplatform en alle installaties in goede staat te houden wordt in een onderhoudsprogramma vastgelegd welke periodieke inspectie en onderhoudsactiviteiten nodig zijn per installatie of onderdeel van de installatie. De inspecties en onderhoudsactiviteiten met bijbehorende frequenties en instructies worden door ONE-Dyas vastgelegd in het Computer Managed Maintenance System (CMMS). De Notifying Body (NoBo, externe auditor) en SodM geven goedkeuring aan de inspectie- en onderhoudsprogramma's.

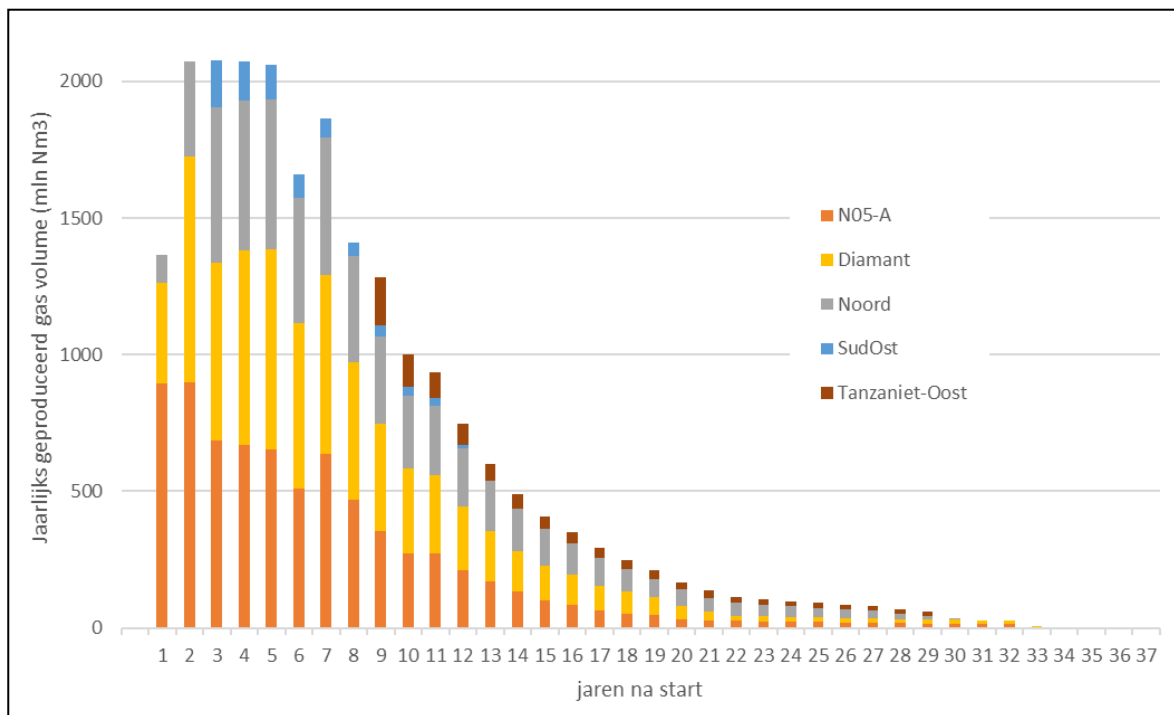
Een specifiek onderdeel in het onderhoudsprogramma zijn pijpleidingen. De onderhouds- en inspectiewerkzaamheden en frequenties voor de controle van de pijpleidingen zijn opgenomen in het Pipeline Integrity Management System (PIMS).

Tijdens de productie van aardgas kan slib ophopen in procesinstallaties of kunnen afzettingen (scales of ketelsteen) zich tegen de wanden afzetten. Indien het slib en ketelsteen verontreinigd zijn met koolwaterstoffen en/of zware metalen, waaronder mogelijk kwik, worden deze als gevaarlijk afval afgevoerd. Sommige aardgasreservoirs in de diepe ondergrond geven in de loop van de productie NORM-materiaal ("van nature voorkomende radioactief materiaal") af. Boven een bepaald stralingsniveau wordt een platform NORM-besmet verklaard en gelden voor het onderhoud specifieke eisen en procedures. ONE-Dyas heeft procedures voor het omgaan met deze stoffen, inclusief de wijze van verwijdering, verpakking en afvoer naar het vasteland. Aan land wordt dit afval, evenals ander afval van het platform, verwerkt door een erkende verwerker.

6 Gegevens inzake bodembeweging

Als losse bijlage is het conceptrapport “Aardbevingsrisico en bodemdalingstudie van N05-A gasveld en omliggende prospects” aan dit winningsplan toegevoegd.

De bodembewegingsanalyses zijn uitgevoerd voor het productiescenario waarbij alle prospects gasvoerend zijn, en waar bovendien uit alle voorkomens het maximaal verwachte gasvolume (Tabel 5-2) gewonnen wordt (maximale schatting van depletie). In dit scenario wordt in totaal 22.3 miljard Nm³ aardgas uit de ondergrond onttrokken waarvan 7.5 miljard Nm³ uit het N05-A gasvoorkomen. Het voor de bodembewegingsstudie toegepaste productieprofiel in Figuur 6-1 is beperkt tot de beoogde maximale productiecapaciteit van de mijnbouwinstallatie (6.0 mln Nm³ gas per dag, ofwel ongeveer 2100 mln Nm³ gas per jaar bij een vijftienennegentig procent efficiëntie van het productiesysteem).



Figuur 6-1 Gasproductieprofiel dat gebruikt is voor de bodembewegingsstudie, met een totaal winningsvolume van 22.3 miljard Nm³

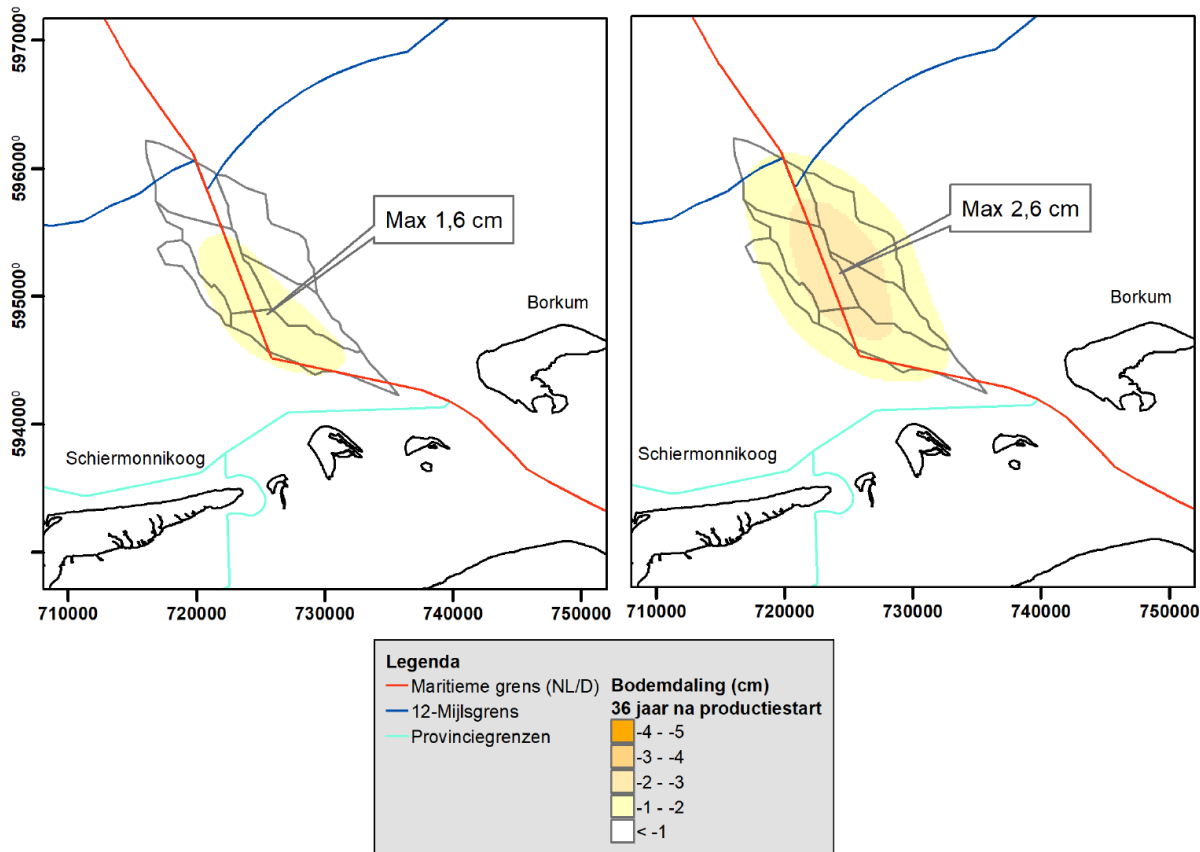
Door uit te gaan van het maximale ontwikkelingsvooruitzicht brengt de bodembewegingsstudie het maximale omgevingsrisico in kaart. Dit scenario heeft een lage kans van optreden. Het is waarschijnlijk dat een aanzienlijk kleiner gasvolume onttrokken zal worden waardoor de gevolgen van gaswinning (significant) kleiner zullen zijn dan de studie aangeeft.

Aan de hand van de Methodiek voor Risicoanalyse over geïnduceerde bevingen door gaswinning (Staatstoezicht op de Mijnen, 2016, Ref. 1) blijkt dat de kans op het optreden van een aardbeving, ook voor het maximale winningsscenario, voor de voorkomens N05-A, N05-A-Noord en Diamant verwaarloosbaar is.

Voor de voorkomens Tanzaniet-Oost en N05-A-Südost is de kans op het optreden van een aardbeving op basis van deze methode 19%. Op basis van aanvullende informatie ter plaatse van nieuwe boringen aan Nederlandse zijde en bestaande boringen aan Duitse zijde van de grens blijkt echter dat de kans op het optreden van een aardbeving naar beneden bijgesteld kan worden tot verwaarloosbaar voor deze prospects.

Er is een prognose gemaakt van de bodemdaling aan het oppervlak (zeebodem) voor het depletierende N05-A veld en omliggende prospects aan het eind van de productie (Figuur 6-2). De bodemdaling is gemodelleerd door de superpositie van de daling van een aantal nucleus-reservoirs en deze vervolgens te verdelen over de totale oppervlakte van het gasveld. De berekening is uitgevoerd voor een

bandbreedte van compactiecoëfficiënten. Op basis van deze berekeningen bedraagt de verwachte bodemdaling bij een compactiecoëfficiënt van 0,035 GPa-1 in het centrum van de kom 1,6 cm voor het N05-A voorkomen afzonderlijk (totale gasproductie 7.5 miljard Nm³) en 2,6 cm inclusief de vier omliggende prospects in het maximale gaswinningsscenario (totale gasproductie 22.3 miljard Nm³) aan het eind van de productie.



Figuur 6-2 Bodemdaling (in centimeters) voor het N05-A-gasveld en omliggende prospects, tijdstip is einde productie met maximale gaswinningsscenario voor de meest waarschijnlijke compactiecoëfficiënt uit laboratoriumanalyses op gesteentemonsters van 0,035 GPa-1. L

7 Mogelijke gevolgen voor milieu en natuur

7.1 Milieu

7.1.1 Onderwatergeluid

Veel zeedieren gebruiken geluidsignalen voor communicatie, het vinden van voedsel en de oriëntatie onder water. Onderwatergeluid kan dit verstoren en daardoor leiden tot de verstoring van zeezoogdieren, vissen en vogels. Afhankelijk van het geluidsniveau kan het ook leiden tot gehoorschade. Geluidbelasting door onderwatergeluid doet zich vooral voor tijdens de aanleg- en boorfase. Met name zeezoogdieren als bruinvissen en zeehonden zijn gevoelig voor het onderwatergeluid. Hoe dichter zeezoogdieren zich bevinden bij de geluidsbron, hoe groter de verstoring en kans op letsel. In de Natuurtoets zijn de effecten onderzocht.

Aanlegfase

Het heien van de verankeringspalen bij de plaatsing van het productieplatform is de belangrijkste bron van onderwatergeluid. Dit duurt ongeveer twee dagen.

Het heien van de verankeringspalen vraagt om mitigerende maatregelen. Om de effecten van onderwater-geluid op zeedieren te mitigeren wordt er tijdens het heien een bellenscherm rondom het platform aangelegd. Dit levert een aanzienlijke reductie van 7 tot 11 decibel op van het onderwatergeluid. De geluidbelasting blijft daarmee binnen de Nederlandse en (strengere) Duitse normen. ONE-Dyas houdt de mogelijkheid open om andere geluid reducerende technieken toe te passen, zolang hiermee voldoende decibel gereduceerd kan worden.

Boorfase

De belangrijkste geluidsemissies in de boorfase worden veroorzaakt door het heien van de conductors (maximaal twaalf). Per conductor duurt het heien ongeveer twaalf uur. De geluidsgolven van het VSP-onderzoek (maximaal vijf) zorgen ook voor onderwatergeluid. Elk onderzoek duurt circa één dag. Het heien van de conductors en het uitvoeren van een VSP-onderzoek voldoen aan de wettelijke normen.

7.1.2 Emissies naar water

Door de activiteiten komen verontreinigende stoffen in zee terecht. Deze emissies (lozingen) kunnen effect hebben op de natuur. De emissies naar water doen zich vooral voor tijdens de boor- en productiefase.

In de boorfase zijn dat boorspoeling en boorgruis op waterbasis, in de productiefase het productiewater dat vrijkomt bij de gasbehandeling. In beide fasen wordt het sanitairwater en het regenwater dat van de dekken afspoelt eveneens geloosd in zee. De Mijnbouwregeling stelt regels voor lozing van verontreinigende stoffen op zee, zoals een maximum voor de olieconcentratie in geloosd water. ONE-Dyas en de operator van het boorplatform zorgen dat aan de eisen wordt voldaan.

Vertroebeling en sedimentatie als gevolg van het lozen van boorspoeling en boorgruis kunnen effect hebben op de natuur en zijn onderzocht in de Natuurtoets. Daaruit blijkt dat er geen significante effecten optreden door vertroebeling, omdat het effect gering en tijdelijk is en het gebied van nature dynamisch is. Door sedimentatie van de boorspoeling treden ook geen significante effecten op doordat organismen pas bij 1,5 centimeter last hebben van sedimentatie. Deze dikte wordt niet bereikt.

De grove fractie van boorgruis zal snel sedimenteren. Per boring wordt een maximale laagdikte van circa 23 cm verwacht binnen een straal van 95 meter van het platform. Bij twaalf boringen is de extra sedimentatie binnen een straal van 105 meter rond het platform groter dan anderhalve centimeter, wat betekent dat een gebied van 3,5 hectare (0,006% van de Borkumse Stenen) wordt verstoord. Daarbuiten is geen tot een verwaarloosbaar kleine hoeveelheid extra sedimentatie.

7.1.3 Zeebodem

Bodemversturende activiteiten vinden vooral plaats tijdens de aanleg- en boorfase.

Aanlegfase:

- De pijpleiding en de elektriciteitskabel worden in de zeebodem ingegraven.
- De zeebodem wordt bedekt door de poten van het productieplatform en door de stenen die rond de poten worden gestort om het uitspoelen van zand rond de poten te voorkomen.

Boorfase:

- De zeebodem wordt bedekt door de poten van het boorplatform en door stenen die rond de poten worden gestort om het uitspoelen van zand rond de poten te voorkomen.
- Sedimentatie van het geloosde boorgruis op de zeebodem.

In de Natuurtoets is gekeken naar de gevolgen van de verstoorde oppervlaktes per gebied met een bijzondere ecologische waarde. Alleen op de Borkumse Stenen wordt een effect verwacht, maar zeer beperkt en niet significant. Het totale oppervlak van de Borkumse Stenen bedraagt 60.000 hectare (600 km²). Bij de aanleg en boringen wordt maximaal dertig hectare verstoord. Dit is veel minder dan één procent van de Borkumse Stenen.

7.1.4 Emissies naar lucht

In alle fases van het project worden mensen en goederen van en naar het boor- en productieplatform vervoerd. De hiervoor gebruikte schepen en helikopters verbruiken brandstof en veroorzaken daarmee emissies naar de lucht.

In de aanlegfase worden emissies vooral veroorzaakt door de werkzaamheden voor de plaatsing van het platform, de aanleg van de pijpleiding en de elektriciteitskabel. Deze emissies worden met name veroorzaakt door werkschepen en beperken zich tot de maanden dat de werkzaamheden daadwerkelijk worden uitgevoerd.

In de boorfase veroorzaakt fakkelen tijdens het schoonproduceren van de putten emissies naar lucht. Bij eventuele pre-drills zijn de generatoren waarmee op het boorplatform de benodigde elektriciteit wordt opgewekt, een belangrijke emissiebron.

In de productiefase worden emissies vooral veroorzaakt door de installaties waarmee het aardgas wordt behandeld.

Luchtkwaliteit

Zelfs tijdens de ongunstigste omstandigheid van het gelijktijdig boren en produceren, is de bijdrage van de activiteiten aan de achtergrondconcentraties verwaarloosbaar. In geen van de fases is sprake van overschrijding van wettelijke normen. Het aardgas in veld N05-A bevat van nature benzeen en xyleen. Uit onderzoek blijkt dat beide stoffen vrijkomen tijdens de productiefase. De emissies zijn echter zo laag dat ze ruim onder de geldende richtlijnen en wettelijke eisen blijven.

Stikstofdepositie

De uitstoot van stikstofverbindingen, zoals NO₂, kan leiden tot verhoogde stikstofdepositie op natuurgebieden. Dit kan gevolgen hebben voor natuur die daarvoor gevoelig is. Dit is onderzocht in de Natuurtoets en de Passende Beoordeling. De activiteiten veroorzaken geen significante effecten.

7.2 Natuur

7.2.1 Natura 2000-gebieden

De dichtstbijzijnde Natura 2000-gebieden in Nederlandse wateren zijn de Noordzeekustzone en de Waddenzee. Door stikstofdepositie kunnen mogelijk ook effecten optreden in Natura 2000-gebieden aan land en op de eilanden. Met name duingebieden zijn gevoelig voor stikstofdepositie. De dichtstbijzijnde relevante Natura 2000-gebieden in de Duitse Noordzee zijn Borkum Riffgrund, Niedersächsisches Wattenmeer und angrenzendes Küstenmeer en Niedersächsisches Wattenmeer. Daarnaast is Borkum Riff een natuurgebied dat beschermd is op basis van Duitse wetgeving.

7.2.2 Beschermde soorten en habitattypen

Beschermde soorten die voorkomen in het plangebied en waar de voorgenomen activiteit mogelijk invloed op heeft zijn bodemdieren, vissen en vislarven, zeezoogdieren: bruinvis, grijze zeehond en gewone zeehond, vogels, vleermuizen en reptielen.

Verder komen in het plangebied diverse beschermde habitattypen voor. Het belangrijkste zijn H1110 - Permanent overstroomde zandbanken en H1170 - Riffen.

7.2.3 Effecten op natuurwaarden in de verschillende fases

Er zijn geen significante effecten op N2000-gebieden en beschermde soorten in de aanlegfase, de boorfase, de productiefase, en de transporten in alle fases. Significante effecten op het oesterbankherstelproject in de Borkumse Stenen zijn evenmin te verwachten.

De belangrijkste effecten op natuur in de ontmantelingsfase worden veroorzaakt door het verwijderen van het productieplatform, de pijpleiding en de kabel. Deze activiteiten liggen zo ver in de toekomst dat ze nu nog niet beoordeeld zijn.

Bijlage 1: Verklarende woordenlijst

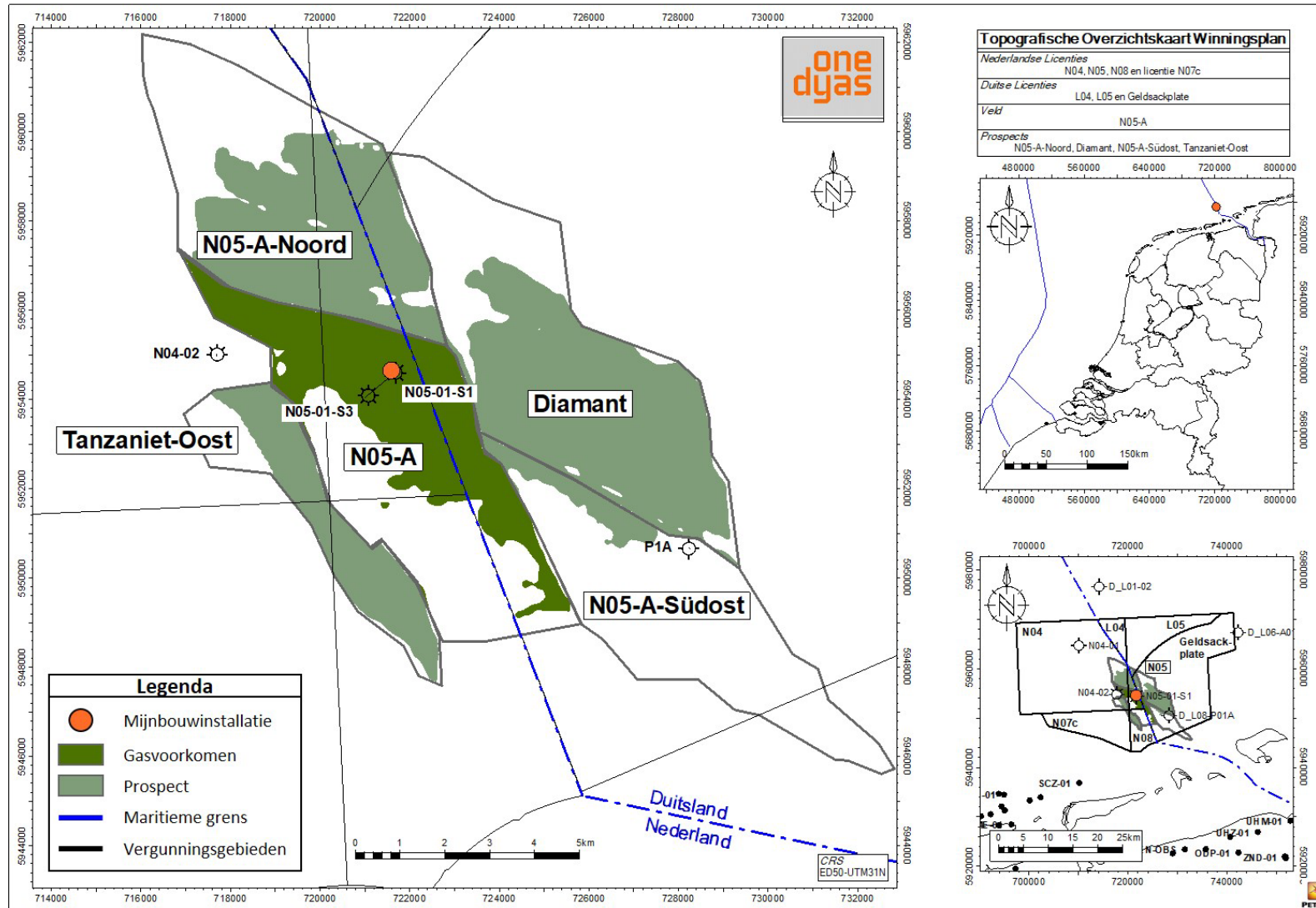
Cementatie	Neerslag van opgeloste mineralen en zouten
Cm	Uniaxiale compactie-coëfficiënt; mate van samendrukbaarheid van het gesteente
Compactie	Het samendrukken van het reservoirgesteente als door productie de druk van de vloeistof in de poriën daalt, en onvoldoende tegendruk geeft aan het gewicht van bovenliggende gesteenten.
Compressie	Het op hogere druk brengen van geproduceerd aardgas bet behulp van een compressor
Condensaat	Een mengsel van stoffen, hoofdzakelijk koolwaterstoffen, die condenseren bij de winning van aardgas als gevolg van de temperatuur- en drukverlaging die optreedt bij gasbehandeling
Depletie	Drukdaling door het onttrekken van aardgas (of olie of water) uit reservoirgesteente
EBN	Energiebeheer Nederland
ED50	European Datum 1950, een geodetisch referentiesysteem dat is ingevoerd in Europa om eenheid in lengte- en breedtegraden te bewerkstelligen
EZK	ministerie van Economische Zaken en Klimaat
GIIP	Gas Initially In Place; Volume aardgas initieel aanwezig in het voorkomen (in Nm ³)
GWC	Gas-watercontact diepte (in m onder NAP)
LNV	ministerie van Landbouw, Natuur en Visserij
RTE	Rotary Table Elevation; hoogte van de boortafel (RT) boven het zeewaterniveau
Mb	Mijnbouwbesluit
MD	Measured Depth; diepte gemeten langs het traject van het boorgat
MER	Milieueffectrapport
m.e.r.	Milieueffectrapportage
MSL	Mean Sea Level; gemiddeld zeeniveau
Mw	Mijnbouwwet
NGT	Noordgastransport
Nm ³	Normaal kubieke meter; Gas volume bij 0 OC en 1.01325 bara
Permeabiliteit	De mate waarin een (poreuze) vaste stof een andere stof (gas of vloeistof) doorlaat. Indien een materiaal een andere stof niet doorlaat heet het materiaal voor die stof impermeabel.
Porositeit	Verhouding tussen het poriënvolume en het totale volume van het gesteente.
Prospect	Een potentieel voorkomen, geïdentificeerd op seismiek, maar nog niet aangetoond met een proefboring, dus onbewezen

SodM	Staatstoezicht op de Mijnen
Tcbb	Technische commissie bodembeweging
Territoriale wateren	Een zeestreek, grenzend aan het landgebied van een kuststaat, waarover de soevereiniteit van deze staat zich uitstrekt (met inbegrip van het luchtruim, de bodem en de ondergrond)
TNO	Nederlandse Organisatie voor Toegepast-Natuurwetenschappelijk Onderzoek
TVDss	True Vertical Depth subsea; verticale diepte gemeten beneden het zeewaterniveau
Wabo	Wet algemene bepalingen omgevingsrecht
WiPla	Winningsplan
Wnb	Wet natuurbescherming

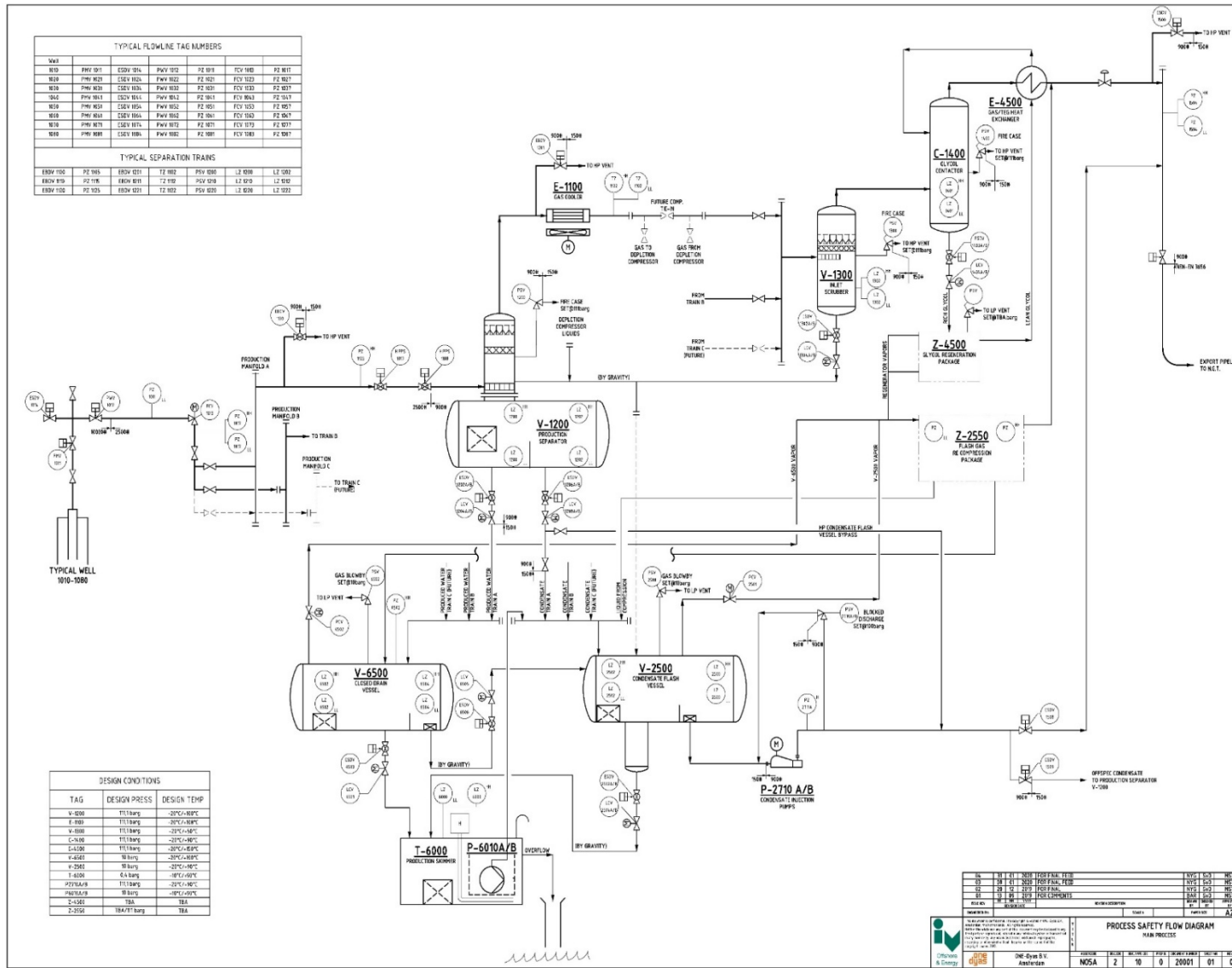
Bijlage 2: Referenties

1. SodM, *Methodiek voor Risico-Analyse omtrent geïnduceerde bevingen door gaswinning* (Tijdelijke Leidraad), Februari 2016.
2. *Geology of the Netherlands*, Wong et al. (eds), Royal Netherlands Academy of Arts and Sciences, 2007 / Amsterdam University Press, 2007

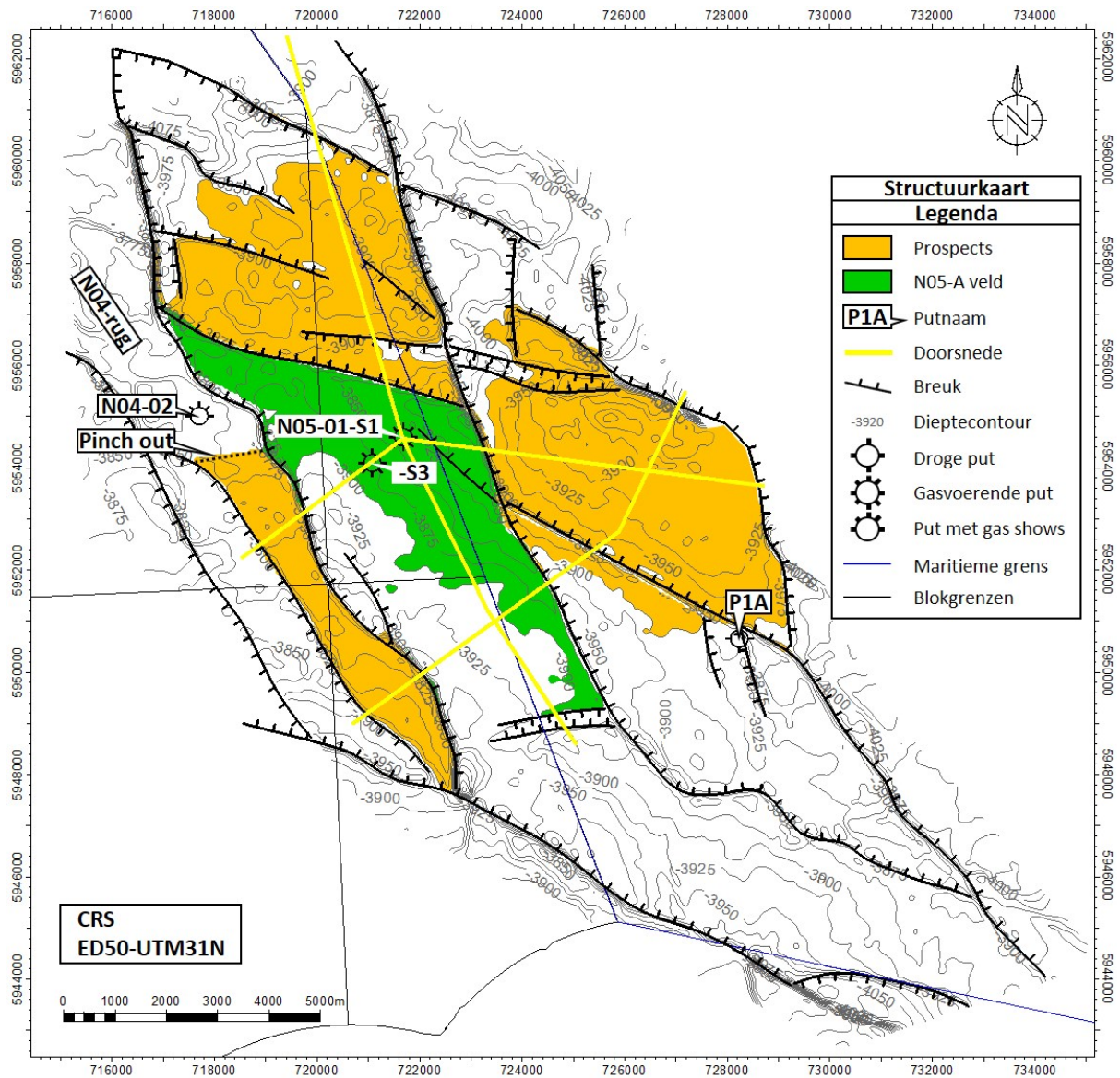
Bijlage 3: Topografische kaart met de ligging van de voorkomens



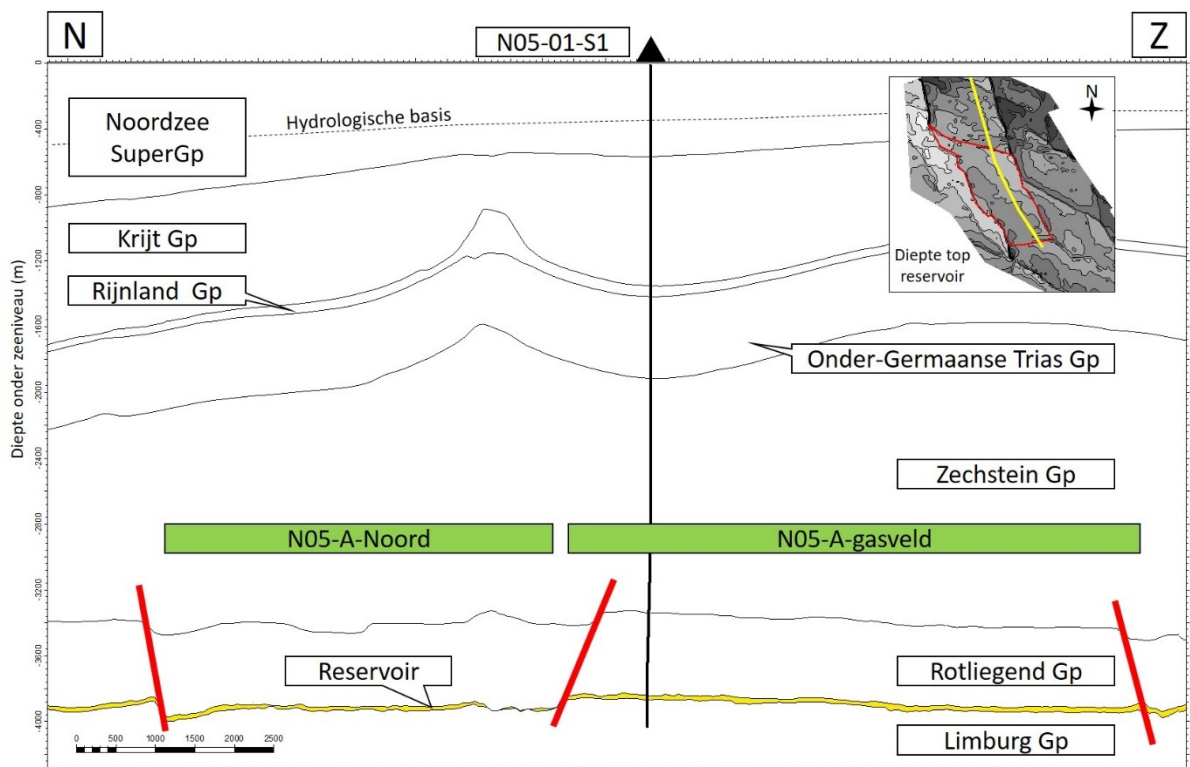
Bijlage 4: Proces-stroomdiagram van de mijnbouwlocatie



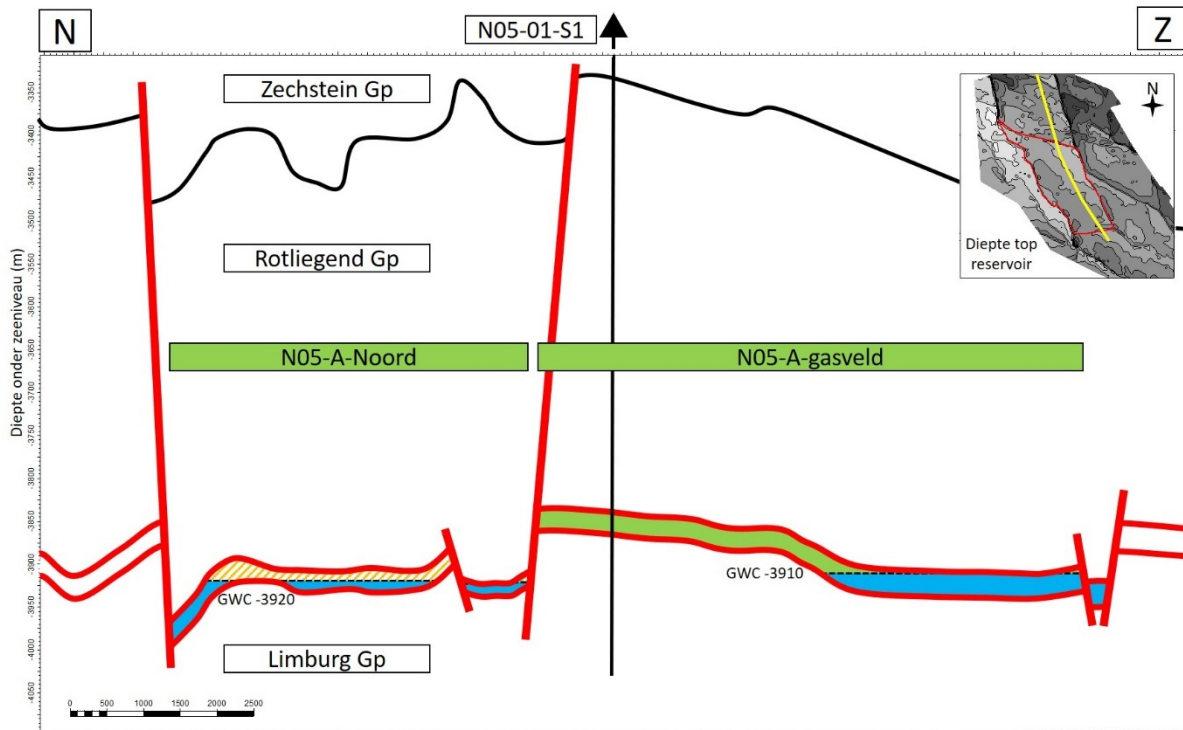
Bijlage 5: Geologische kaart en doorsnedes van de voorkomens



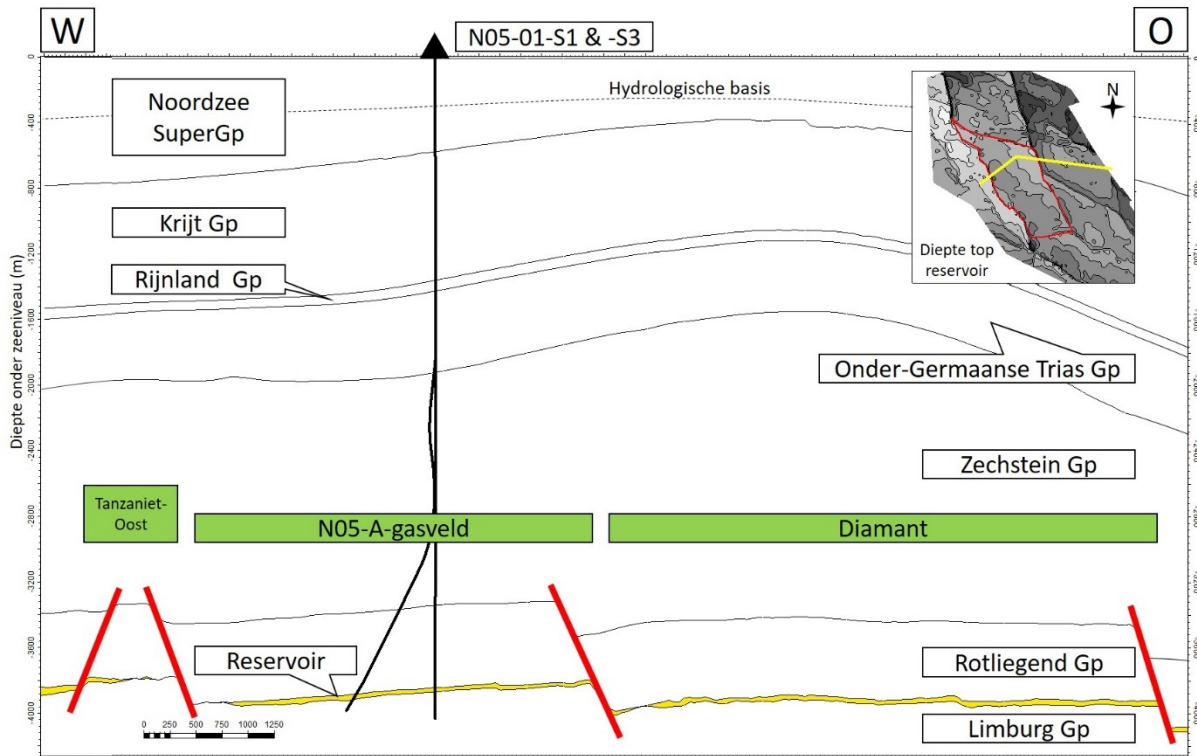
Bijlage 5-1: Dieptekaart van de top van het reservoir van het N05-A voorkomen en de vier omliggende prospects, met daarop aangegeven het gasvoerende gedeelte van de voorkomens en de locatie van de dwarsdoorsnedes.



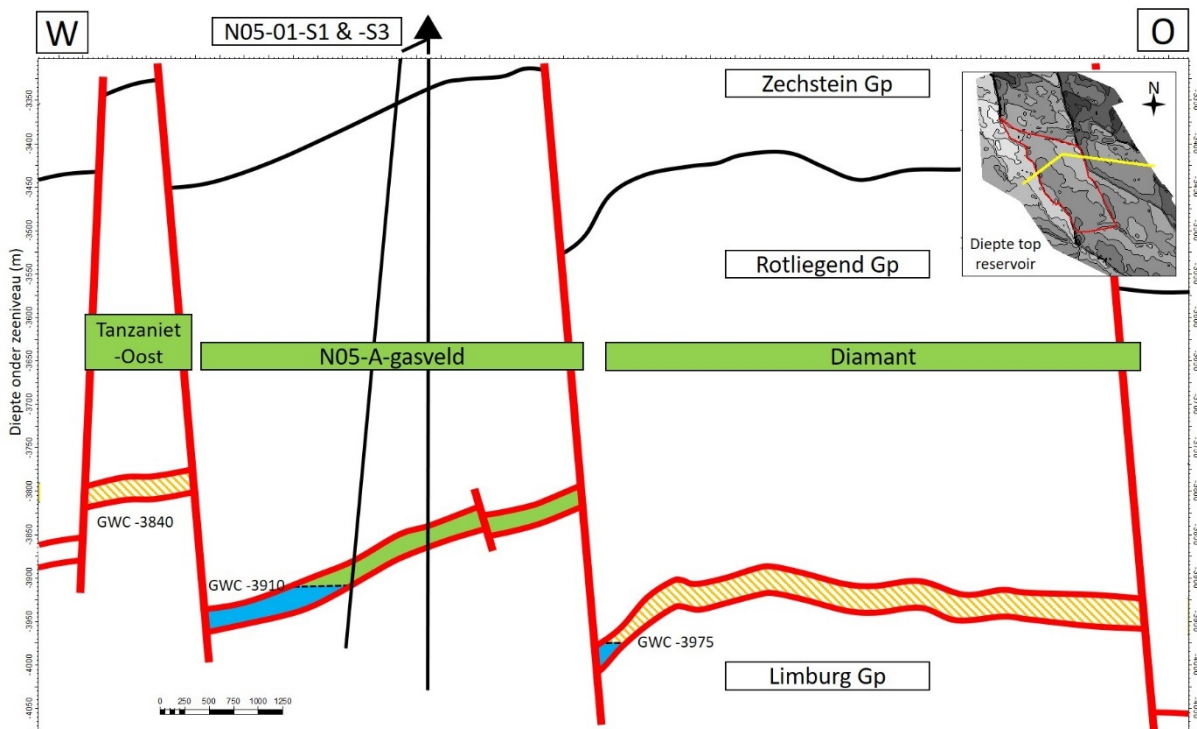
Bijlage 5-2: Noord-zuid dwarsdoorsnede door het N05-A gasveld en het N05-A-Noord prospect met het hele overliggend gesteentepakket.



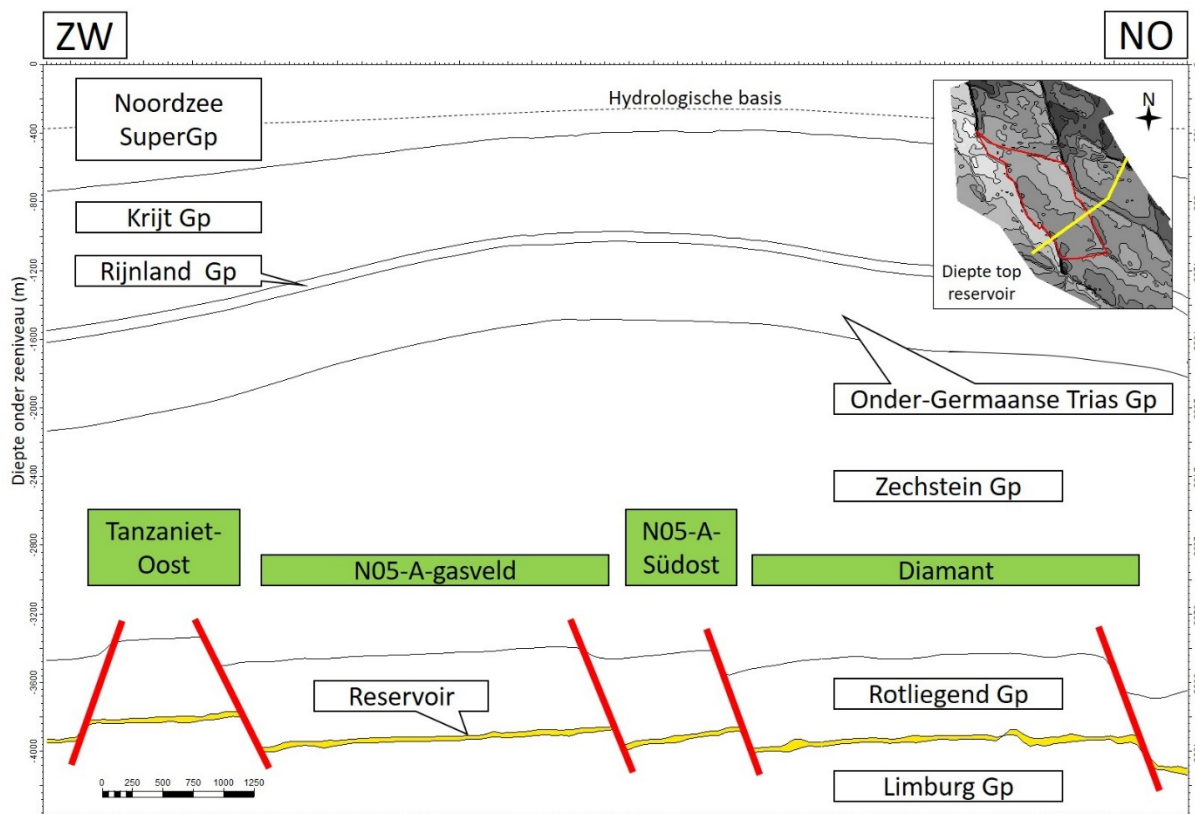
Bijlage 5-3: Noord-zuid dwarsdoorsnede door het N05-A gasveld en het N05-A-Noord prospect op reservoir niveau met daarin aangegeven de aardgas- en watervoerende delen van het reservoir.



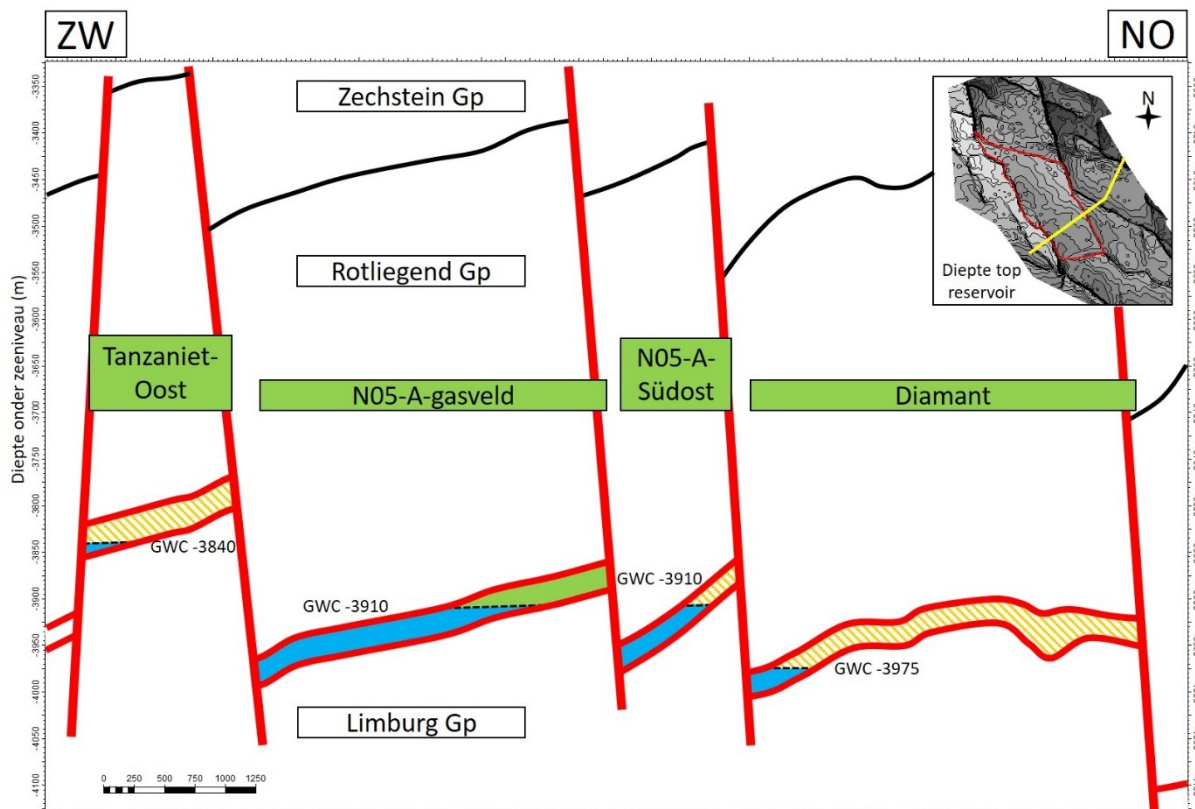
Bijlage 5-4: West-oost dwarsdoorsnede door het N05-A gasveld en de Diamant en Tanzaniet-Oost prospects met het hele overliggend gesteentepakket.



Bijlage 5-5: West-oost dwarsdoorsnede door het N05-A gasveld en de Diamant en Tanzaniet-Oost prospects op reservoir niveau met daarin aangegeven de aardgas- en watervoerende delen van het reservoir.



Bijlage 5-6: Zuidwest-noordoost dwarsdoorsnede door het N05-A gasveld en de Diamant, N05-A-Südost en Tanzaniet-Oost prospects met het hele overliggend gesteentepakket.

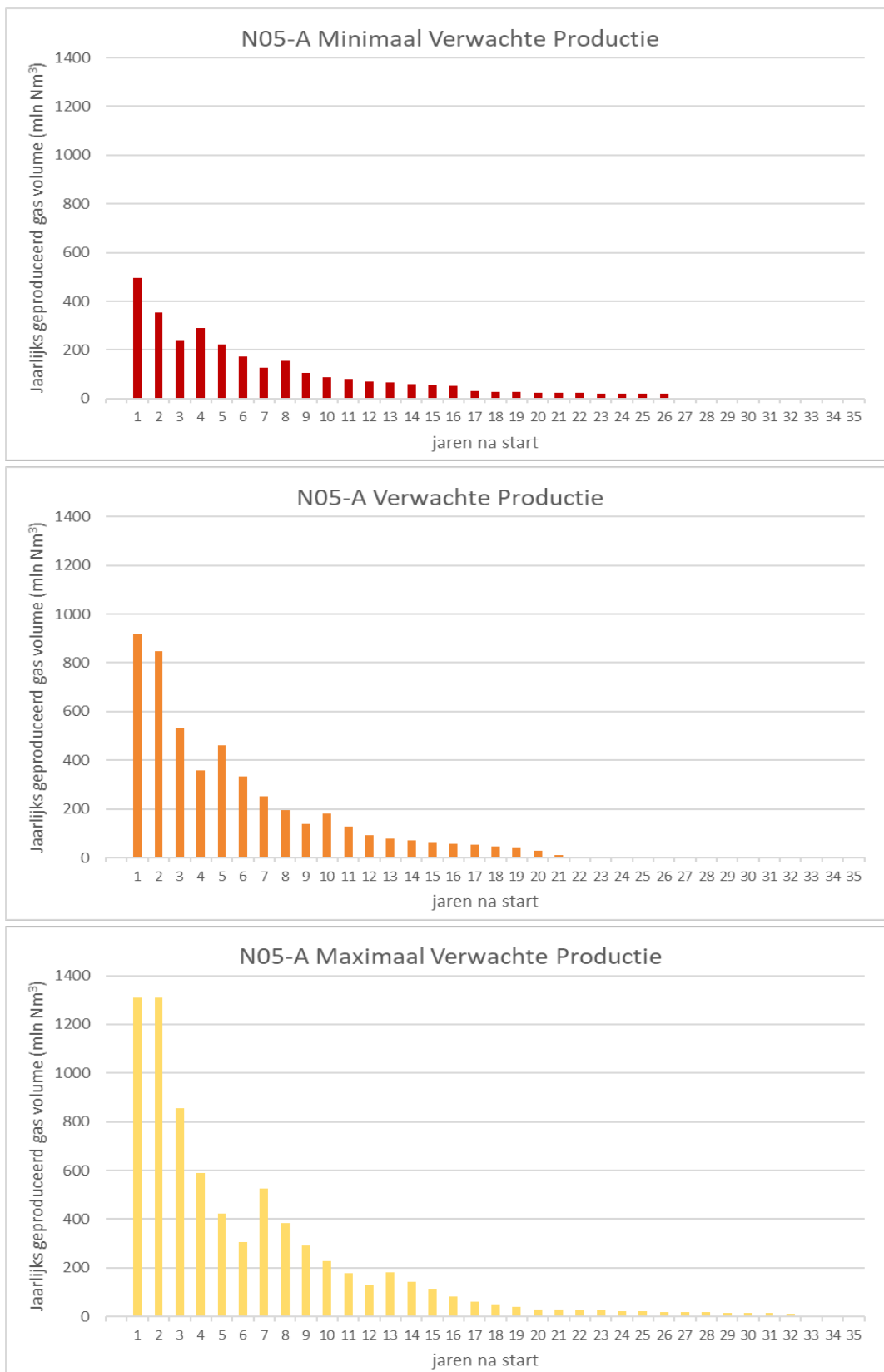


Bijlage 5-7: Zuidwest-noordoost dwarsdoorsnede door het N05-A gasveld en de Diamant, N05-A-Südost en Tanzaniet-Oost prospects op reservoir niveau met daarin aangegeven de aardgas- en watervoerende delen van het reservoir.

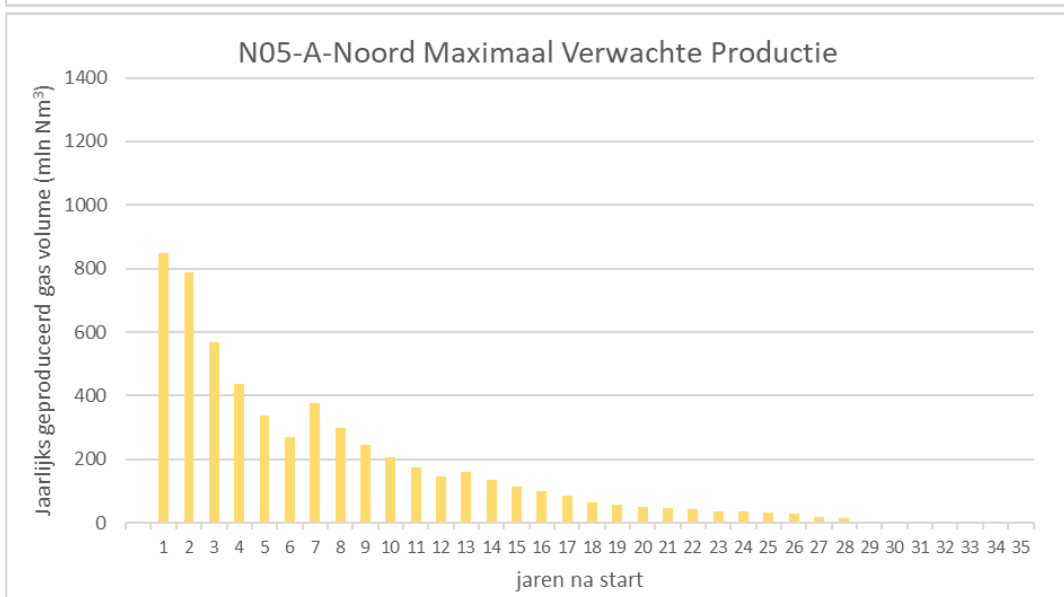
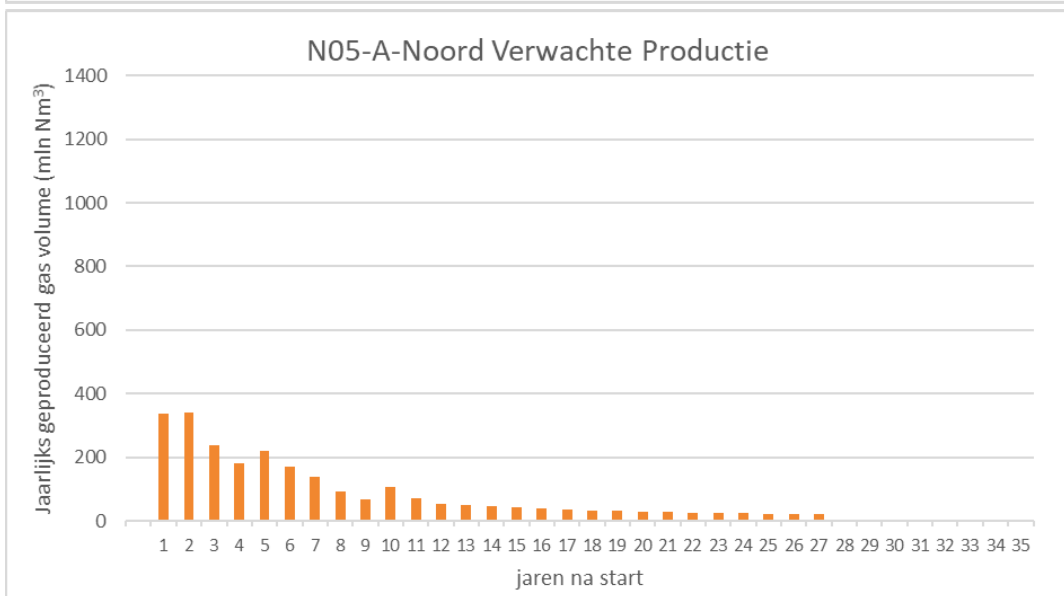
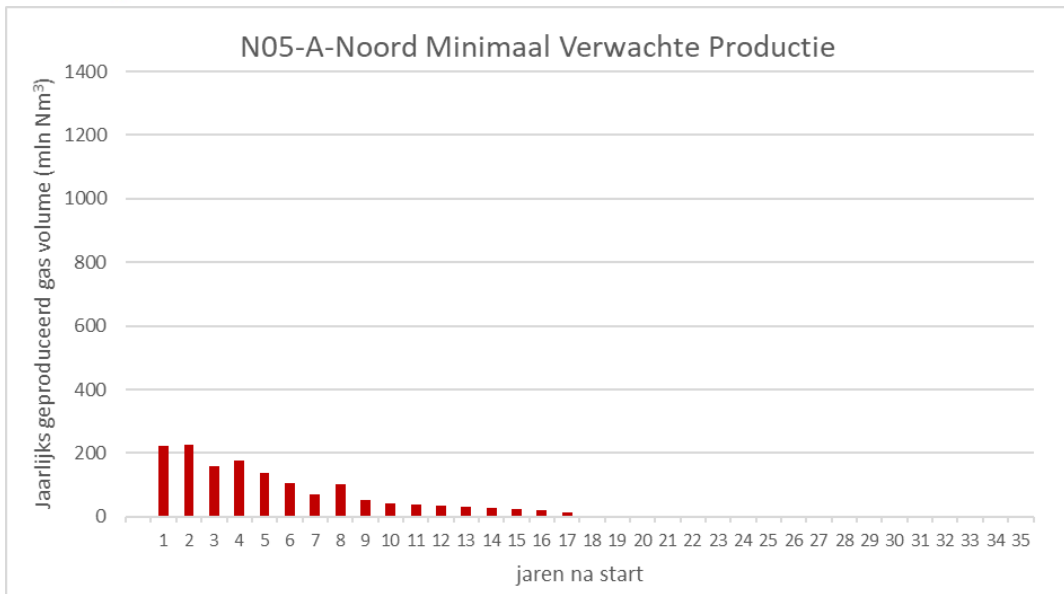
Bijlage 6: Detailschema productieverbuizing

GEMS Standard 4 1/2" Completion				one dyas		
Casing size at approx. depth		Pressure Rating	Description	Max OD"	Min ID"	Dift ID"
		961 bar	Landing string 5" 18 lb/ft P110 VAM TOP HT	5.577	4.214	4.151
		689 bar	Tubing hanger Tubing hanger, with 4" Nominal 'H'-profile	14.020	3.885	3.875
		690 bar	4 1/2" 12.6 lb/ft VM95 13Cr VAM TOP Tubing	4.937	3.913	3.875
		690 bar	4 1/2" 12.6 lb/ft VM95 13Cr VAM TOP Tubing	4.937	3.913	3.875
Casing 18 5/8" 87.5 lb/ft			3.812" 'BA' lock profile 4 1/2" 12.6 lb/ft P110 13Cr VAM TOP Top connection 3.812" 'BA' lock profile c/w 3.812" seal bore	4.937	3.913	3.875
		551 bar	TR-SCSSSV Model "Thunder-8E" Tubing Retrievable safety valve 3.812" lower seal bore	7,048	3.875	3.833
			4 1/2" 12.6 lb/ft P110 13Cr VAM TOP bottom connection	4.937	3.913	3.833
18 5/8" Shoe, 700m		690 bar	4 1/2" 12.6 lb/ft VM95 13Cr VAM TOP Tubing	4.937	3.913	3.833
Casing 13 3/8" 72 lb/ft P110						
13 3/8" Shoe, 2000m		690 bar	4 1/2" 12.6 lb/ft VM95 13Cr VAM TOP Tubing	4.937	3.913	3.833
Casing 9 5/8" 53.5 lb/ft P110						
7" Liner Top, 4450m		690 bar	4 1/2" 12.6 lb/ft VM95 13Cr VAM TOP Tubing	4.937	3.913	3.833
9 5/8" Shoe, 4500m						
		689 bar	4 1/2" 12.6 lb/ft P110 13Cr VAM TOP Top connection Dual Gauge carrier with SureSENS 175 Quartz Dual Gauge	4.937	3.913	3.833
			4 1/2" 12.6 lb/ft P110 13Cr VAM TOP Bottom connection	4.937	3.913	3.833
		689 bar	4 1/2" 12.6 lb/ft P110 13Cr VAM TOP Top connection Fresh Water Injection Sub	4.937	3.913	3.833
			4 1/2" 12.6 lb/ft P110 13Cr VAM TOP Bottom connection	4.937	3.913	3.833
Liner 7" 32 lb/ft P110		689 bar	4 1/2" 12.6 lb/ft P110 13Cr VAM TOP Top connection 3.75" Seating Nipple 3.750" Model "AOF" Top No-Go Seating Nipple	4.937	3.913	3.833
			4 1/2" 12.6 lb/ft P110 13Cr VAM TOP Bottom connection	4.937	3.913	3.833
		689 bar	4 1/2" 12.6 lb/ft P110 13Cr VAM TOP Top connection Production Packer Premier Cut to Retrieve Packer, 7" 32-35lb/ft	5,820	3,870	3.833
			4 1/2" 12.6 lb/ft P110 13Cr VAM TOP Bottom connection			
		689 bar	4 1/2" 12.6 lb/ft P110 13Cr VAM TOP Top connection 3.688" Seating Nipple 3.688" Model "AOF" Top No-Go Seating Nipple	4.937	3.913	3.833
			4 1/2" 12.6 lb/ft P110 13Cr VAM TOP Bottom connection	4.937	3.913	3.833
			4 1/2" 12.6 lb/ft P110 13Cr VAM TOP Top connection	4.937	3.913	3.833
		689 bar	No-Go Sub 5.75" OD No-Go sub	5.750	3.875	3.833
7" x 5" Liner X-over, 5200m			4 1/2" 12.6 lb/ft P110 13Cr VAM TOP Top connection Ratcheting Muleshoe	5.187	3.913	3.833
				5.782	3.725	
Production Liner 5" 18 lb/ft P110						
TD 5500m						

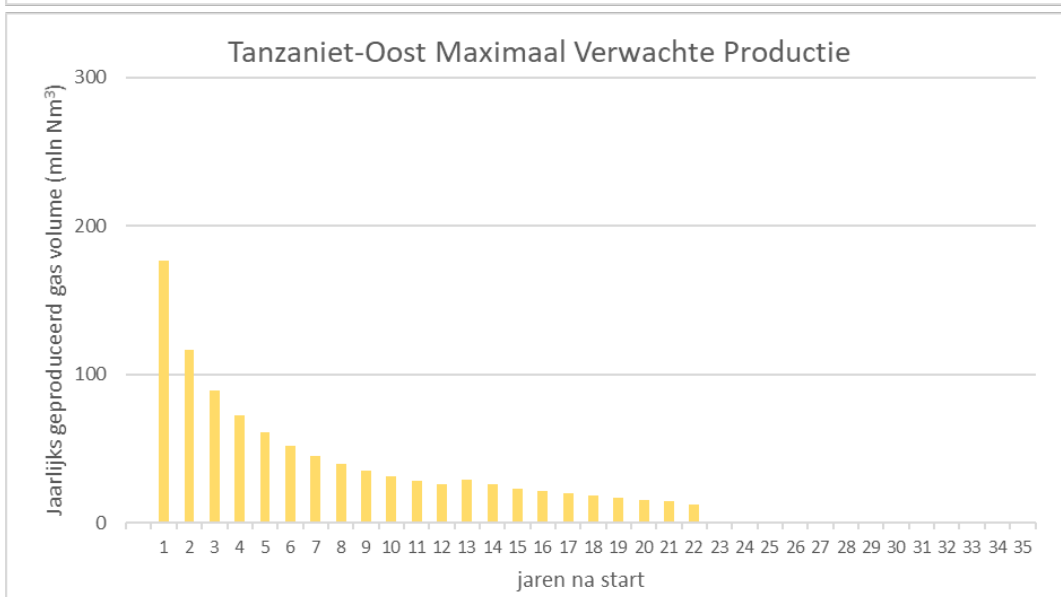
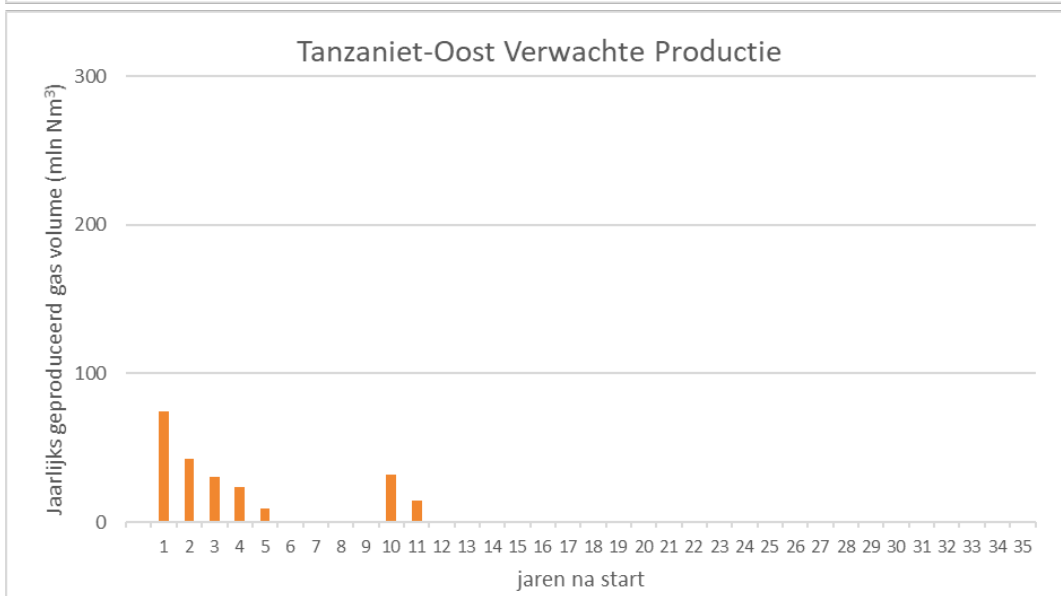
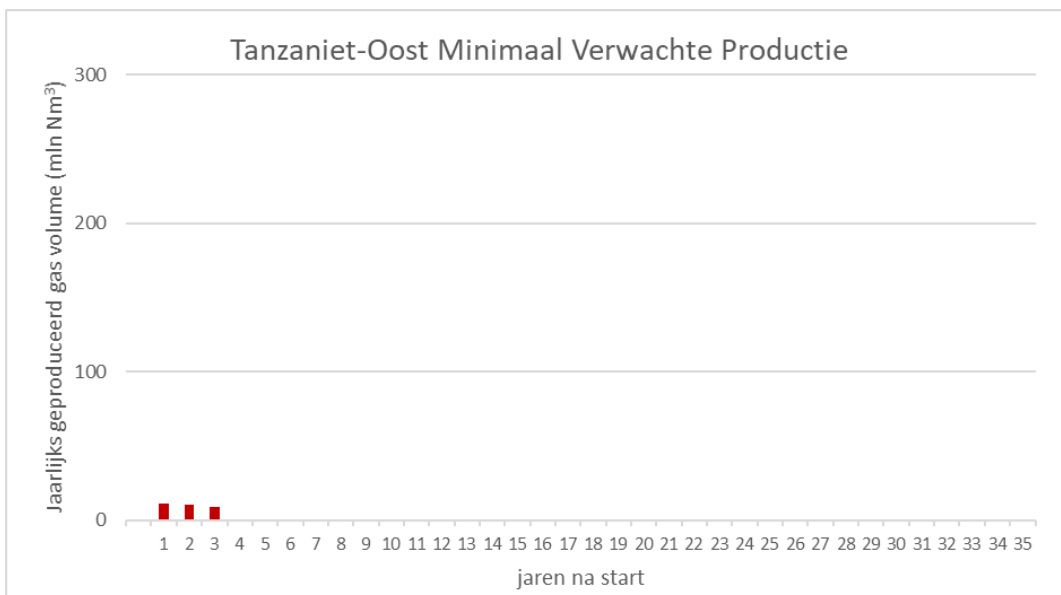
Bijlage 7: Gasproductieprofielen voor de individuele voorkomens



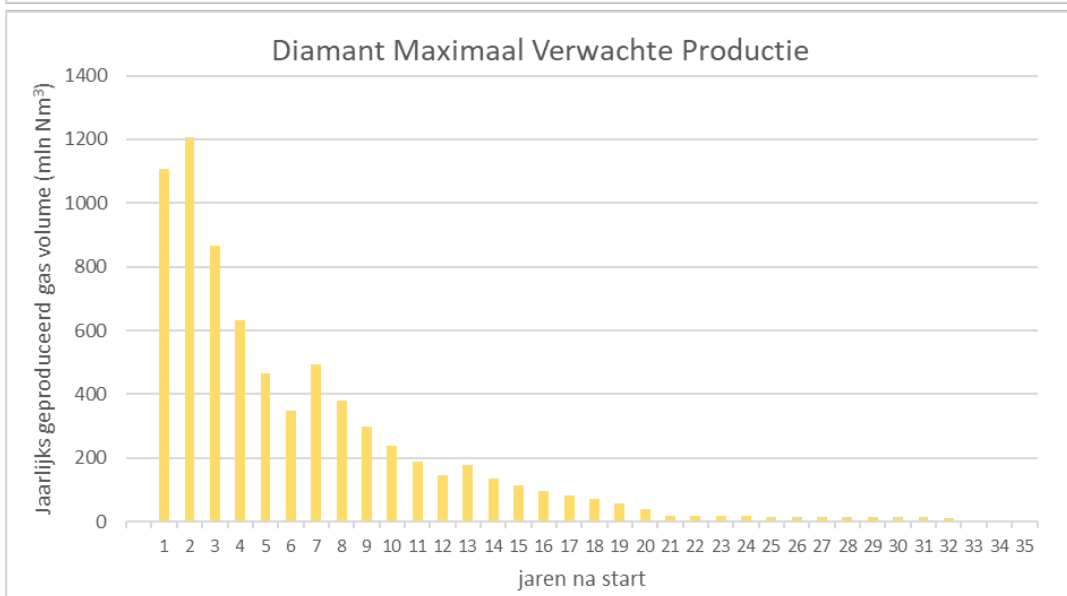
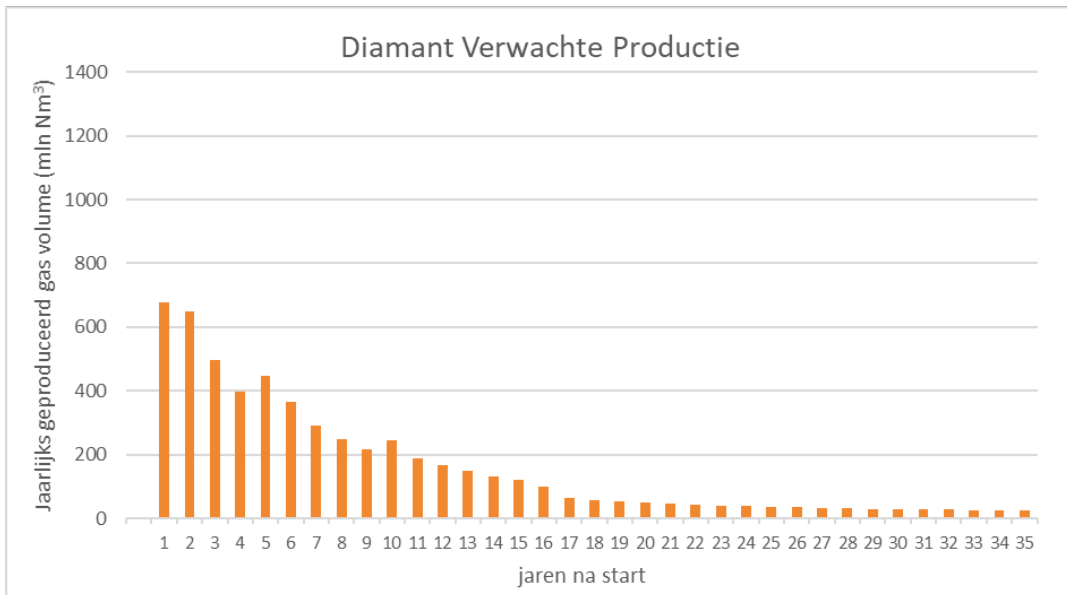
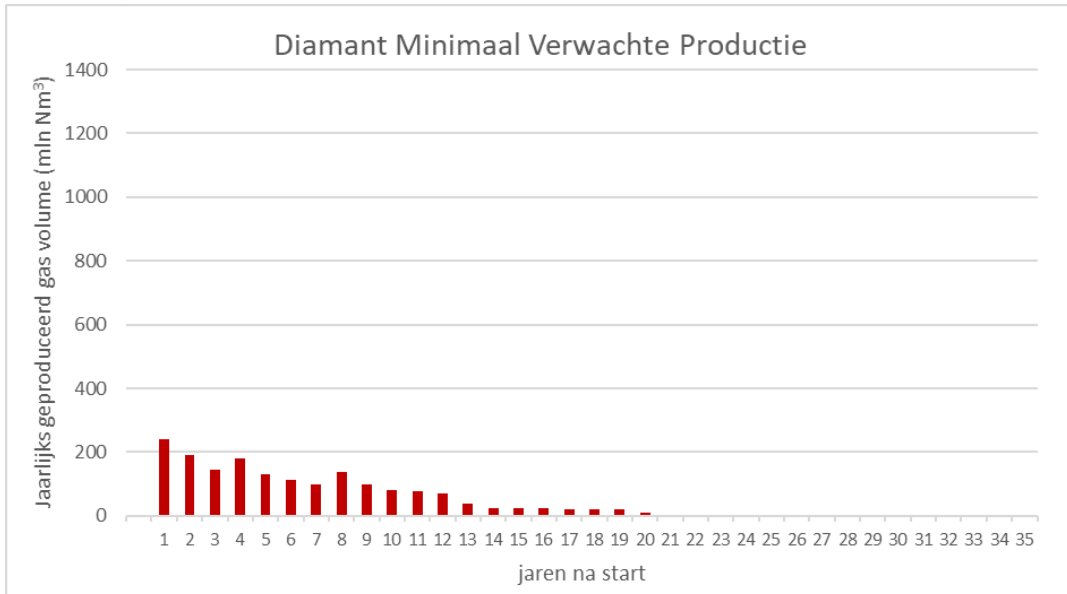
Bijlage 7-1: Gasproductieprofielen voor het N05-A voorkomen



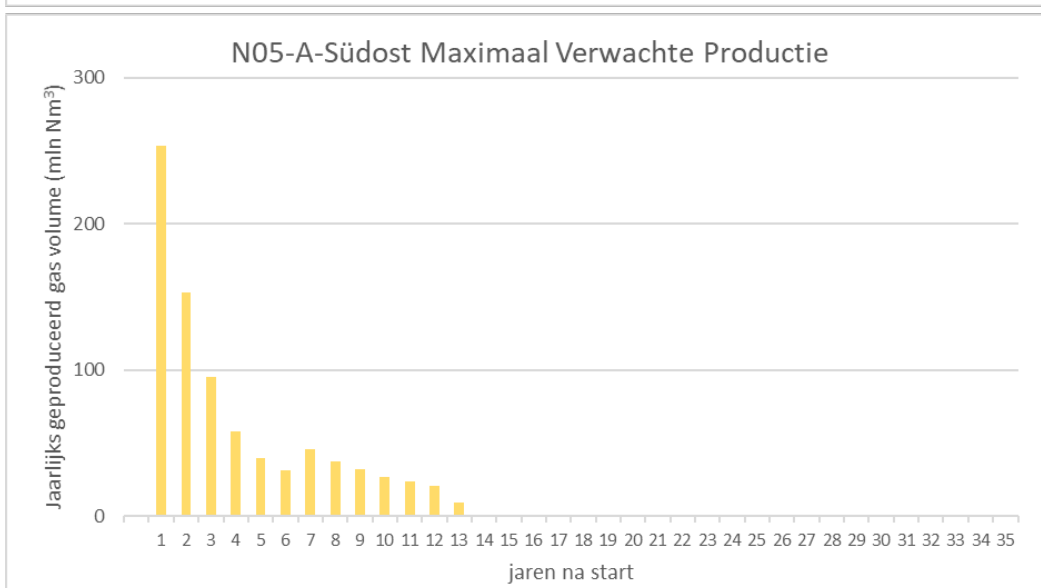
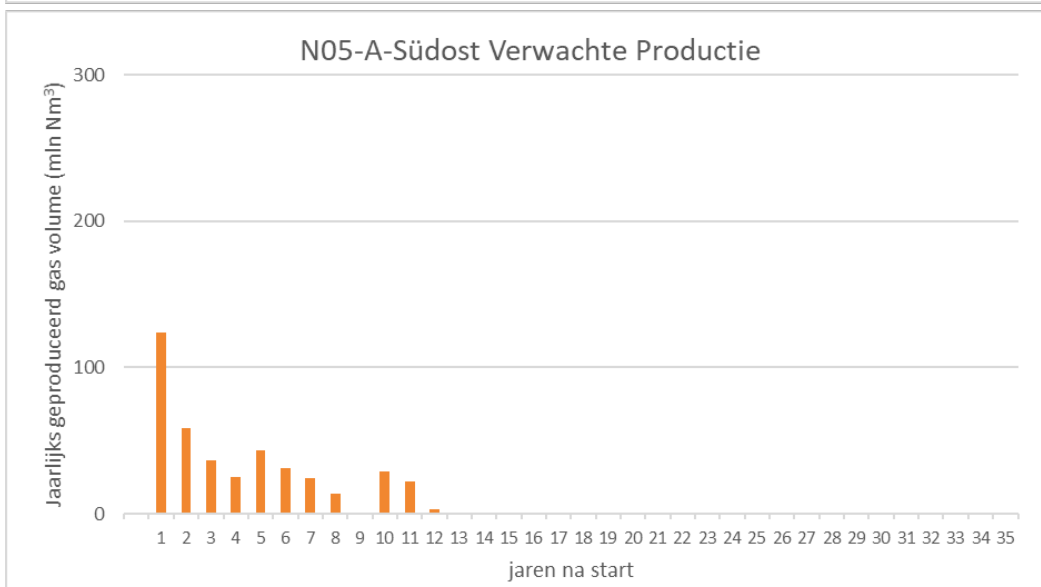
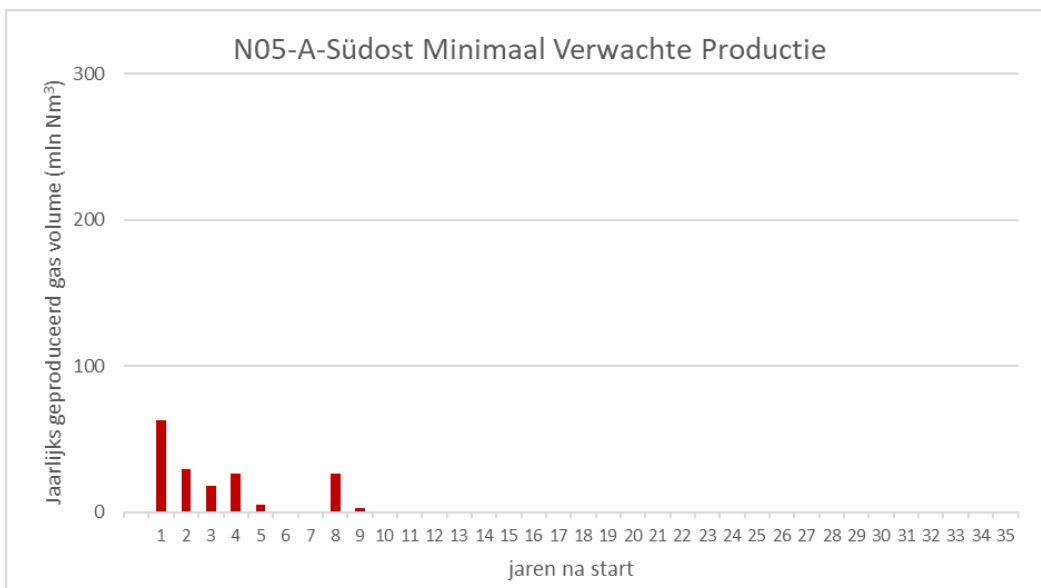
Bijlage 7-2: Gasproductieprofielen voor het N05-A-Noord prospect



Bijlage 7-3: Gasproductieprofielen voor het Tanzaniet-Oost prospect



Bijlage 7-4: Gasproductieprofielen voor het Diamant prospect



Bijlage 7-5: Gasproductieprofielen voor het N05-A-Südost prospect

Bijlage 8: Productietabellen voor de individuele voorkomens

Bijlage 8-1: Minimaal verwachte, verwachte, en maximaal verwachte jaarlijkse productie voor het N05-A voorkomen

Jaar	N05-A Jaarlijks Productie Volume (mln Nm ³)		
	Minimaal verwacht	Verwacht	Maximaal verwacht
1	497	919	1309
2	353	846	1309
3	241	530	856
4	291	357	589
5	223	460	422
6	172	333	306
7	127	252	526
8	154	196	385
9	105	139	292
10	88	182	226
11	79	126	176
12	72	90	128
13	66	79	182
14	61	71	142
15	56	64	113
16	52	58	84
17	29	52	61
18	28	48	52
19	26	44	41
20	25	28	30
21	24	12	28
22	23	0	26
23	22	0	24
24	21	0	23
25	21	0	21
26	20	0	20
27	0	0	19
28	0	0	17
29	0	0	16
30	0	0	15
31	0	0	14
32	0	0	11
33	0	0	0
34	0	0	0
35	0	0	0
Totaal	2876	4885	7464

Bijlage 8-2: Minimaal verwachte, verwachte, en maximaal verwachte jaarlijkse productie voor het N05-A-Noord prospect

Jaar	N05-A-Noord Jaarlijks Productie Volume (mln Nm ³)		
	Minimaal verwacht	Verwacht	Maximaal verwacht
1	222	338	847
2	227	340	789
3	158	237	570
4	176	182	437
5	136	220	339
6	105	171	269
7	70	140	376
8	101	92	297
9	54	69	245
10	43	107	206
11	38	72	173
12	34	55	148
13	30	50	160
14	27	45	135
15	24	41	116
16	22	38	100
17	13	36	85
18	0	33	66
19	0	31	58
20	0	29	52
21	0	28	46
22	0	26	42
23	0	25	38
24	0	24	35
25	0	23	32
26	0	22	30
27	0	20	18
28	0	5	13
29	0	0	0
30	0	0	0
31	0	0	0
32	0	0	0
33	0	0	0
34	0	0	0
35	0	0	0
Totaal	1479	2498	5722

Bijlage 8-3: Minimaal verwachte, verwachte, en maximaal verwachte jaarlijkse productie voor het Tanzaniet-Oost prospect

Jaar	Tanzaniet-Oost Jaarlijks Productie Volume (mln Nm ³)		
	Minimaal verwacht	Verwacht	Maximaal verwacht
1	11	75	177
2	10	43	116
3	9	31	89
4	0	24	73
5	0	9	61
6	0	0	52
7	0	0	45
8	0	0	40
9	0	0	35
10	0	32	32
11	0	14	28
12	0	0	26
13	0	0	29
14	0	0	26
15	0	0	23
16	0	0	21
17	0	0	20
18	0	0	18
19	0	0	17
20	0	0	16
21	0	0	14
22	0	0	12
23	0	0	0
24	0	0	0
25	0	0	0
26	0	0	0
27	0	0	0
28	0	0	0
29	0	0	0
30	0	0	0
31	0	0	0
32	0	0	0
33	0	0	0
34	0	0	0
35	0	0	0
Totaal	31	227	969

Bijlage 8-4: Minimaal verwachte, verwachte, en maximaal verwachte jaarlijkse productie voor het N05-A-Südost prospect

Jaar	N05-A-Südost Jaarlijks Productie Volume (mln Nm ³)		
	Minimaal verwacht	Verwacht	Maximaal verwacht
1	63	124	253
2	30	59	153
3	18	36	96
4	26	25	58
5	5	44	40
6	0	31	32
7	0	24	46
8	26	14	37
9	3	0	32
10	0	29	27
11	0	22	24
12	0	3	21
13	0	0	9
14	0	0	0
15	0	0	0
16	0	0	0
17	0	0	0
18	0	0	0
19	0	0	0
20	0	0	0
21	0	0	0
22	0	0	0
23	0	0	0
24	0	0	0
25	0	0	0
26	0	0	0
27	0	0	0
28	0	0	0
29	0	0	0
30	0	0	0
31	0	0	0
32	0	0	0
33	0	0	0
34	0	0	0
35	0	0	0
Totaal	171	412	827

Bijlage 8-5: Minimaal verwachte, verwachte, en maximaal verwachte jaarlijkse productie voor het Diamant prospect

Jaar	Diamant Jaarlijks Productie Volume (mln Nm ³)		
	Minimaal verwacht	Verwacht	Maximaal verwacht
1	242	678	1107
2	190	647	1206
3	146	495	867
4	181	398	633
5	130	447	467
6	111	365	349
7	99	291	492
8	138	250	380
9	97	217	299
10	82	245	237
11	76	188	187
12	70	166	145
13	38	148	177
14	25	133	134
15	24	119	114
16	23	100	98
17	22	64	84
18	21	56	70
19	20	52	59
20	8	49	39
21	0	45	19
22	0	43	18
23	0	40	18
24	0	38	17
25	0	36	17
26	0	34	16
27	0	33	16
28	0	31	15
29	0	30	15
30	0	29	14
31	0	28	14
32	0	27	12
33	0	26	0
34	0	25	0
35	0	24	0
Totaal	1744	5597	7334

**Aardbevingsrisico en
bodemdalingsstudie N05-A-
gasveld en omliggende
prospects**



Titel

Aardbevingsrisico en bodemdalingsstudie N05-A-gasveld en omliggende prospects

Opdrachtgever	Project	Kenmerk	Pagina's
ONE-Dyas B.V., AMSTERDAM	11202042-003	11202042-003-BGS-0007	44

Classificatie

Vertrouwelijk tot 17 januari 2023

Trefwoorden

Aardbevingsrisico kleine velden, bodemdaling, prognose

Referenties

Offertes 11202042-001-BGS-0003-v1, 11202042-002-BGS-0003, 11202042-002-BGS-009, 11202042-003-BGS-0004, 11202042-006-BGS-0002 en opdrachten ONENL-003188 Rev. 3, ONENL-004390 Rev. 1, ONENL-005792 Rev. 0

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
0.19	14 september 2020						

Status

Definitief

Inhoud

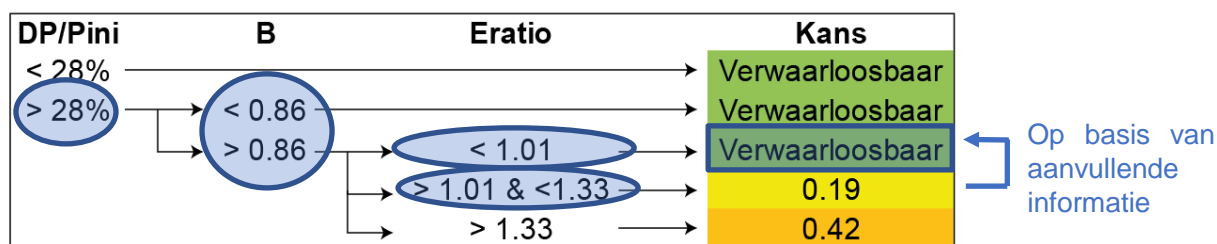
1	Managementsamenvatting	3
2	Introductie	5
2.1	Aanleiding en vraagstelling	5
2.2	Aanpak	6
2.2.1	Aardbevingsrisico	6
2.2.2	Prognose bodemdaling	8
3	Gegevens	9
3.1	Algemeen	9
3.2	Uit akoestische boorgatmetingen en routine kernanalyse	9
3.3	Uit gesteentemechanisch onderzoek	10
3.3.1	Methodiek voor bepaling van gesteentemechanische eigenschappen	10
3.3.2	Gesteentemonsters-analyse boring N05-01-S1	11
3.4	Parameters voor de analyse	12
4	Seismisch risicoanalyse	13
4.1	Inleiding	13
4.2	Breuken en stratigrafie	14
4.3	Stap 1A: Screening kans op aardbevingen	17
4.4	(i) Relatieve drukval	18
4.5	(ii) Breukdichtheid	19
4.6	(iii) Relatieve stijfheid	20
4.6.1	DHAIS	21
4.6.2	Aanvullende informatie	21
4.7	Samenvatting resultaten DHAIS stap 1A	25
4.8	Stap 1B: Bepaling potentieel maximale magnitude	26
4.8.1	Methode 1: Breukgeometrie	26
4.8.2	Methode 2: Energiebalans	27
4.9	Stap 2: screening risico	28
5	Bodemdalingsstudie	32
5.1	Inleiding	32
5.2	Eenheidsbodemdalingsom	32
5.2.1	Inleiding	32
5.2.2	De eenheidsbodemdalingsom	32
5.2.3	De invloed van de zoutlaag	33
5.3	Bodemdalingskom	34
5.3.1	Ontwikkeling in de tijd	34
5.3.2	Volume bodemdalingssom	39
5.3.3	Helling zeebodem Riffgat	40
5.3.4	Vergelijking met andere velden	40
6	Conclusies	42
7	Referenties	43
	Bijlagen	
A	Samenvattingstabellen gesteenteonderzoek	A1
B	Relatieve stijfheid berekeningen kaarten en aanvullende data	B1

1 Managementsamenvatting

Dit rapport beschrijft de inschatting van het aardbevingsrisico en de bodemdalingsprognose voor het N05-A-gasveld en omliggende prospects onder het maximale gaswinningsscenario. Dit scenario gaat uit van een maximale schatting voor depletie in alle ongeboorde prospects en het N05-A-gasveld. De aanleiding voor de studie is het voornemen van ONE-Dyas om een winningsplan in te dienen voor het gasveld N05-A.

Aardbevingsrisico

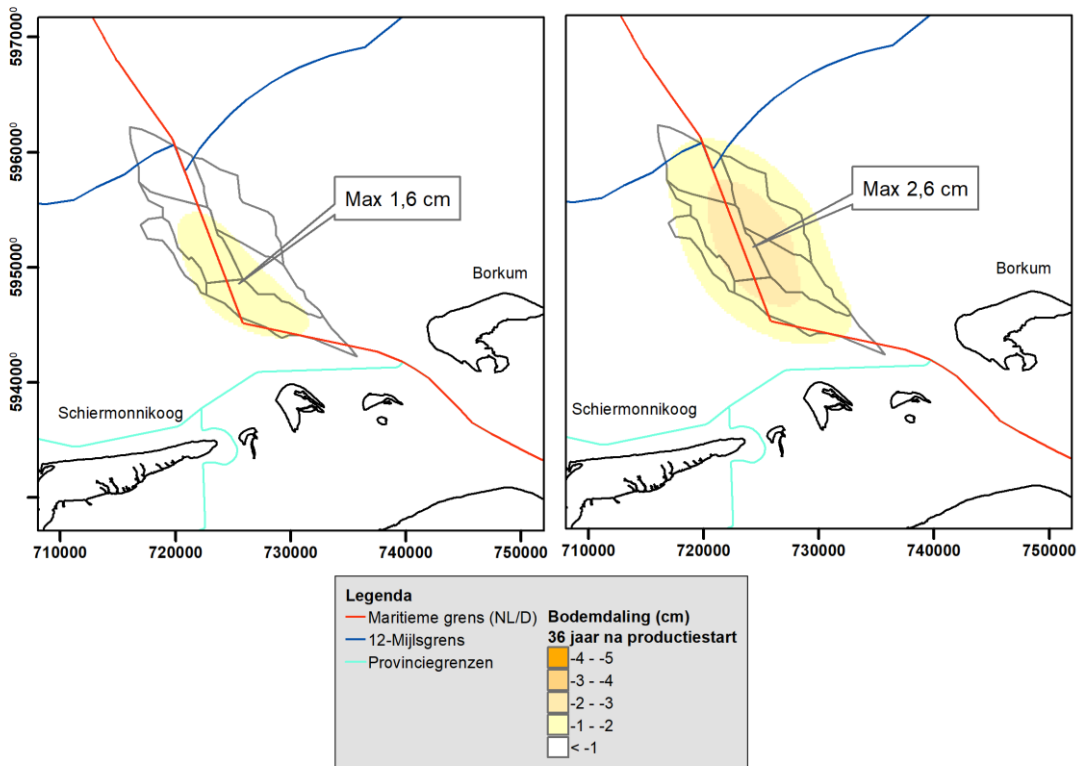
Aan de hand van de Methodiek voor Risicoanalyse over geïnduceerde bevingen door gaswinning (DHAIS, van Eijs et al., 2004; van Thienen-Visser et al., 2012; Staatstoezicht op de Mijnen, 2016) is een analyse gemaakt van de kans op een aardbeving. Deze analyse is gemaakt voor het maximale gaswinningsscenario. Uit de strikte toepassing van DHAIS blijkt dat de kans op het optreden van een aardbeving verwaarloosbaar is voor prospects N05-A, N05-A-Noord en Diamant en 19% bedraagt voor prospects Tanzaniet-Oost en N05-A-Südost. Op basis van aanvullende informatie ter plaatse van nieuwe boringen aan Nederlandse zijde en bestaande boringen aan Duitse zijde van de grens, gericht op de Young's modulus van het reservoir en de overburden, blijkt echter dat de kans op het optreden van een aardbeving naar beneden bijgesteld kan worden tot verwaarloosbaar voor alle prospects. (Figuur 1.1).



Figuur 1.1 Samenvatting risicoanalyse aardbevingen.

Bodemdalingsprognose

Er is een prognose gemaakt van de bodemdaling aan het oppervlak (zeebodem) voor het depleterend veld N05-A en omliggende prospects in het maximale gaswinningsscenario aan het eind van de productie (Figuur 1.2). De bodemdaling is gemodelleerd door de daling van een aantal nucleus-reservoirs te superponeren en vervolgens te verdelen over de totale oppervlakte van het gasveld. De berekening is uitgevoerd voor een bandbreedte van compactiecoëfficiënten. Op basis van deze berekeningen bedraagt de verwachte bodemdaling bij een compactiecoëfficiënt van $0,035 \text{ GPa}^{-1}$ in het centrum van de kom 1,6 cm voor het gasveld N05-A afzonderlijk en 2,6 cm inclusief de omliggende prospects in het maximale gaswinningsscenario aan het eind van de productie.



Figuur 1.2 Bodemdaling (in cm) voor het N05-A-gasveld en omliggende prospects, tijdstip = einde productie met maximale gaswinningsscenario voor de meest waarschijnlijke compactiecoëfficiënt uit laboratoriumanalyses op gesteentemonsters van $0,035 \text{ GPa}^{-1}$. Links: verwachte bodemdaling voor N05-A afzonderlijk. Rechts: verwachte bodemdaling uitgaande dat alle prospects gasvoerend zijn en bij gelijktijdige winning uit alle prospects.

2 Introductie

2.1 Aanleiding en vraagstelling

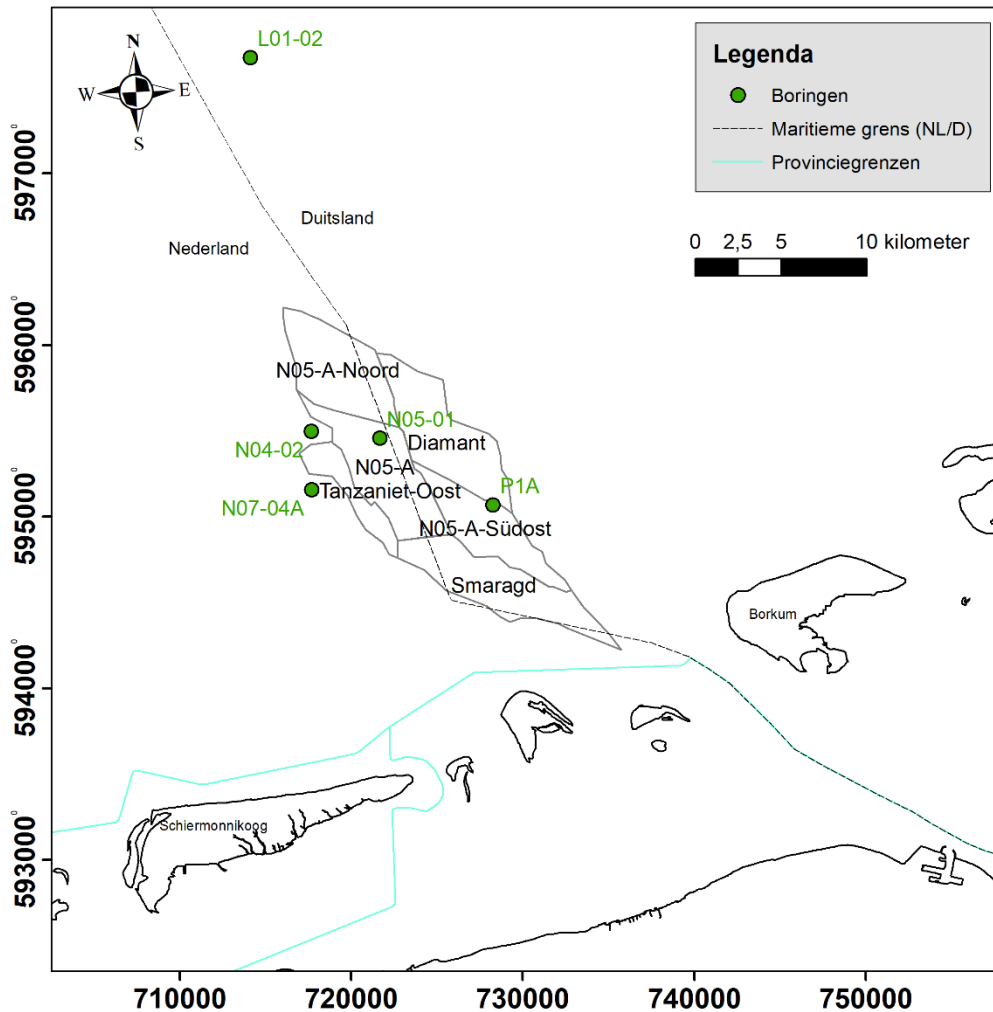
ONE-Dyas onderzoekt het N05-A-gasveld en omliggende prospects voor gaswinning (Figuur 2.1). In verband met het winningsplan is het van belang goed inzicht te hebben in de mogelijke effecten van de gaswinning op de omgeving van het gasveld en omliggende prospects. Dit rapport behandelt de screening van het aardbevingsrisico en de prognose van de bodemdaling ten gevolge van de gaswinning.

Deze studie met betrekking tot bodemdaling en bijbehorende seismische activiteit maakt gebruik van een inschatting voor het maximale gaswinningsscenario. Dit scenario is gebaseerd op de volgende aannames:

- Aanwezigheid van gas wordt verondersteld in N05-A en alle omliggende prospects die vanaf de N05-A platformlocatie kunnen worden aangeboord.
- De hoeveelheid aanwezig gas en reservoir karakteristieken in N05-A en de omliggende prospects zijn zodanig gekozen dat een maximale schatting van depletie van de voorkomens gebruikt wordt. Dit scenario heeft een lage kans van optreden. Het is waarschijnlijker dat de parameters zodanig zijn dat de actuele waarden voor bodemdaling en seismische activiteit (significant) lager zullen zijn.
- Het depletiescenario voor de studie is gemodelleerd voor een tijdsduur van 37 jaar. De technisch maximale productieperiode van de putten in het scenario is ongeveer 33 jaar, gebaseerd op een oppervlaktedruk van 10 bar aan de putmond.
- In de modellering is aangenomen dat het mogelijke reservoir in de Smaragdstructuur ten zuiden van N05-A watervoerend is en via de aquifer verbonden is met N05-A. Zo wordt in de modelleringstudie een inschatting gemaakt van de maximaal mogelijke drukdaling in deze structuur als gevolg van gaswinning in het N05-A-gasveld. Een proefboring naar de Smaragdstructuur is niet mogelijk vanaf de voorziene platformlocatie voor ontwikkeling van het N05-A-gasveld en is derhalve geen onderdeel van dit project.

De winningsvergunning voor N04-N05-N08 is toegekend op 24 juli 2019 en heeft een looptijd van 30 jaar. Om het effect van bodemdaling zo goed mogelijk te simuleren is de gemodelleerde productieperiode langer dan de looptijd van deze winningsvergunning. De verwachte productiestop zal voor het einde van de winningsvergunning liggen.

Deltares heeft eerder studies uitgevoerd naar bodemdaling en bevingsrisico in een concessie van ONE-Dyas (de Lange & Luger, 2012; de Lange et al., 2013; de Lange & Creusen, 2017). In de huidige studie is gebruik gemaakt van dezelfde methodiek. De geofysische en geomechanische eigenschappen van de geologische eenheden zijn deels verkregen via nlog.nl (VELMOD 3.1 van TNO, 2017) en deels geleverd door de opdrachtgever.



Figuur 2.1 Locatie van het N05-A-gasveld en omliggende prospects. De waterdiepte in dit gebied varieert van 20 tot 25 m.

2.2 Aanpak

2.2.1 Aardbevingsrisico

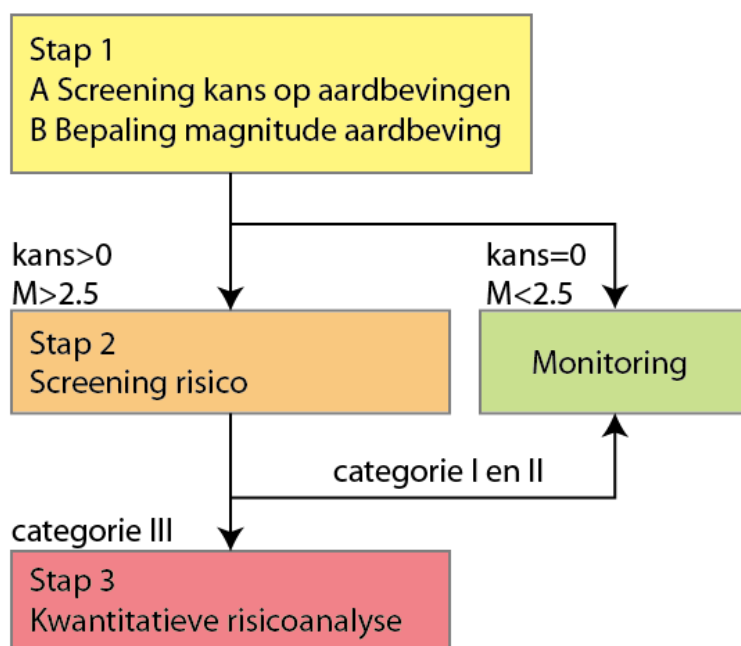
Uit de gegevens van alle producerende gasvelden in Nederland heeft TNO relaties opgesteld tussen de eigenschappen van de ondergrond, de winningsmethode en de drukveranderingen en het optreden van bevingen (van Eijs et al., 2004; van Thienen-Visser et al., 2012). De methodiek uit deze rapporten is overgenomen in de Methodiek voor risicoanalyse over geïnduceerde bevingen door gaswinning (SodM, 2016). In het onderhavige rapport wordt naar deze methodiek verwezen als DHAIS (Deterministische hazard analyse voor geïnduceerde seismiciteit).

Een voorspelling van de effecten van aardbevingen wordt in een aantal stappen uitgevoerd. Aan de hand van bepaalde kenmerken van een olie- of gasvoorkomen wordt de kans bepaald dat zich, op enig moment gedurende de productie van een voorkomen, een beving voordoet. Dit wordt gedaan aan de hand van het schema in Tabel 2.1. Uit deze tabel is af te leiden dat eerst de relatieve drukval DP/Pini beschouwd dient te worden. Indien deze onder de

grenswaarde van 28% ligt, is de kans op een aardbeving verwaarloosbaar. Indien de relatieve drukval hoger is dan 28%, dan dient de breukdichtheid B beschouwd te worden. Afhankelijk van de waarde voor B is de analyse klaar ($B < 0,86$) en de kans op een aardbeving verwaarloosbaar, of de volgende parameter (E-ratio; relatieve stijfheid van het overliggende gesteente ten opzichte van het reservoirsteente) dient beschouwd te worden. Afhankelijk van de waarde voor de E-ratio is de kans op aardbevingen verwaarloosbaar, gelijk aan 19% of gelijk aan 42%.

Tabel 2.1 Kans op aardbeving volgens de DH AIS methode.

DP/Pini	B	Eratio	Kans
< 28%	→		Verwaarloosbaar
> 28%	→ < 0.86	→	
	→ > 0.86	→ < 1.01	Verwaarloosbaar
		→ > 1.01 & < 1.33	0.19
		→ > 1.33	0.42



Figuur 2.2 Beslisstructuur voor de seismische risicoanalyse volgens de DH AIS methode.

De beslisstructuur met betrekking tot de seismische risicoanalyse is weergegeven in Figuur 2.2. In stap 1A en 1B wordt een screening op de kans op aardbevingen uitgevoerd (conform Tabel 2.1) en de potentieel maximale magnitude bepaald. Dit is de magnitude van een aardbeving als alle opgebouwde energie in één keer zou vrijkomen. Op basis van een schatting van de potentieel maximale magnitude is het gasveld ingedeeld in een categorie (I, II of III). Bij categorie I volstaat monitoring met het huidige geofon en accelerometer netwerk van het KNMI. In de 'Methodiek voor risicoanalyse over geïnduceerde bevingen door gaswinning' (SodM, 2016) is aangegeven welke monitoringsverplichtingen, beheersmaatregelen en onderzoekverplichtingen verbonden zijn aan de andere twee categorieën (II en III). De

categorie heeft dus gevolgen voor welke vervolgstappen nodig zijn voor het winningsplan en de exploitatie.

De afleiding van de aardbevingsrisico's voor het N05-A-gasveld en omliggende prospects is beschreven in hoofdstuk 4.

2.2.2 Prognose bodemdaling

De prognose van de bodemdaling als gevolg van de gaswinning is gebaseerd op de relatie tussen de afnemende poriëndruk in het depleterend reservoirgesteente en de daardoor optredende compactie van dat gesteente. De volumevermindering vertaalt zich in een bodemdalingskom aan de oppervlakte.

Bij de prognose van de bodemdaling wordt uitgegaan van het maximale gaswinningsscenario, beschreven in § 2.1. De winningsvergunning voor N04-N05-N08 is toegekend op 24 juli 2019 en heeft een looptijd van 30 jaar. Om het effect van bodemdaling zo goed mogelijk te simuleren is de gemodelleerde productieperiode langer dan de looptijd van deze winningsvergunning. De verwachte productiestop zal voor het einde van de winningsvergunning liggen.

De berekening van de bodemdalingskom voor het N05-A-gasveld en omliggende prospects is beschreven in hoofdstuk 5.

3 Gegevens

3.1 Algemeen

Er zijn twee belangrijke bronnen beschikbaar om de gesteentemechanische parameters, zoals Young's modulus E , Poisson's ratio ν , Biot coëfficiënt α en compactiecoëfficiënt C_m ter plaatse van het reservoir en de bovenliggende gesteenten in te schatten:

1. Verschillende boringen geplaatst in de regio, waarin boorgatmetingen zijn opgenomen en routine kernanalyses zijn uitgevoerd. Deze geven de *in situ* gemeten waarden van bijvoorbeeld dichtheid en de seismische snelheden V_P en V_S . Uit deze parameters kunnen de benodigde gesteentemechanische parameters worden afgeleid.
2. Gesteentemechanische parameters zijn in het laboratorium gemeten door proeven onder bepaalde druk regimes te doen op monsters uit boorkernen. Het gesteente is van een grote diepte naar de oppervlakte gebracht en betreft een klein volume van het reservoir.

Deze twee bronnen samen maken het mogelijk om een bandbreedte te definiëren van de gesteentemechanische parameters.

3.2 Uit akoestische boorgatmetingen en routine kernanalyse

Bij de start van het onderzoek waren er boorgatmetingen beschikbaar van de boring in het studiegebied (N05-01-S1) en porositeitsmetingen uit routine kernanalyses van de nabijgelegen boring N04-02 (via NLOG.nl). Tijdens het onderzoek zijn aanvullende boorgatmetingen beschikbaar gekomen van N05-01-S3, N07-04A en van een Duitse put P1A. De gegevens uit deze laatste vier putten zijn gebruikt om de bandbreedte van C_m -waarden af te leiden. Verder is de bandbreedte aan gemeten en gekalibreerde compactiecoëfficiënten van de Amelandvelden, gepubliceerd in de documentatie bij de winningsplannen op NLOG.nl, bij de data betrokken.

Om C_m te berekenen uit de boorgatmetingen is gebruik gemaakt van de volgende formules. De dynamische Young's modulus (E_{dyn}) kan berekend worden door gebruik te maken van Eissa & Kazi (1988):

$$E_{dyn}(GPa) = 1 * 10^{-9} \cdot \left[\frac{\rho V_s^2 * (3V_p^2 - 4V_s^2)}{V_p^2 - V_s^2} \right] \quad (1)$$

met dichtheid ρ in kg/m^3 en seismische snelheden V_p en V_s in m/s . De statische Young's modulus (E_{stat}) is berekend uit E_{dyn} volgens Eissa & Kazi (1988):

$$E_{stat}(GPa) = 0,74 * E_{dyn}(GPa) - 0,82 \quad (2)$$

Vervolgens kan de compactiecoëfficiënt berekend worden door gebruik te maken van E volgens:

$$C_m = \frac{(1+\nu)(1-2\nu)}{E(1-\nu)} \quad (3)$$

met ν de Poisson's ratio.

De kleinste waarde voor de compactiecoëfficiënt op basis van akoestische en dichtheidsboorgatmetingen voor het Rotliegend reservoir is afgeleid uit de dynamische Young's modulus E_{dyn} . Per boring is de gemiddelde waarde voor E_{dyn} voor het reservoir berekend door de E_{dyn} -waarden volgens formule (1) over het diepte-interval van het reservoir te middelen. Vervolgens is de gemiddelde E_{dyn} van de vier boringen berekend en met formule (3) omgezet in C_m . De C_m uitgaande van E_{dyn} is gelijk aan $0,021 \text{ GPa}^{-1}$.

De grootste waarde voor de compactiecoëfficiënt is de waarde gebaseerd op de relatie met de porositeit uit routine kernanalyse. Met deze methodiek bedraagt de C_m $0,054 \text{ GPa}^{-1}$ voor boring N04-02 en $0,046 \text{ GPa}^{-1}$ voor boring N05-01-S1. We hebben de C_m van N04-02 gebruikt als maximale compactiecoëfficiënt voor de bandbreedte in deze studie.

Ten slotte is een middenwaarde afgeleid uit de statische Young's modulus E_{stat} , die met formule (2) is omgerekend uit E_{dyn} . De middenwaarde voor C_m bepaald met formule (3) en E_{stat} is gelijk aan $0,029 \text{ GPa}^{-1}$. De bandbreedte van compactiecoëfficiënten voor het Rotliegend-reservoir van het N05-A-gasveld en omliggende prospects uit de akoestische en dichtheidsboorgatmetingen is weergegeven in Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Samenvatting van de in de berekeningen gebruikte compactiecoëfficiënten op basis van de boorgatmetingen en routine kernanalyse.

Bron	Gemiddelde van boorgatmetingen N05-01-S1, N05-01-S3, N07-04A en P1A	Gemiddelde van boorgatmetingen N05-01-S1, N05-01-S3, N07-04A en P1A	Routine kernanalyse van N04-02
Uitgangsgrootheid	E_{dyn}	E_{stat}	Porositeitsdata
C_m [GPa^{-1}]	0,021	0,029	0,054

3.3 Uit gesteentemechanisch onderzoek

3.3.1 Methodiek voor bepaling van gesteentemechanische eigenschappen

Om de compactie van het reservoir in te schatten bij een vaste drukverlaging kan gebruik worden gemaakt van de formule (Fjaer, 2008):

$$\frac{\Delta h}{h} = C_m \alpha \Delta p_f \quad (4)$$

met Δh de verandering in reservoirdikte, h de reservoirdikte, α de Biot-coëfficiënt, C_m de compactiecoëfficiënt en Δp_f de verandering in poriedruk. Slechts een deel van de drukverlaging komt tot uitdrukking in de compactie van het gesteente. Dit effect wordt beschreven door de Biot-coëfficiënt α . Als $\alpha = 1$, dan wordt alle drukverlaging omgezet in compactie van het gesteente. Bij een lagere α is bij eenzelfde drukverlaging de compactie geringer. Voor een constante drukverlaging en constante dikte van het reservoir is de bodemdaling derhalve afhankelijk van het gecombineerde effect van C_m en α .

Naast de inschatting van de compactiecoëfficiënt uit akoestische en dichtheidsboorgatmetingen (sectie 3.2), kunnen relevante parameters ook worden achterhaald door laboratoriummetingen uit te voeren op monsters die via boringen op diepte zijn genomen, zogenaamde plugs. Er zijn verschillende manieren om de gesteenteparameters te meten en af

te leiden. In een standaardbenadering kan de compactiecoëfficiënt berekend worden uit laboratoriumresultaten volgens formule (3).

De Biot-coëfficiënt α kan eveneens bepaald worden uit laboratoriumproeven. Dit is echter een moeilijk te bepalen parameter met een grote onzekerheid. C_m kan ook in het laboratorium gemeten worden. Tezamen geven α en C_m dan aan in hoeverre drukverlaging in het reservoir zich vertaalt in bodemdaling (formule 1). Het gecombineerde effect van α en C_m kan ook *direct* gemeten worden in het laboratorium als de bulkcompressibiliteit bij constante hydrostatische druk C_{bp} (Hettema & de Pater, 1998). De relatie tussen de verschillende parameters is:

$$\alpha C_m = \alpha C_{bc} ust = C_{bp} ust \quad (5)$$

waarbij C_{bp} de bulkcompressibiliteit bij constante hydrostatische druk is, C_{bc} de bulkcompressibiliteit bij constante poriedruk en met ust (uniaxiale vervorming), gedefinieerd als:

$$ust = \frac{1+v}{3(1-v)} \quad (6)$$

Het verdient de voorkeur om het product van C_m en α direct uit de laboratoriumtests te bepalen. Dan wordt het effect van de totale spanning en de poriedruk op de compressibiliteit direct gemeten (Hettema & de Pater, 1998).

3.3.2 Gesteentemonsters-analyse boring N05-01-S1

Van twee niveaus binnen het reservoir zijn gesteentemonsters genomen en getest in het laboratorium door het Gesteinslabor Dr. Eberhard Jahns in Duitsland (Dietl, 2019). Plug PS02 is representatief voor 5% van het reservoir (met relatief hoge porositeit) en plug PS04 is representatief voor 95% van het reservoir (met gemiddelde porositeit). Per plug zijn er vier monsters geanalyseerd. Om de parameter voor het reservoir te bepalen is eerst per plug een gemiddelde berekend en vervolgens het gewogen gemiddelde waarbij 5% en 95% als gewichten zijn gebruikt. De twee relevante tabellen uit het rapport (Dietl, 2019) zijn opgenomen in bijlage A.

Uitgaande van de waarden voor C_{bp} en v in tabellen 5 en 6 van (Dietl, 2019), gewichten van 5% en 95% voor PS02 en PS04 en formules (3) en (4) bedraagt de waarde voor αC_m uit de pluggen $0,035 \text{ GPa}^{-1}$. Dit is te beschouwen als een "effectieve compactiecoëfficiënt". De waarde ligt in de buurt van de waarden bepaald uit de akoestische en dichtheidsboorgatmetingen (Tabel 3.1).

Om het gecombineerde effect van αC_m mee te nemen in de eenheidsbodemdalingsom, gaan we uit van een effectieve Young's modulus E^* , die is afgeleid uit:

$$E^* = \frac{3(1-2\nu)}{C_{bp}} \quad (7)$$

Deze effectieve E^* is niet gelijk aan de werkelijke Young's modulus van het materiaal, maar een rekenwaarde om het Biot-effect te kunnen verdisconteren in de eenheidsbodemdalingsom. De uit de pluggen afgeleide parameters zijn weergegeven in Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Relevante parameters voor de eenheidsbodemdalingssom uitgaande van resultaten uit het gesteenteonderzoek op de pluggen.

Parameter		Waarde	Opmerking
ν	Poisson's ratio	0,083	Gewogen gemiddelde uit laboratoriumtesten
u_{st}		0,395	Berekend met (6) en gewogen gemiddelde
C_{bp}	bulk compressibiliteit bij constante hydrostatische druk (1/GPa)	0,088	Gewogen gemiddelde uit laboratoriumtesten
E^*	Effectieve Young's modulus (GPa)	28,5	Nodig voor software eenheidsbodemdalingssom (Plaxis), berekend met (7)
αC_m	Effectieve compactie coëfficiënt (1/GPa)	0,035	Berekend uitgaande van in het laboratorium gemeten C_{bp}

3.4 Parameters voor de analyse

Voor de verschillende bronnen (boorgatmetingen, routine kernanalyse, geomechanische kernanalyse) hebben we de compactie ingeschat met formule (4) op basis van een gemiddelde dikte van 28 m en een gemiddelde drukval van 320 bar. De resultaten zijn weergegeven in Tabel 3.3. De schatting van de compactie in het reservoir op basis van de akoestische en dichtheidsboorgatmetingen varieert van 1,9 tot 4,8 cm en op basis van de plug data 3,1 cm.

Tabel 3.3 Parameters voor bodemdalingssom op basis van akoestische en dichtheidsboorgatmetingen op basis van formules (1)–(3) en op basis van de plugs, uitgaande van een drukval van 320 bar en een dikte van het reservoir van 28 m. De cursief weergegeven waarden zijn input voor de eenheidsbodemdalingssom (software Plaxis).

Parameter		Boorgatmetingen en routine kernanalyse			Plug (effectieve waarden)
E	Young's modulus (GPa)	41,9	29,9	16 ¹⁾	$E^* = 28,5$
ν	Poisson's ratio	0,22	0,22	0,22	0,084
α	Biot's coëfficiënt	1 ²⁾	1 ²⁾	1 ²⁾	-
C_m	Compactie coëfficiënt (1/GPa)	0,021	0,029	0,054	$C_m^* \alpha = 0,035$ ³⁾
Δh	Daling (centimeter)	1,9	2,6	4,8	3,1

1) Berekend uit C_m en ν met formule (3)

2) Conservatieve aanname

3) Effectieve compactiecoëfficiënt berekend volgens werkwijze Marc Hettema (Hettema & de Pater, 1998)

De waarden van de Young's modulus behoren bij de range van gekozen compactiecoëfficiënten en Poisson's ratio. Deze set van parameters worden gebruikt in de eenheidsbodemdalingssom (Plaxis, www.plaxis.com) om de daarbij horende bodemdaling te berekenen.

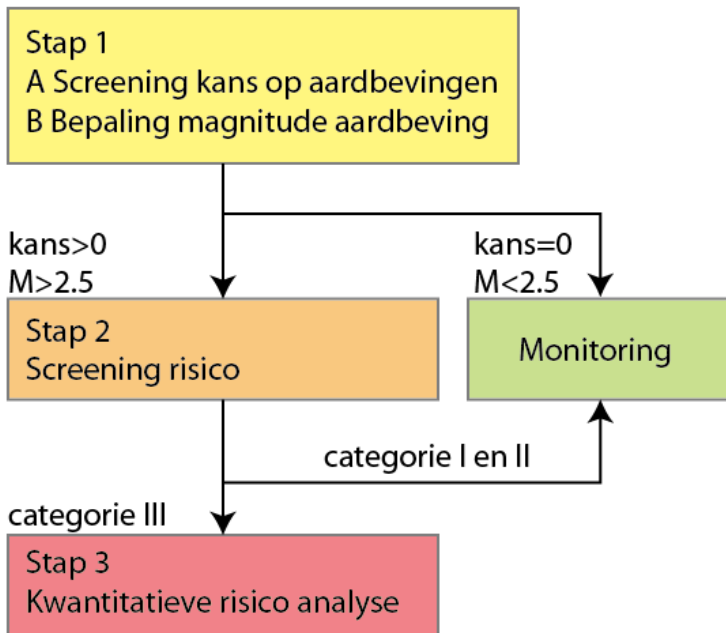
4 Seismisch risicoanalyse

4.1 Inleiding

Aardgaswinning leidt tot spanningsveranderingen in de bodem. Bij voldoende grote spanningsveranderingen worden de spanningen zo groot dat er plaatselijk bewegingen kunnen optreden langs breukvlakken. Spanningsveranderingen kunnen het gevolg zijn van drukverlagingen in het gasveld die resulteren in compactie van het reservoirgesteente. Bij breuken die door de interne stroefheid van het gesteente niet meebewegen kan op enig moment de spanning de weerstand overschrijden, waardoor de breuk weer gaat bewegen. Als dit plotseling en schoksgewijs gebeurt, resulteert dit in druk- en schuifspanningsgolven die naar het maaiveld migreren. Deze zorgen voor trillingen aan het oppervlak die als een aardbeving worden waargenomen. Omdat bij gasvelden de oorzaak menselijk ingrijpen is wordt er gesproken van geïnduceerde seismiciteit. De trillingen die als gevolg hiervan ontstaan aan de oppervlakte zijn voelbaar voor personen en kunnen schade aan constructies, gebouwen en inventaris en gronddeformaties tot gevolg hebben.

Om voor het winningsplan een schatting te maken van het aardbevingsrisico zijn berekeningen gemaakt aan de hand van het stroomschema uit de DHAIS methodiek. Het stroomschema in deze methodiek bestaat uit drie stappen (Figuur 4.1). Eerst wordt er een eerste evaluatie, de zgn. 'screening', uitgevoerd om te bepalen of verdere studie nodig is. Voor velden die op basis van deze berekeningen een verwaarloosbare kans hebben om geïnduceerde bevingen te genereren of waar geen bevingen sterker dan $M=2,5$ op de schaal van Richter zijn te verwachten, zijn geen aanvullende onderzoekstappen noodzakelijk en volstaat monitoring met het bestaande KNMI-netwerk. Voor velden die niet voldoen aan de eerste screening wordt overgegaan tot de tweede stap in de analyse. Hiermee wordt de risicocategorie bepaald. In het geval van categorie I en II is alleen monitoring nodig. In het geval van categorie III dient een kwantitatieve risicoanalyse uitgevoerd te worden.

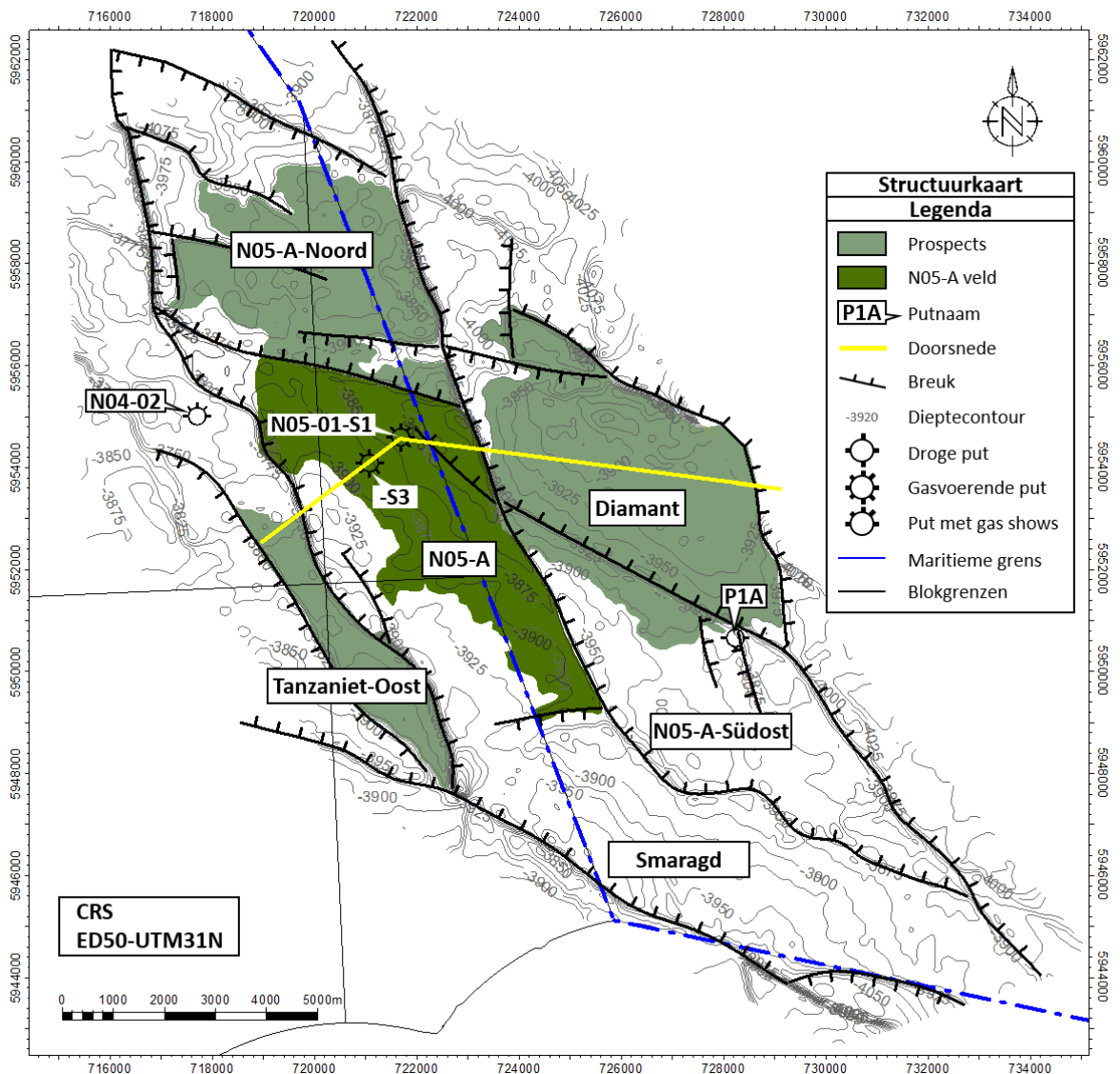
Bij de analyse conform DHAIS is uitgegaan van het gasvoerende deel van het reservoir, zoals weergegeven in Figuur 4.2.



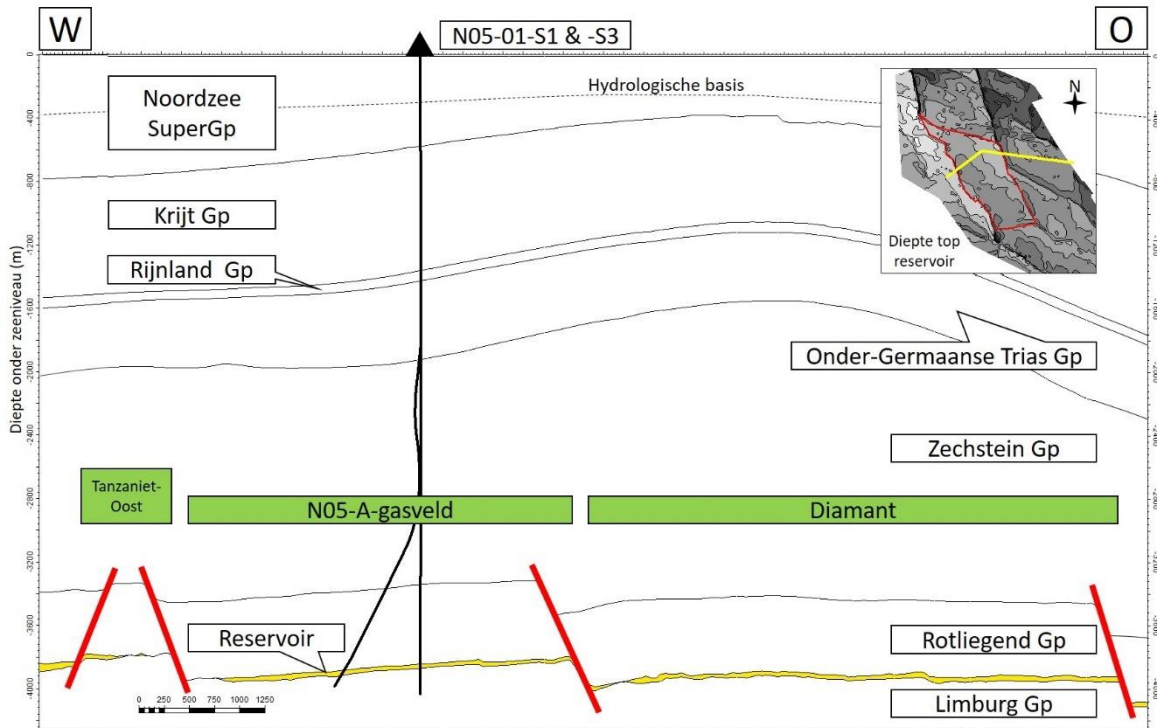
Figuur 4.1 Beslisstructuur voor de seismische risicoanalyse volgens de DHAS methode.

4.2 Breuken en stratigrafie

Het reservoir bevindt zich in de Rotliegend Groep (Slochteren Fm) op een diepte die varieert tussen 3700 en 4100 m. Breuken verdelen deze formatie in verschillende blokken (Figuur 4.2). Het Rotliegend is onderverdeeld in het reservoir met daarboven de Silverpit Formatie. De geologische doorsnede WZW-ONO van het gebied (Figuur 4.3) toont grote laterale verschillen in de dikte van de Zechstein Groep en van de North Sea Supergroep. Figuur 4.4 biedt een overzicht van de breuken in het N05-A en prospectsgebied.

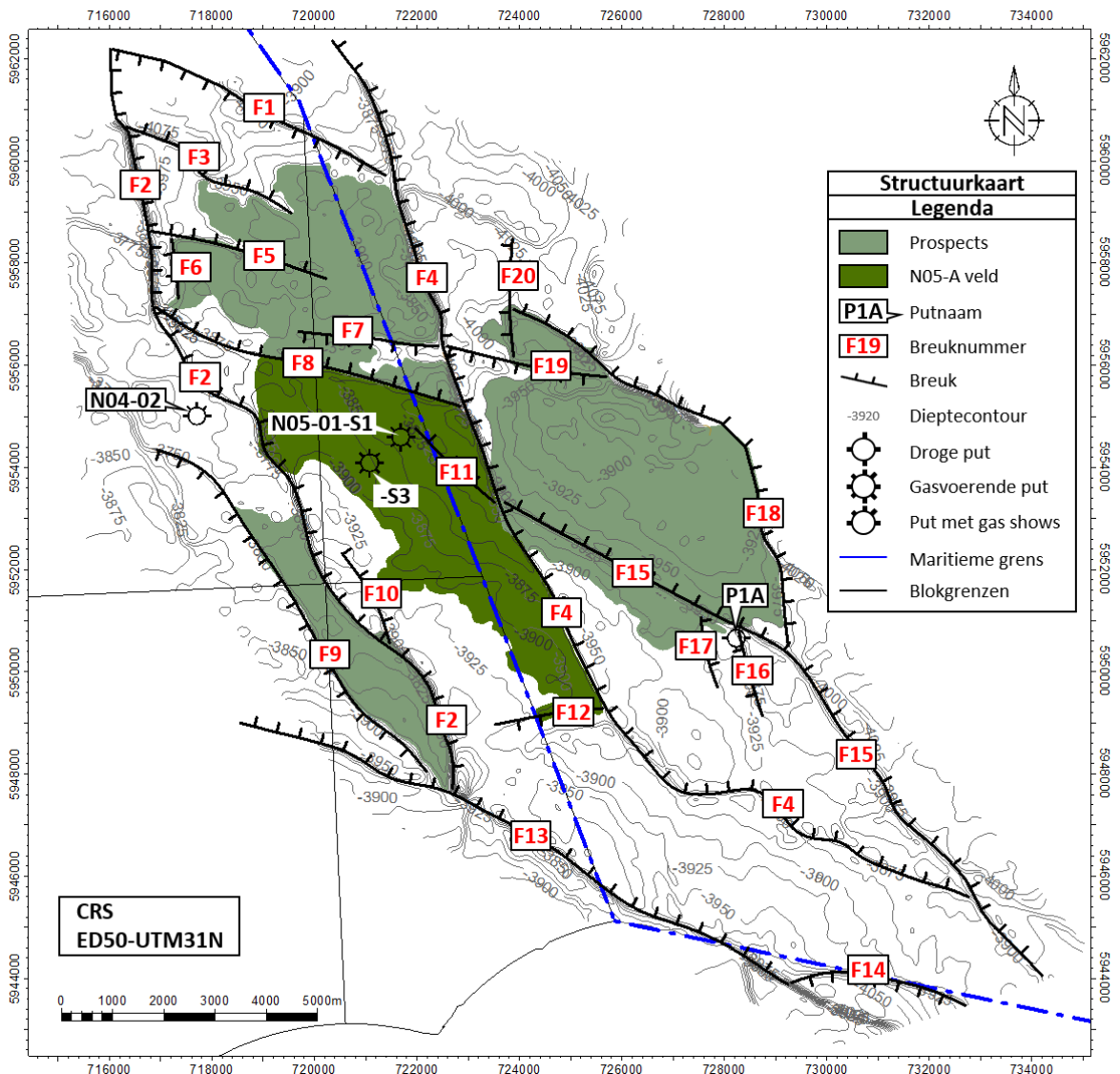


Figuur 4.2 Dieptekaart van de top van het reservoir van het N05-A voorkomen en de vier omliggende prospects, met daarop in groen aangegeven het gasvoerende gedeelte van de voorkomens en de locatie van de dwarsdoorsnede Figuur 4.3. Bron: ONE-Dyas.



Figuur 4.3 Geologische doorsnede door het gebied (bron: ONE-Dyas). De ligging van de doorsnede is weergegeven in de inzet en in Figuur 4.2.

Alle prospects in het gebied zijn omringd door breuken (Figuur 4.4). De reservoirs in de prospects worden gemodelleerd als gas- en watervoerend, met de uitzondering van Smaragd (alleen water). Het Gas-Water-Contact (GWC) is door ONE-Dyas op -3910 m gepostuleerd in het N05-A-gasveld en in prospect N05-A-Südost, op -3920 m in N05-A-Noord, op -3840 m in Tanzaniet-Oost en op -3975 m in Diamant.



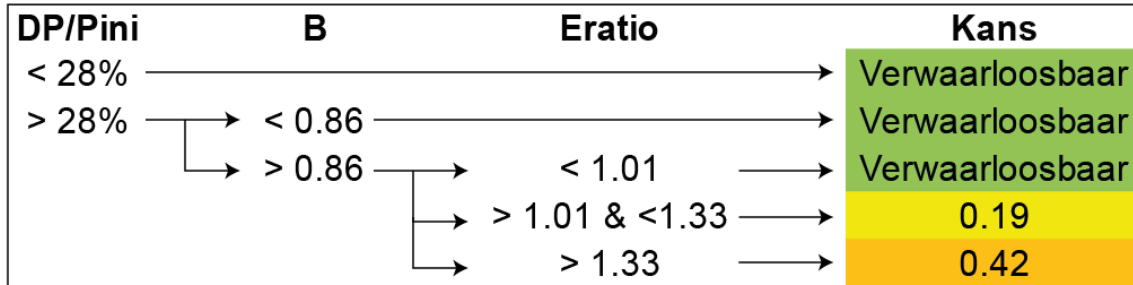
Figuur 4.4 Overzicht van de breuken met breuknummers in het studiegebied. Bron: ONE-Dyas.

4.3 Stap 1A: Screening kans op aardbevingen

Deze eerste evaluatie van de kans op aardbevingen is uitgevoerd met DHAIS. Op basis van drie daarin gestelde criteria voor de relatieve drukval en relatieve stijfheid kan de kans op beven worden geschat (Tabel 4.1). Deze criteria zijn de volgende:

- i. Relatieve drukval (DP/P_{ini})
- ii. Relatieve breukdichtheid ($B = \text{Breukoppervlakte}^{3/2} / \text{Brutogesteentevolume}$)
- iii. Relatieve stijfheid ($E\text{-ratio} = E_{\text{overburden}} / E_{\text{reservoir}}$)

Tabel 4.1 Kans op aardbeving volgens de DHAIS methode.



4.4 (i) Relatieve drukval

De gemiddelde druk aan het begin (P_{ini}) en de gemiddelde druk aan het einde van de depletie zijn gebruikt om de relatieve drukval te berekenen als DP/P_{ini} (DP = gemiddelde druk begin depletie minus gemiddelde druk einde depletie). Het einde van gasproductie van een put wordt verwacht bij een gasdruk van onder de 10 bar aan de bovengrondse putmond (Tubing Head Pressure) of bij het meeproduceren van een te grote hoeveelheid reservoirwater (liquid loading en water cut). Tabel 4.2 biedt een overzicht van de drukval en de relatieve drukval voor alle prospects en geeft aan dat DP/P_{ini} groter is dan 0,28 voor alle prospects. Volgens de kansclassificatie beschreven in Tabel 4.1 hangt de kans op beven af van de breukdichtheid en de relatieve stijfheid. Deze zijn in § 4.5 en 4.6 onderzocht.

Tabel 4.2 Overzicht van de verwachte relatieve drukval in het N05-A-gasveld en omliggende prospects. Overschrijdingen van de grenswaarde van 0,28 zijn dikgedrukt weergegeven.

	N05-A	N05-A-Noord	N05-A-Südost	Tanzaniet-Oost	Diamant
P_{ini}	466	468	466	458	471
DP	429	416	211	331	412
DP/P_{ini}	0,92	0,89	0,45	0,72	0,87

4.5 (ii) Breukdichtheid

De breukdichtheid van het reservoir B is in de DHAIS methode gedefinieerd als:

$$B = \frac{\text{breukoppervlakte}^{3/2}}{\text{brutogesteentevolume}} = \frac{l_b^{3/2} h^{3/2}}{Ah} \quad (8)$$

- waarin: h = de minimale waarde van de maximale dikte van de gaskolom van het voorkomen en de gemiddelde dikte van het gasvoerende reservoir
 l_b = totale breuklengte van de intra-reservoir breuken en randbreuken van het voorkomen binnen de GWC contour
 A = het oppervlakte van het voorkomen [m²] binnen de GWC contour.

Bij zowel de breukoppervlakte als het brutogesteentevolume is uitgegaan van het gasvoerende deel van het reservoir. De breuklengtes, het oppervlakte van het gaswatercontact, de maximale hoogte van de gaskolom en de gemiddelde dikte van het reservoir zijn in GIS kaarten opgemeten. Deze GIS kaarten komen overeen met de kaarten in het winningsplan. De breuklengtes van de individuele breuken zijn opgenomen in Tabel 4.3.

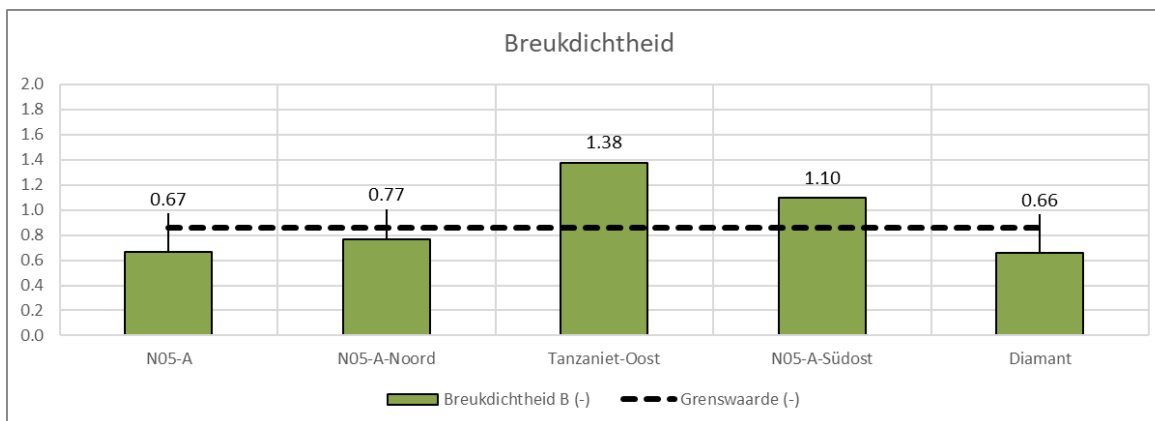
Op basis van formule (8) is de breukdichtheid B uitgerekend voor het N05-A-gasveld en de omliggende prospects (Tabel 4.4 en Figuur 4.5). De grenswaarde van 0,86 wordt overschreden voor Tanzaniet-Oost en voor N05-A-Südost.

Tabel 4.3 Overzicht breuklengtes voor N05-A en de omliggende prospects

Prospect	Breuk	Breuklengte [km]
N05-A-Noord Totale breuklengte = 16.85 km	F1	0
	F2	0
	F3	1,6
	F4	4,1
	F5	3,1
	F6	1,15
	F7	2,8
	F8	4,1
Tanzaniet-Oost Totale breuklengte = 12.6 km	F2	6,1
	F9	6,5
N05-A Totale breuklengte = 16.8 km	F2	2,3
	F4	6,5
	F8	4,1
	F10	0,5
	F11	2,1
	F12	1,3
N05-A-Südost Totale breuklengte = 6.7 km	F4	1,1
	F15	5,1
	F16	0
	F17	0,5
Diamant Totale breuklengte = 18.3 km	F4	0,7
	F15	5,2
	F18	9,3
	F19	2,0
	F20	1,1

Tabel 4.4 Overzicht breukoppervlaktes, volumes en berekende breukdichtheden voor N05-A en de omliggende prospects.

Eigenschappen	N05-A	N05-A-Noord	Tanzaniet-Oost	N05-A-Südost	Diamant
Breuklengte binnen GWC (m) (l_b)	1,7E+04	1,7E+04	1,3E+04	6,7E+03	1,8E+04
Breukoppervlakte (m ²) ($h l_b$)	4,6E+05	4,6E+05	3,7E+05	2,1E+05	5,3E+05
Oppervlakte GWC (m ²) (A)	1,7E+07	1,5E+07	5,6E+06	2,8E+06	2,0E+07
Bruto gesteentevolume binnen GWC (m ³) (Ah)	4,73E+08	4,02E+08	1,63E+08	8,52E+07	5,81E+08
Gemiddelde reservoir dikte (m) (h)	28	27	29	31	29
Breukdichtheid (-) (B)	0,67	0,77	1,38	1,10	0,66
Grenswaarde (-)	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86



Figuur 4.5 Breukdichtheid B voor het N05-A-gasveld en omliggende prospects. De grenswaarde van 0,86 is aangegeven.

4.6 (iii) Relatieve stijfheid

De gemeten seismische snelheid en bulkdichtheid in de verschillende boringen (bron: ONE-Dyas) en de VELMOD-kaarten (TNO, Pluymaekers et al., 2017) zijn gebruikt om de relatieve stijfheid te berekenen volgens:

$$E_{ratio} = \frac{E_{overburden}}{E_{reservoir}} \quad (9)$$

waar de $E_{overburden}$ de statische Young's modulus van de overburden is en $E_{reservoir}$ de statische Young's modulus van het Rotliggend reservoir.

4.6.1 DHAIS

De E-ratio is in de oorspronkelijke DHAIS studie (van Eijs et al., 2004) gedefinieerd. De gegevens van de statische eigenschappen zijn hierin gemiddeld per laagpakket. Er is bijvoorbeeld één gemiddelde waarde bepaald voor het Ten Boer Laagpakket (ROCLT), hoofdzakelijk bestaande uit kleisteen. De E-ratio voor een Rotliegend (Slochteren) reservoir in combinatie met het Ten Boer Laagpakket overburden, is volgens de statistiek van de DHAIS methode gelijk aan 1,28. Deze waarde wordt vervolgens gebruikt in alle voorkomens waar het Ten Boer Laagpakket de veronderstelde seal en dus overburden is. (paragraaf 2.2.2 van Eijs et al., 2004). De E-ratio voor een Rotliegend (Slochteren) reservoir in combinatie met het Ten Boer Laagpakket overburden, is volgens de statistiek van de DHAIS methode gelijk aan 1,28.

Indien uitgegaan wordt van deze situatie, dan duidt deze E-ratio op een bevingskans van 19% voor de prospects waarvoor de breukdichtheid B groter is dan 0,86. De breukdichtheid is groter dan 0,86 voor prospects Tanzaniet-Oost en voor N05-A-Südost. De tijdelijke leidraad schrijft voor om in deze situatie de potentieel maximale magnitude uitgaande van breukgeometrie en energiebalans te berekenen.

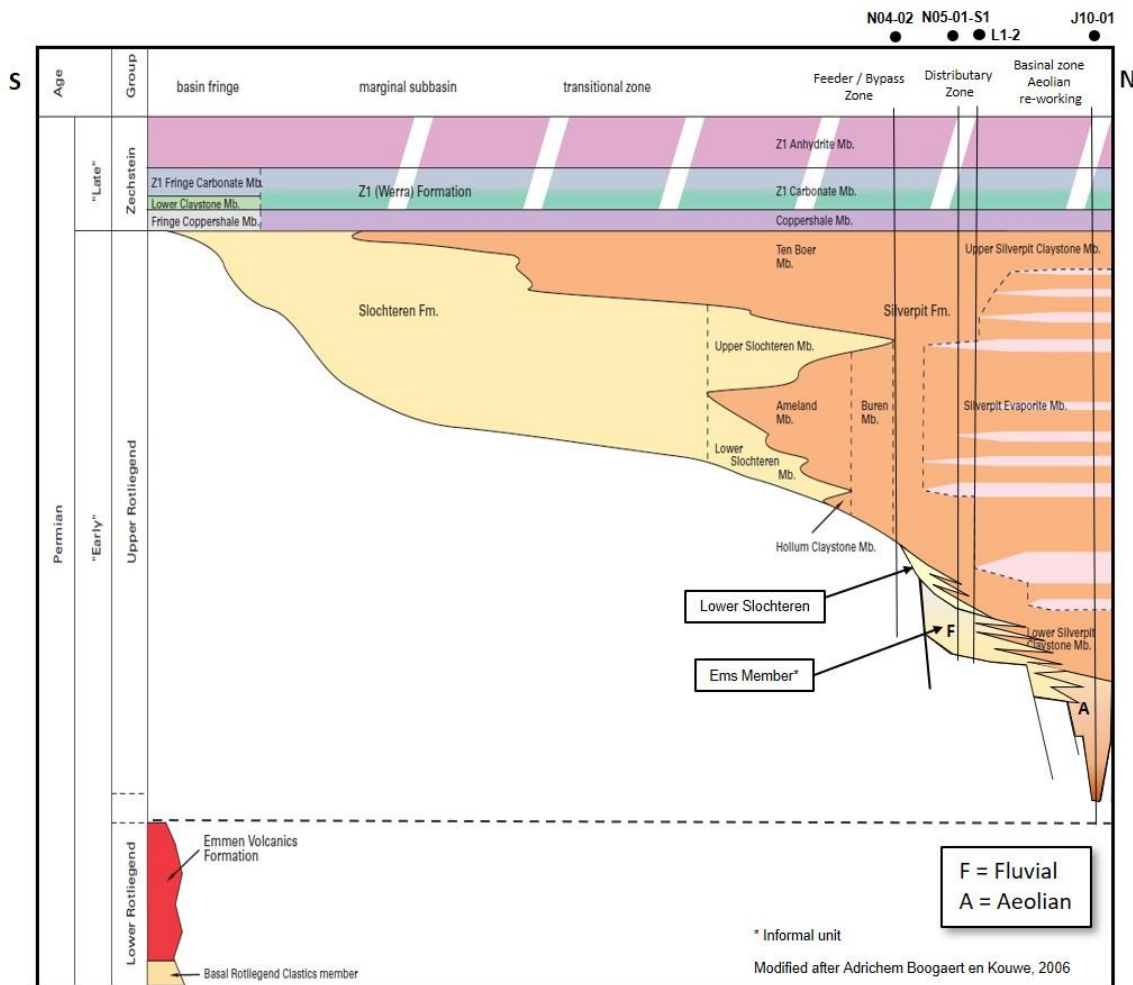
4.6.2 Aanvullende informatie

Tijdens het onderzoek voorafgaand aan het ontwikkelen van de prospects zijn er een aantal boringen geplaatst waarin boorgatmetingen (akoestiek en dichtheid) zijn uitgevoerd. Sinds het uitkomen van de oorspronkelijke DHAIS is VELMOD ook aangepast. Er zijn derhalve twee recente bronnen van aanvullende informatie beschikbaar om de Young's modulus ter plaatse van de prospects in te schatten:

- 1 boorgatmetingen; akoestisch en dichtheid
- 2 Via V_p uit het model VELMOD 3.1 (TNO, Pluymaekers et al., 2017. Beschikbaar via nlog.nl).

De meerwaarde van de akoestische en dichtheidsboorgatmetingen is dat alle parameters worden gemeten (V_p , V_s , dichtheid). De meerwaarde van VELMOD is dat het informatie geeft over de regionale variaties, inclusief gebieden waarin er geen in-situ data is. Er is in deze aanvullende analyse voor gekozen om de geomechanische gesteenteplog data niet te gebruiken, omdat deze alleen informatie geven over het reservoir en niet over de overburden, waardoor er geen zuivere vergelijking mogelijk is.

Uit de aanvullende boorinformatie blijkt dat de basale Rotliegend zandsteen ter plaatse van N05-A en omliggende prospects wordt afgedekt door een dik pakket Silverpit Claystone en Zechstein zout (Burgess et al, 2018, Figuur 4.6). De overburden ter plaatse van N05-A en omliggende prospects is gedefinieerd als de Silverpit Formatie en Zechstein Group samen. In de DHAIS studie wordt het Ten Boer Claystone Laagpakket als afdekkende laag gehanteerd. De geologische situatie ter plaatse van N05-A en omliggende prospects wijkt derhalve af van het uitgangspunt in DHAIS. In deze sectie is de aanvullende informatie gebruikt om de E-ratio in te schatten. De dynamische en statische E kan berekend worden door gebruik te maken van (Eissa & Kazi, 1988) volgens formules (1) en (2) in § 3.2.



Figuur 4.6 Chronostratigrafische weergave van formaties ter plaatse van N05-A en omliggende prospects. De ligging van de boringen is in de figuur aangegeven. Bron: Burgess et al. (2018).

E_{overburden} uit akoestische en dichtheidsboorgatmetingen

Aangezien de akoestische en dichtheidsboorgatmetingen informatie geven over de overburden en over het reservoir, is deze bron van data geschikt voor de vergelijking van E_{stat} (E-ratio). Tabel 4.5 biedt een overzicht van de gemiddelde waarden uit de verschillende boringen voor het reservoir, en voor de overburden (gegevens van het Silverpit- en Zechstein- diepte-interval). Hieruit zijn de gemiddelde E_{stat} van het reservoir en die van de overburden berekend met behulp van de in de putten beschikbare akoestische en dichtheidsboorgatmetingen. In alle boringen is de E-ratio van het Rotliegend-reservoir hoger dan de E-ratio van de overburden (Silverpit en Zechstein). Dit resulteert in een E-ratio overal kleiner dan de grenswaarde 1,01.

Tabel 4.5 Young's Modulus (E) van het reservoir en van de overburden (Silverpit en Zechstein) en de E-ratio, berekend in de N05-A ontdekkingsput (N05-01-S1) en de overige putten rondom N05-A en omliggende prospects.

Boring	E_{stat} Reservoir (GPa)	E_{stat} Overburden (GPa)	E-Ratio (-)
N05-01-S1	29,69	29,17	0,98
N05-01-S3	31,73	29,17 *	0,92
N07-04A	27,15	26,57	0,98
N07-04A-S1	30,95	27,95	0,90
P1A	29,69 *	26,55	0,89
Gemiddelde van de putten	29,88	27,56	0,91

* Voor E_{stat} overburden van N05-01-S3 en de E_{stat} van het reservoir van P1A is dezelfde waarde aangenomen als voor N05-01-S1, omdat deze niet uit de boorgatmetingen bepaald konden worden.

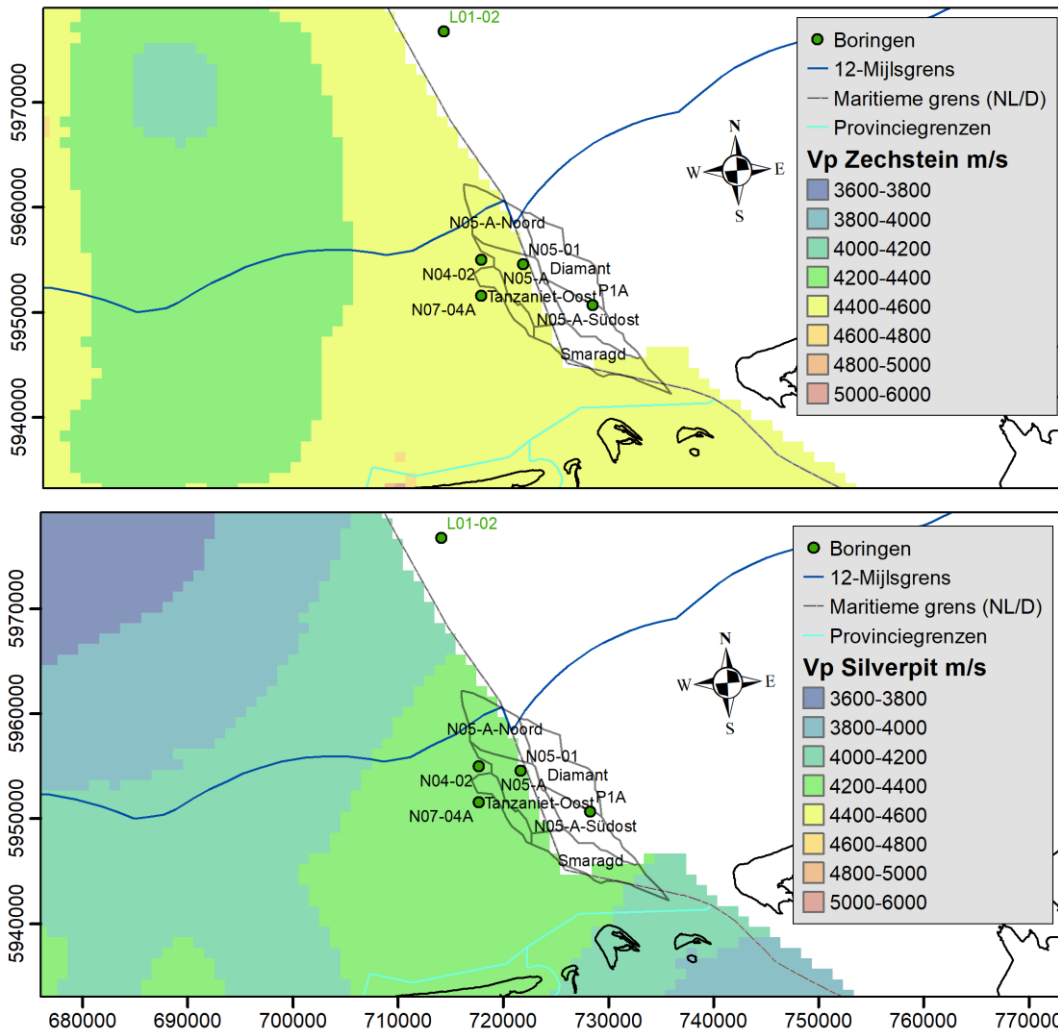
$E_{\text{overburden}}$ uit VELMOD

De waarden van $E_{\text{overburden}}$ kunnen berekend worden uit de VELMOD 3.1-dataset (Figuur 4.7), uitgaande van Zechstein en Silverpit als overburden. In de VELMOD-dataset is geen onderscheid gemaakt tussen Silverpit Formatie en het reservoir binnen de Rotliegend Group, omdat er geen N05-A-type reservoir is aangetroffen in deze boringen. Hierdoor zijn de VELMOD-parameters van de Rotliegend in feite gelijk aan de parameters van die van Silverpit Formatie. Ook zijn de nieuwste gegevens van de recente putten die in het kader van dit project zijn geboord en twee Duitse putten niet meegenomen in het VELMOD 3.1-model (Appendix B). Ten slotte houdt de huidige VELMOD 3.1-kaart op bij de NL-D grens en dekt daarmee niet het gehele onderzoeksgebied.

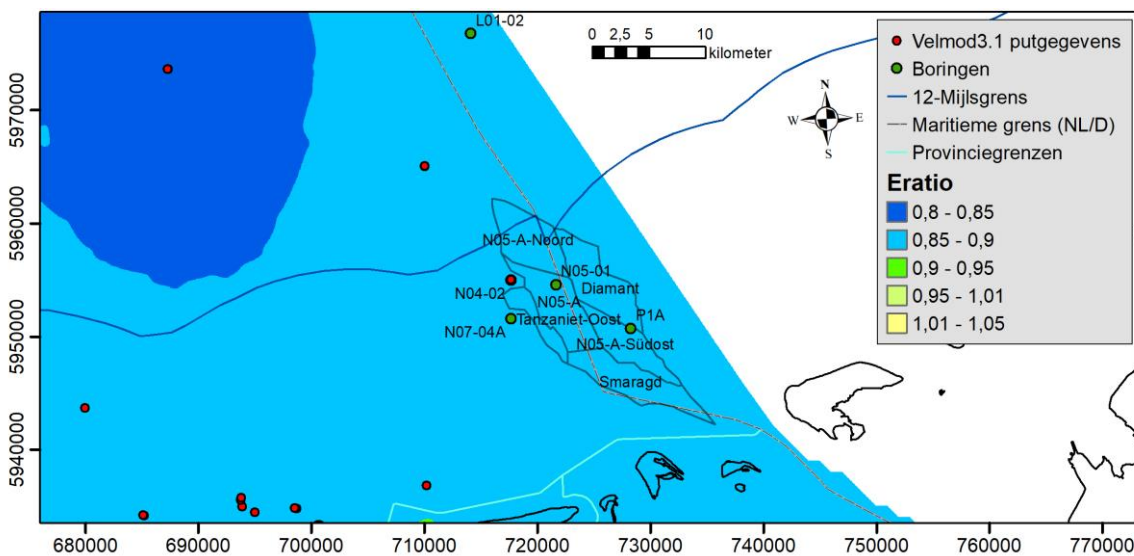
Om de $E_{\text{overburden}}$ te kunnen berekenen hebben we de volgende procedure toegepast:

1. Integratie van de nieuwe boorgatmetingen (V_p) in de seismische snelheidsgrids (VELMOD 3.1) (Figuur 4.7) (convergent interpolatie) waardoor de grids gebiedsdekkend en up-to-date zijn.
2. Statische Young's Modulus berekend (formules 1 en 2) voor Zechstein en voor Rotliegend (Silverpit). Hiervoor zijn een gemiddelde V_s en dichtheidswaarden gebruikt, omdat VELMOD 3.1 alleen V_p bevat.
3. Statische Young's modulus van de overburden berekend door het gemiddelde tussen Zechstein en Rotliegend (Silverpit) Young's moduli te nemen (Bijlage B).
4. Statische Young's Modulus van het reservoir is aangenomen als 29.88 GPa, namelijk de gemiddelde waarde uit de akoestische en dichtheidsboorgatmetingen voor de berekening van de E-ratio (Tabel 4.4).
5. Berekening van de E-ratio volgens formule 9 (Figuur 4.8).

De resultaten in Figuur 4.8 tonen aan dat de waarden voor de E-ratio in het hele gebied kleiner zijn dan 1,01.



Figuur 4.7 Seismische snelheid V_p (m/s) van de Zechstein Group (boven) en van de Rotliegend Group (Silverpit Formatie) (onder). Bron: VELMOD 3.1, TNO, beschikbaar via nlog.nl.



Figuur 4.8 E-ratio gebaseerd op VELMOD 3.1 (V_p en gemiddelde snelheid V_s) en aanvullende gegevens uit putten.

De waarde van de E-ratio is op twee verschillende manieren berekend gebruikmakend van aanvullende, lokale informatie. De ene manier op basis van waarden uit boorgatmetingen (Tabel 4.5). De andere manier is op basis van aannames over gemiddelde dichtheid en V_s en gebruikmakend van VELMOD voor de gebiedsdekkende kaart (Figuur 4.8). De twee methodes komen uit op dezelfde conclusie, namelijk dat de E-ratio kleiner is dan 1,01. Dit betekent dat op basis van de aanvullende informatie de kans op beven voor prospects Tanzaniet-Oost en voor N05-A-Südost verwaarloosbaar is.

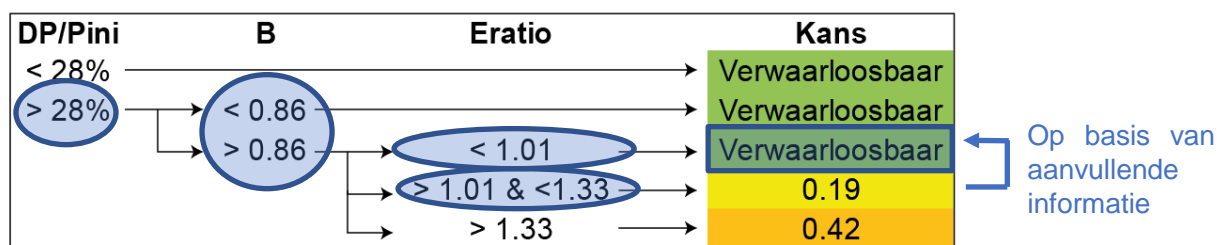
4.7 Samenvatting resultaten DHAIS stap 1A

De resultaten van de risicoscreening voor het N05-A-gasveld en de omliggende prospects zijn samengevat in

Tabel 4.6 en weergegeven in Figuur 4.9. Conform DHAIS is de kans op beven verwaarloosbaar voor N05-A, N05-A-Noord en Diamant en de kans op beven 19% voor Tanzaniet-Oost en voor N05-A-Südost. Op basis van de aanvullende informatie kan de kans op beven voor Tanzaniet-Oost en N05-A-Südost echter bijgesteld worden tot verwaarloosbaar. Dit betekent dat de kans op beven voor alle prospects verwaarloosbaar is. Desalniettemin zijn stappen 1B en 2 van de DHAIS voor Tanzaniet-Oost en N05-A-Südost uitgevoerd en beschreven in §4.8 en 4.9.

Tabel 4.6 Parameters ter bepaling kans op aardbevingen voor de verschillende prospects.

	N05-A	N05-A-Noord	N05-A-Südost	Tanzaniet-Oost	Diamant
Relatieve drukval	> 0,28	> 0,28	> 0,28	> 0,28	> 0,28
Breukdichtheid	< 0,86 Kans op beven verwaarloosbaar	< 0,86 Kans op beven verwaarloosbaar	> 0,86	> 0,86	< 0,86 Kans op beven verwaarloosbaar
Relatieve Stijfheid conform DHAIS	n.v.t	n.v.t	1,28 Kans op beven 19%	1,28 Kans op beven 19%	n.v.t
Relatieve Stijfheid op basis van aanvullende informatie	n.v.t	n.v.t	< 1,01 Kans op beven verwaarloosbaar	< 1,01 Kans op beven verwaarloosbaar	n.v.t



Figuur 4.9 Weergave van samenvatting van DHAIS resultaat stap 1A voor N05-A en omliggende prospects.

4.8 Stap 1B: Bepaling potentieel maximale magnitude

Ondanks dat uit aanvullende studie blijkt dat het risico op aardbevingen verwaarloosbaar is, is stap 1B uitgevoerd voor de twee prospects met een breukdichtheid groter dan 0,86 en een E-ratio conform DHAIS van groter dan 1,01, maar kleiner dan 1,33. Dit zijn Tanzaniet-Oost en N05-A-Südost.

De potentieel maximale magnitude van de sterkste beving kan worden bepaald volgens twee methodes: op basis van 1) breukgeometrie en 2) op basis van de energiebalans. Hierbij geldt de aanname dat alle energie vrijkomt bij slechts één beving. Vandaar dat dit de potentieel maximale magnitude wordt genoemd. In deze seismische risicoanalyse worden beide methoden toegepast, gebruik makend van de in SodM (2016) voorgestelde parameters. Voor een conservatieve benadering van het aardbevingsrisico wordt in de classificatie de hoogste waarde van de berekende potentieel maximale magnitude gebruikt.

4.8.1 Methode 1: Breukgeometrie

De maximale magnitude die beweging langs een breuk kan genereren kan worden afgeleid uit de maximale energie die vrijkomt wanneer de breuk over zijn gehele lengte plotseling slijpt, het zgn. seismische moment (Hanks en Kanamori, 1979; Kanamori, 2001). Het seismische moment is evenredig met de "stress drop", of de spanning, opgebouwd langs een breukvlak, die tijdens een beving is ontlast en het gemobiliseerde oppervlak van die breuk, volgens de relatie:

$$M_0 = \frac{3}{8} * \pi * \Delta\sigma * (w^2 * L) [Nm] \quad (10)$$

waarin $\Delta\sigma$ de stress drop (de spanning die tijdens een beving is gerelaxeerd) is en w en L respectievelijk de gemobiliseerde hoogte en lengte langs het slipvlak van de breuk zijn. Voor de stress drop wordt in de berekening een waarde van 5 MPa gebruikt, conform de leidraad (Staatstoezicht op de Mijnen, 2016). Voor de screening wordt voor de gemobiliseerde hoogte en lengte van een breuk aan het depleterende reservoir grenzende deel van de breuk beschouwd: de hoogte en lengte van de breuk zijn afgeleid van de aan het reservoirgesteente grenzende delen van de breuken in het maximale gaswinningsscenario. De potentieel maximale magnitude wordt volgens Hanks en Kanamori (1979) gegeven door de relatie:

$$M_w = \frac{2}{3} * \log_{10}(M_0) - 6,07 \quad (M_0 \text{ in } Nm) \quad (11)$$

Tabel 4.7 biedt een overzicht van het berekende seismische moment en de potentieel maximale magnitude voor alle breuken voor Tanzaniet-Oost en N05-A-Südost (maximale gaswinningsscenario). Op basis van de stress drop door slip langs de breuken is de potentieel maximale magnitude M_w gelijk aan 2,9.

Tabel 4.7 Seismisch moment en potentieel maximale magnitude berekend uit de dimensies van de breuken voor het Tanzaniet-Oost en N05-A-Südost. Per prospect is het maximum dikgedrukt.

Prospect	Breuk	Seismisch moment M_0 (N*m)	Magnitude M_w
Tanzaniet-Oost	F2	3,10E+13	2,9
	F9	3,30E+13	2,9
N05-A-Südost	F4	6,11E+12	2,5
	F15	2,83E+13	2,9
	F17	2,78E+12	2,2

4.8.2 Methode 2: Energiebalans

De tweede methode is gebaseerd op de energie die in het fysieke systeem is opgeslagen in de vorm van opgebouwde spanning door compactie die bij een geïnduceerde beving vrij kan komen. De drukafname door de depletie van het gas en de daardoor optredende compactie van het reservoirgesteente kan dan uitgedrukt worden in een hoeveelheid potentiële seismische energie. Slechts een percentage van deze energie zal vrijkomen in de vorm van een aardbeving. Kostrov (1974) heeft een eenvoudige relatie opgesteld tussen de volumeverandering van gesteente en de daardoor opgebouwde seismische energie, uitgedrukt in het seismische moment M_0 . SodM (2016) geeft voor de potentieel maximale magnitude:

$$M_w = \frac{2}{3} \left(\log_{10} \left(\frac{2\mu}{3} \alpha |\Delta V(t)| \right) - 9,1 \right) \quad (12)$$

waarin μ is de glijdingsmodulus, ΔV is de volumeverandering in het reservoir door compactie en α is de reductiefactor (gelijk aan 0,01, let op dat dit een andere α is dan de Biot coëfficiënt), aandeel seismische energie van totale potentiële energie. De glijdingsmodulus μ is berekend met:

$$\mu = \frac{E}{2 \cdot (1 + \nu)} \quad (13)$$

waarin E = Young's modulus en ν = Poissons ratio.

Voor Tanzaniet-Oost en N05-A-Südost zijn is de potentieel maximale magnitude bepaald waarbij uitgegaan is van de compactiecoëfficiënt uit de plug, het compactie volume bij de gemiddelde drukval en het volume van het reservoir (oppervlakte binnen GWC*gemiddelde dikte). De grootheid moment magnitude (M_w) is berekend formule (12) en de gegevens uit Tabel 4.8 en Tabel 4.9. Op basis van de berekende compactie kan er voldoende potentiële energie worden opgebouwd voor een aardbeving tot een potentieel maximale magnitude M_w van 2,7 (Tabel 4.9).

Tabel 4.8 Overzicht van de parameters gebruikt in methode 2.

Parameter	Beschrijving	Eenheid	Waarde uit plugs (effectieve waarden)
E	Young's modulus	GPa	$E^* = 28,5$
ν	Poisson ratio		0,083
μ	Glijdingsmodulus	GPa	13,2
α	Reductiefactor		0,01
C_m	Compactiecoëfficiënt	1/GPa	0,035 (= Biot* C_m)

Tabel 4.9 Overzicht van de eigenschappen van Tanzaniet-Oost en N05-A-Südost en van de potentieel maximale magnitude volgens de energiebalans op basis van compactiecoëfficiënt van de plug data ($C_m = 0,035$).

	Tanzaniet-Oost	N05-A-Südost
A (m ²)	5,56E+06	2,77E+06
h (m)	29	31
dp (Pa)	3,31E+07	2,11E+07
M_w	2,7	2,4

4.9 Stap 2: screening risico

De berekende potentiële maximale magnitude voor Tanzaniet-Oost en N05-A-Südost is groter dan 2,5. Daarom dient stap 2 uitgevoerd te worden om het risico van geïnduceerde aardbevingen verder vast te stellen (SodM, 2016). Op basis van een risico matrix worden de verschillende factoren semi-kwantitatief geanalyseerd. De factoren zijn verdeeld in:

de factoren die bepalen of een geïnduceerde beving kan resulteren in een sterke

grondbeweging (de invloedfactoren ondergrond,

- Tabel 4.10).
- de factoren die invloed hebben op de grootte van de mogelijke gevolgen (de invloedfactoren bovengrond, Tabel 4.11).

Op basis van de uitkomst per factor is een score toegekend. Deze scores van de individuele factoren wordt gesommeerd, zodat een totaalscore voor zowel de invloedfactoren ondergrond als de invloedfactoren bovengrond wordt bepaald. Deze worden genormaliseerd met het maximaal te behalen aantal punten voor ondergrond (14) en bovengrond (16). Vervolgens worden deze in de risicomatrix tegen elkaar uitgezet. Hiermee wordt de kwalitatieve risicocategorie bepaald (Figuur 4.11).

Tabel 4.10 Classificering van de invloedfactoren ondergrond (uit SodM, 2016).

	DHAIS	M	Ligging voorkomen	Opslingering
5		Alle methodes >4,5		
4	Bevend veld > 5 bevingen per jaar van $M \geq 1,5$	1 methode > 4,5 én/of Alle methodes 4,1 - 4,5		
3	Bevend veld < 5 bevingen per jaar van $M \geq 1,5$	1 methode 4,1 - 4,5 én/of Alle methodes 3,6 - 4,0		>60% slappe grond ($V_{s,30} = < 200\text{m/s}$) en/of >30% grondsoort die extra gevoelig zijn voor amplificatie, zoals veenlagen dikker dan 3m en slappe veenlagen met een dikte van 1m-3m gelegen op een stijve ondergrond.
2	P=42% Of Bevend veld $M < 1,5$	1 methode 3,6 - 4,0 én/of Alle methodes 3,1 - 3,5	Boven de lijn Amsterdam-Arnhem	30-60% slappe grond ($V_{s,30} = < 200\text{m/s}$) en/of 15-30% grondsoort die extra gevoelig zijn voor amplificatie, zoals veenlagen dikker dan 3m en slappe veenlagen met een dikte van 1m-3m gelegen op een stijve ondergrond.
1	P=19%	1 methode 3,1 - 3,5 én/of Alle methodes 2,6 - 3,0		10-30% slappe grond ($V_{s,30} = < 200\text{m/s}$) en/of 5-15% grondsoort die extra gevoelig zijn voor amplificatie, zoals veenlagen dikker dan 3m en slappe veenlagen met een dikte van 1m-3m gelegen op een stijve ondergrond.
0		1 methode 2,6 - 3,0 én/of Alle methodes $\leq 2,5$	Onder de lijn Amsterdam-Arnhem	<10 % slappe grond ($V_{s,30} = < 200\text{m/s}$) en/of < 5% grondsoort die extra gevoelig zijn voor amplificatie, zoals veenlagen dikker dan 3m en slappe veenlagen met een dikte van 1m-3m gelegen op een stijve ondergrond.

Tabel 4.11 Classificering van de invloedfactoren bovengrond (uit SodM, 2016).

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

Tabel 4.12 geeft de score van de ondergrond factoren. Hieronder volgt een uitleg voor de score.

- i. DHAIS: de kans op beving is volgens de DHAIS analyse 19% voor Tanzaniet-Oost en N05-A-Südost.
- ii. M: de berekende potentieel maximale magnitude is 2,9 volgens de ene methode en 2,7 volgens de andere methode.
- iii. Ligging: het veld ligt boven de lijn Amsterdam-Arnhem.
- iv. Slappe lagen: uit de analyse van boringen in het gebied (DINOloket) blijkt dat geen dikke (> 1 m) klei en veen lagen aanwezig zijn in het bovenste sediment pakket. Mogelijk zijn er plaatselijk wel dunne lagen aanwezig, maar het is waarschijnlijk dat het percentage van slappe lagen kleiner is dan 10 %.

De totale genormaliseerde score voor de ondergrond factoren is 0,29.

Tabel 4.12 Score per categorie ondergrond.

	Score
DHAIS	1
Magnitude	1
Ligging	2
Slappe lagen	0
Totaal genormaliseerd	4/14 = 0,29

Tabel 4.13 Score per categorie bovengrond.

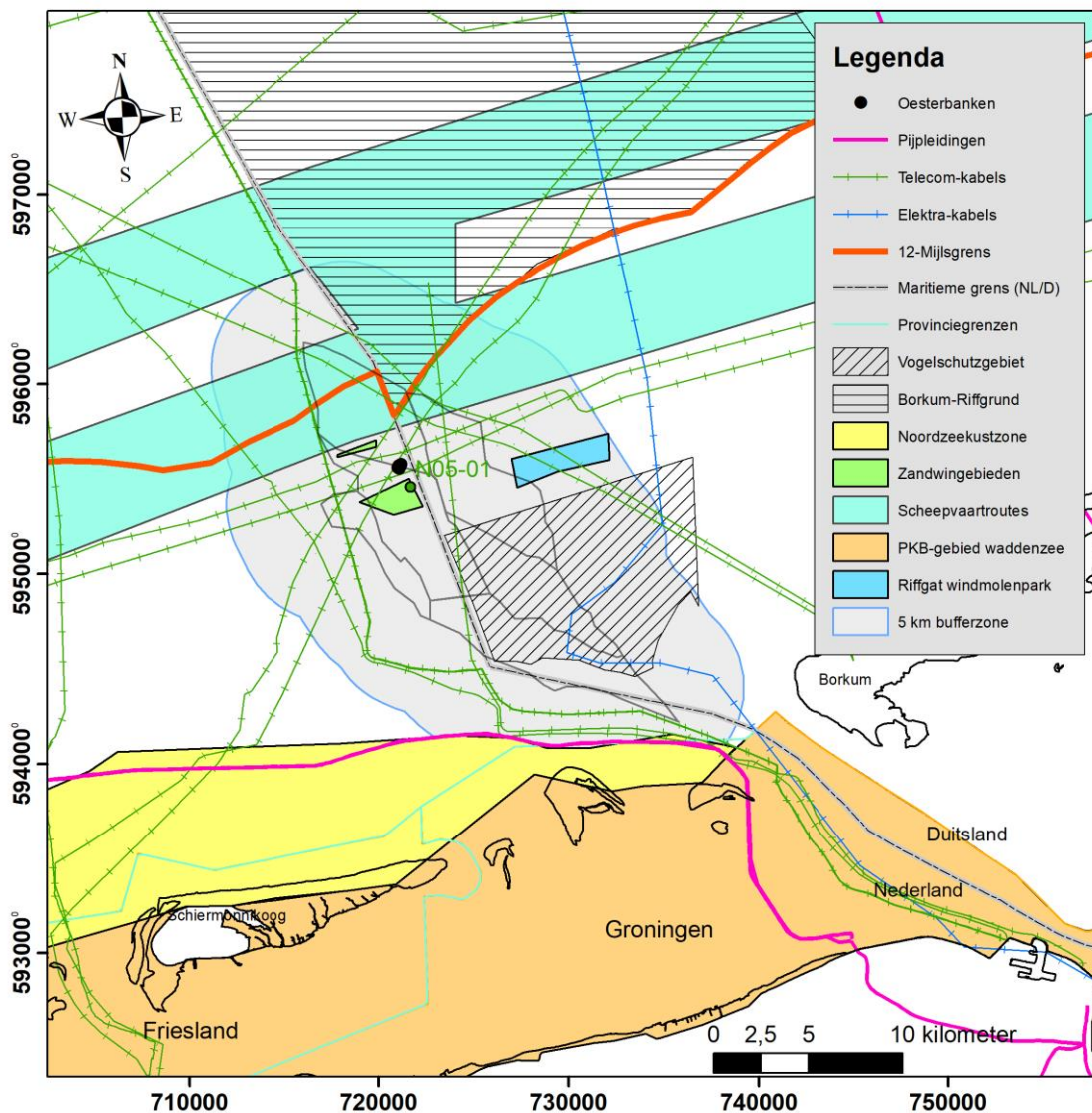
	Score
Bevolkingsdichtheid	0
Industriële inrichtingen	3
Specifieke gebouwen en vitale infrastructuur	0
Dijken	0
Totaal genormaliseerd	3/16 = 0,19

Bij de beschouwing van de bovengrondse aspecten, zijn de aanwezigheid van het windmolenpark, elektriciteits- en telecomkabels relevant (Figuur 4.10, Tabel 4.13). Hiervoor is een score 3 gegeven bij de categorie industriële inrichtingen. Overige objecten liggen meer

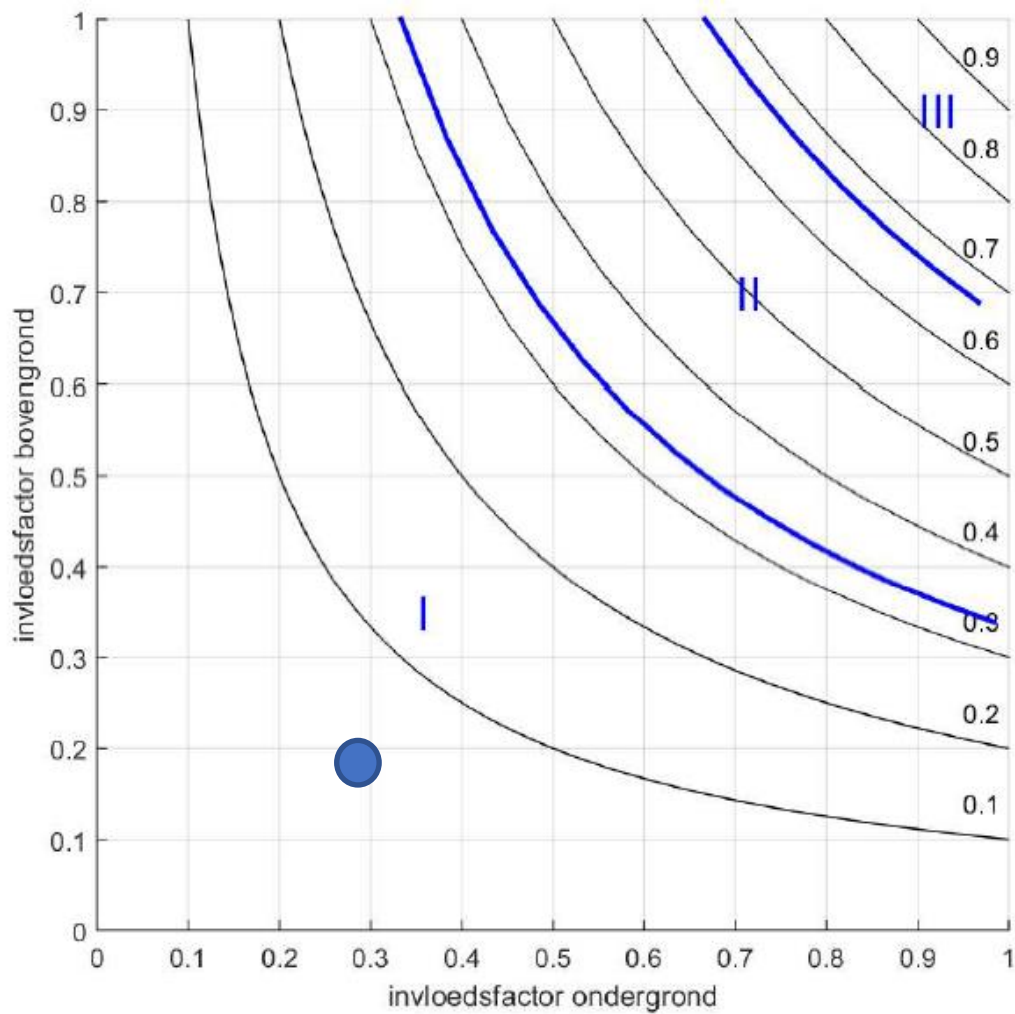
dan 5 km van het veld verwijderd. De genormaliseerde score voor de bovengrond bedraagt 0,19.

Op basis van de gecombineerde scores voor de ondergrond en de bovengrond valt het N05-A-gasveld en de omliggende prospects in de risicocategorie I (0,29 voor ondergrond en 0,19 voor bovengrond factoren, Figuur 4.11). Voor dit veld is geen kwantitatieve risicoanalyse (stap 3) nodig en kan worden volstaan met monitoring met het huidige gefoon- en accelerometer-netwerk van het KNMI. Hierbij wordt benadrukt, dat de kans op seismische activiteit verwaarloosbaar is.

Een mogelijk risico bij aardbevingen zijn tsunami's. Bij ondiepe bevingen (dat wil zeggen ondieper dan 20 km) wordt door experts geen rekening gehouden met tsunami's bij magnitudes kleiner dan 6 (pers. communicatie,).



Figuur 4.10 Omgevingselementen op en rond het N05-A-gasveld en de omliggende prospects. Industriële installaties in de vorm van een windmolenpark, een pijpleiding en enkele elektra- en telecom-kabels bevinden zich binnen de 5 km buffer gebied. Bron: ONE-Dyas.



Figuur 4.11 De risico matrix (SodM, 2016). De zwarte lijnen zijn lijnen van gelijk genormaliseerd risico. De verdeling in categorieën is gedaan op basis van $1/3$ en $2/3$ van het genormaliseerde risico. Het resultaat is weergegeven als een blauwe punt.

5 Bodemdalingstudie

5.1 Inleiding

De bodemdaling aan het maaiveld die veroorzaakt wordt door compactie van het reservoir wordt gemodelleerd door middel van de wiskundige methode van eindige elementen ('finite element analysis') m.b.v. Plaxis-software. Hierin wordt de daling van een aantal nucleus-reservoirs gesuperponeerd (de Lange & Luger, 2012). De nucleus-reservoirs met een eindige straal worden verdeeld over de totale oppervlakte van het gehele gasveld. In elke nucleus wordt de daling bepaald door het product van de drukkaling per tijdseenheid en de dikte van het compacterende gesteente (dPh) en de diepte/dikte van de overburden. De aanname bij de superpositie is dat de lagen horizontaal zijn en dat de vervorming van het gesteente lineair elastisch is. Het studiegebied wijkt van deze aannames af doordat in de West-Oostdoorsnede de lagen van de overburden sterk in dikte verschillen (Figuur 4.3). Ook is de Zechsteinzoutlaag zo dik dat dit mogelijk invloed heeft op de vervorming van de overburden. Omdat zout niet puur elastisch, maar in grote mate plastisch vervormt, is ook de invloed van de zoutlaag op de bodemdalingssom onderzocht.

De bodemdalingssom is berekend met het dPh (drukval x reservoirdikte) grid dat door ONE-Dyas geleverd is voor verschillende tijdstippen in het maximale gaswinningsscenario, beschreven in § 2.1. De winningsvergunning voor N04-N05-N08 is toegekend op 24 juli 2019 en heeft een looptijd van 30 jaar. Om het effect van bodemdaling zo goed mogelijk te simuleren is de gemodelleerde productieperiode langer dan de looptijd van deze winningsvergunning. De verwachte productiestop zal echter ruim voor het einde van de winningsvergunning liggen.

Vier bodemdalingsscenario's zijn doorgerekend met de vier verschillende compactiecoëfficiënten zoals beschreven zijn in § 3.4.

5.2 Eenheidsbodemdelingssom

5.2.1 Inleiding

Om de invloed van de variatie in laagdikte van de verschillende lagen over N05-A en de prospects te onderzoeken is uitgegaan van de laagopbouw zoals die door ONE-Dyas ter beschikking is gesteld. In een eerdere fase van het onderzoek zijn voor verschillende verticale doorsneden met de grootste verschillen in dieptes en diktes eenheidssommen gemaakt. Tevens is het effect van de afstand tot de rand van het rekenmodel onderzocht. Ten slotte is de invloed van de plastische vervorming van het Zechstein-zout op de schaal van het reservoir berekend in een aparte Plaxis-som.

5.2.2 De eenheidsbodemdelingssom

Met Plaxis zijn axiaal-symmetrische simulaties gemaakt voor een eenheidsreservoir met een straal van 113 m. In dit reservoir is een drukval opgelegd. Ten gevolge van de drukval ontstaat er bodemdaling in het omringende gebied. Om de invloed van randeffecten te bekijken zijn er naast simulaties van een modelgeometrie met een straal van 10 km, ook simulaties uitgevoerd voor een modelgeometrie met een veel grotere straal, namelijk 100 km. De parameters van de lagen boven en onder het reservoir zijn samengevat in Tabel 5.1. We zijn uitgegaan van de laagopbouw ter plaatse van N05-01-S1. In het model dient de laag onder het reservoir voldoende dik te zijn. We hebben hiervoor een dikte van 3000 m aangenomen. De parameters

voor het reservoir zijn weergegeven in Tabel 3.3. Er zijn vier simulaties van de eenheidssom gedraaid, met de invoerparameters uit Tabel 3.3 en een drukval van 400 bar.

In de doorsnede met de dikke zoutlaag (de oostelijke rand van het profiel in Figuur 4.3) liggen de maximale zakkings in de orde van 21-25 μm . De invloed van de dikte van de zoutlaag op de resultaten is beperkt, maar niet verwaarloosbaar. Omdat de laterale heterogeniteit in de laagdiktes geleidelijk verloopt, is op basis van deze sommen de configuratie met de grootste eenheidsdaling van de nucleus gekozen om de lineair elastische bodemdalingssommen voor de gevraagde scenario's te berekenen. De parameters waarmee de eenheidssommen zijn gemaakt zijn samengevat in Tabel 5.1. Hier zijn de waarden van E_{stat} voor de Zechstein Group en bovenliggende formaties berekend met Eissa&Kazi (1988) (formule (2) in § 3.2).

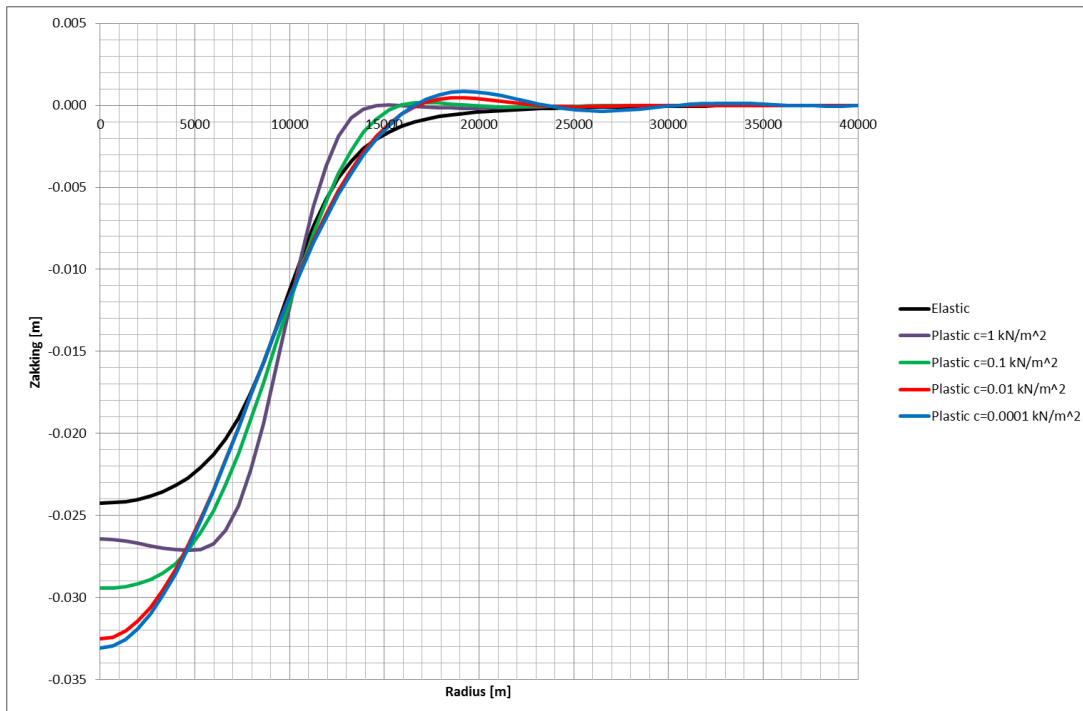
Tabel 5.1 Samenvatting van de parameters waarmee de eenheidsbodemdalingsommen zijn gemaakt.

Eenheid	Basis (m)	Dichtheid ρ (Mg m^{-3})	Poisson ν (-)	E_{stat} (GPa)
Zee/zeebodem	-26,0			
Tertiair	-564,2	2,00	0,38	1,5
Krijt	-1361,2	2,10	0,35	7,6
Onder Krijt	-1420,2	2,26	0,23	9,4
Trias	-1918,2	2,40	0,30	15,5
Zechstein	-3344,6	2,25	0,26	27,1
Basis Silverpit = Top Reservoir	-3831,5	2,62	0,26	27,2
Basis Reservoir = Top Carboniferous	-3862,5	2,54	Zie Tabel 3.3 in § 3.4 voor de 4 gebruikte cases	
Carboon	-6862,5	2,65	0,20	31,8

5.2.3 De invloed van de zoutlaag

De eenheidssommen geven ook inzicht in de grootte van de optredende maximale deviatorische spanning in het zout. Deze variëren in de eenheidssommen van 34 tot 141 kN/m^2 . Voor het gehele reservoir kan deze maximale deviatorische spanning cumulatief echter groter zijn. Hiervoor is een extra eenheidssom gemaakt waarbij voor de horizontale uitbreiding van de compacterende laag de werkelijke afmeting van het N05-A-gasveld en de omliggende prospects is gebruikt. Hierbij is de vervorming van het zout volledig plastisch gemodelleerd. Dit kan door in het geomechanisch model de cohesie c van het zout te verlagen.

In Figuur 5.1 is het effect van plastisch zout zichtbaar gemaakt. De zwarte lijn geeft het lineair elastisch gedrag weer. Naarmate het gedrag van de zoutlaag plastischer wordt, neemt de bodemdaling in het centrum toe. Bij gelijkblijvend bodemdalingsvolume zien we dat de randen van de bodemdalingssom steiler worden, waardoor de bodemdalingssom ook smaller wordt. De maximale deviatorische schuifspanningen in het zout treden dan op aan de grenzen van het reservoir. Uiteindelijk gaan de maximale daling en de schuifspanningen naar een maximumwaarde. De maximale deviatorische spanning in het zout is dan in de orde 300 kN/m^2 . Deze waarde is indicatief, omdat de laterale variaties in de laagopbouw en drukval niet zijn mee genomen. Deze indicatieve waarde is wel geschikt om de orde van grootte van de invloed op de bodemdalingssom in te schatten. Verwacht wordt dat bij deze orde van grootte van de schuifspanningen het aandeel van zoutkruip in de ontwikkeling van de bodemdalingssom gering zal zijn. Kruip kan wel voor een vertraging in de ontwikkeling van de bodemdalingssom zorgen.



Figuur 5.1 Effect van toenemende plasticiteit van de zoutlaag op de bodemdalingskom. De plasticiteit neemt toe naarmate de cohesieparameter verlaagd wordt. De bodemdaling in het centrum van de kom kan maximaal 35% hoger worden dan in de elastische berekening. De straal van de kom wordt kleiner.

5.3 Bodemdalingskom

5.3.1 Ontwikkeling in de tijd

De bodemdalingsberekeningen bestaan uit een oppervlakte-bodemdalings-grid die de bodemdalingskom weergeven rondom het depletierend N05-A-gasveld en de omliggende prospects. Twee situaties zijn doorgerekend:

1. Winning per prospect, met de meest waarschijnlijke compactiecoëfficiënt bepaald uit de gesteentemonsters van $0,035 \text{ GPa}^{-1}$ (Tabel 3.3).
2. Alle prospects zijn gasvoerend en er wordt gelijktijdige gas gewonnen uit alle prospects. Deze situatie is doorgerekend met een bandbreedte van compactiecoëfficiënten (Tabel 3.3).

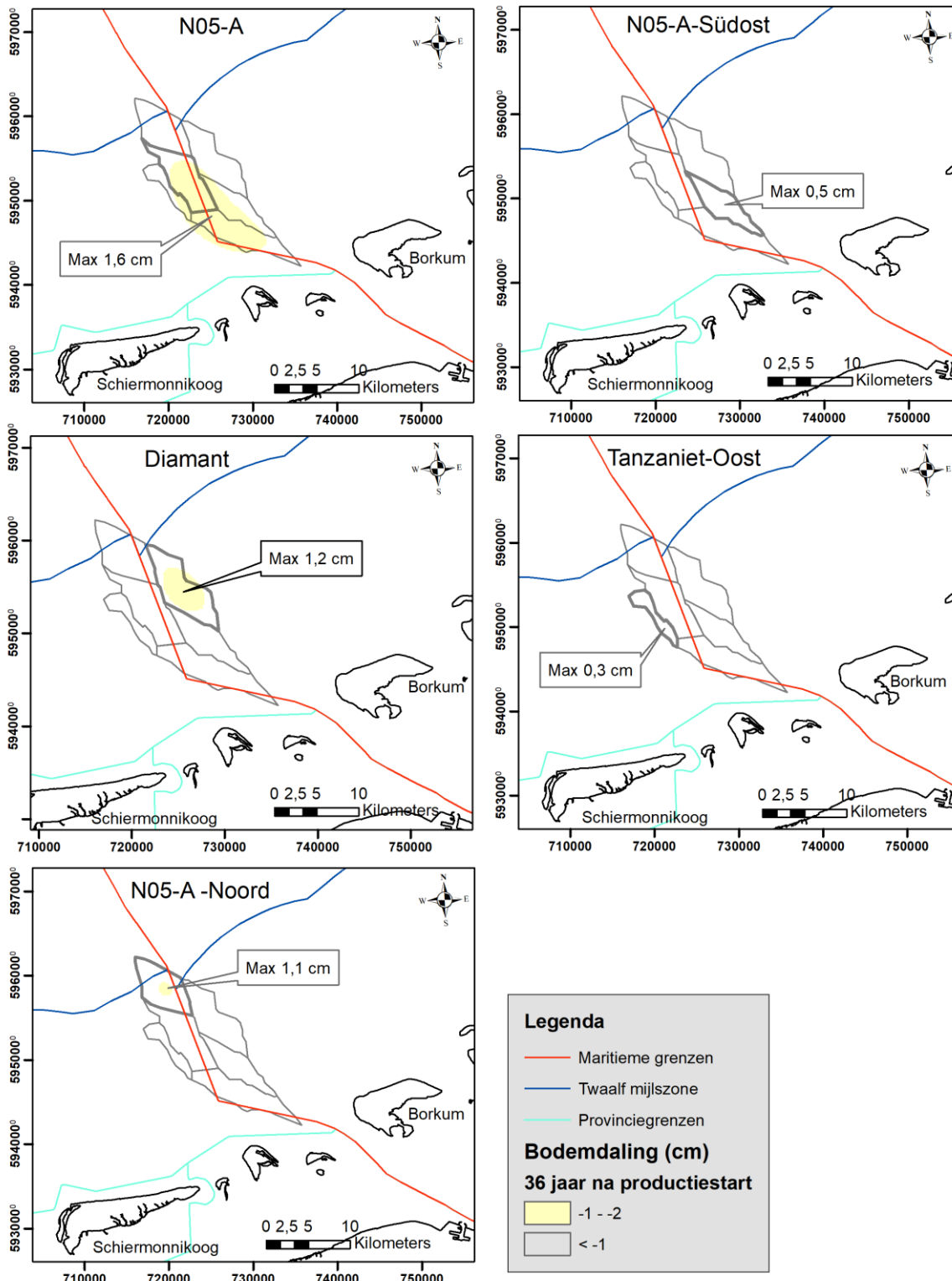
Bij de winning per prospect zijn N05-A en Smaragd samen genomen, omdat het watervoerende reservoir in Smaragd zeer waarschijnlijk in contact staat met het watervoerende deel van het reservoir in het N05-A-gasveld (bron: ONE-Dyas), waarbij drukverlaging kan plaatsvinden in Smaragd door onttrekking in het N05-A-gasveld. De overige prospects staan niet met elkaar in verbinding en zijn derhalve opzichzelfstaand beschouwd.

Het bodemdalingsgrid is berekend op basis van door ONE-Dyas geleverde dPh-grids van verschillende tijdstappen en in de eindsituatie na 36 jaar depletie en op basis van de vier compactiecoëfficiënten.

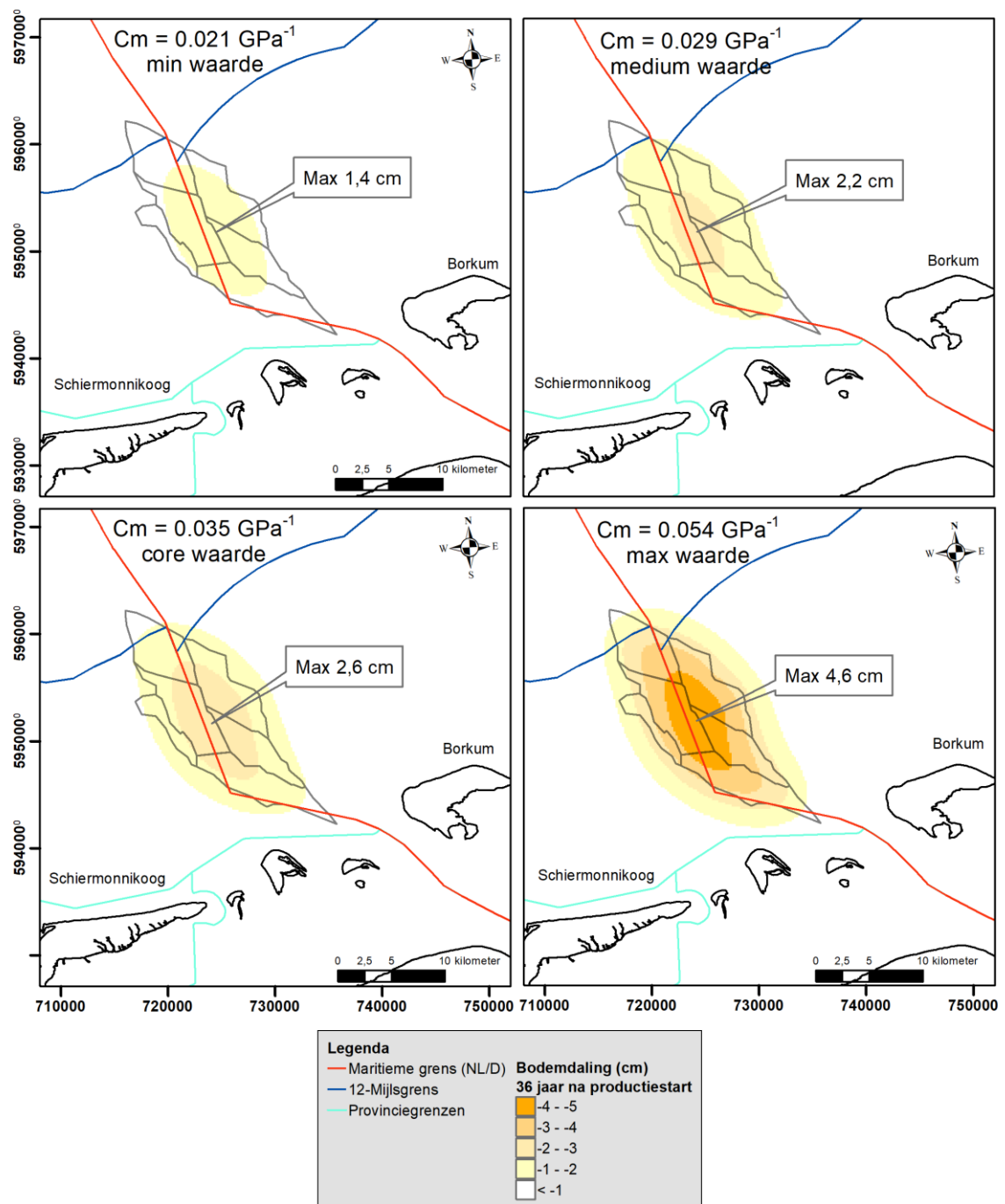
Figuur 5.2 toont de verwachte bodemdalingskom per prospect voor de meest waarschijnlijke compactiecoëfficiënt bepaald uit de gesteentemonsters van $0,035 \text{ GPa}^{-1}$. De grootste bodemdaling treedt op bij het N05-A-gasveld en bedraagt in het centrum van de kom 1,6 cm.

Figuur 5.3 (linksonder) toont voor de compactiecoëfficiënt van $0,035 \text{ GPa}^{-1}$ de bodemdaling voor de situatie van gasvoerende prospects en gelijktijdige winning uit alle prospects. In dit geval bedraagt de maximale bodemdaling in het centrum van de kom 2,6 cm. De overige panelen in deze figuur geven de bodemdaling weer voor de bandbreedte aan compactiecoëfficiënten. De bodemdaling voor $C_m = 0,054 \text{ GPa}^{-1}$ (rechtsonder) is te beschouwen als het worstcasescenario.

Figuur 5.2 en Figuur 5.3 geven de maximale uitbreiding van de bodemdalingskommen weer. Wanneer de zoutlaag volledig plastisch zou reageren, gecombineerd met de meest waarschijnlijke compactiecoëfficiënt van $0,035 \text{ GPa}^{-1}$ zou de daling in het centrum van de kom bij winning per prospect 0,6 cm bedragen bij N05-A bij gelijktijdige winning uit alle prospects 0,9 cm (zie Figuur 5.1). De omvang van de kom wordt theoretisch kleiner, maar verwacht wordt dat verschillen met de voorspelde elastische contouren zo klein zijn dat deze niet meetbaar zijn.

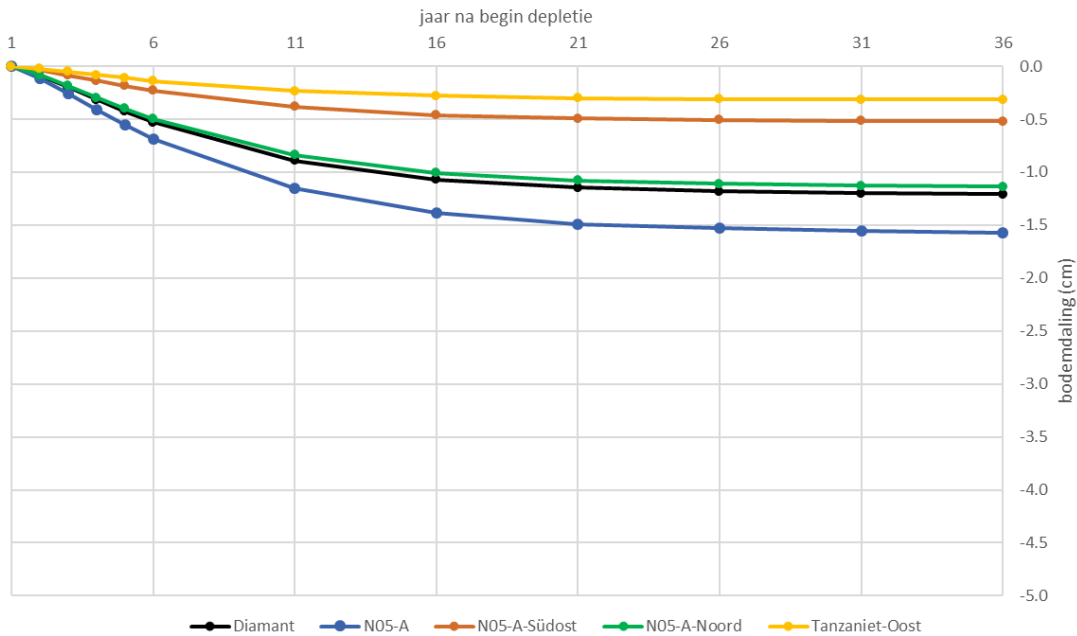


Figuur 5.2 Bodemdaling (cm) voor het N05-A-gasveld en omliggende prospects bij winning per prospect, tijdstip = einde productie met maximale gaswinningsscenario voor de meest waarschijnlijke compactiecoëfficiënt uit de gesteentemonsters van $\alpha_{C_m} = 0,035 \text{ GPa}^{-1}$. Het centrum van de bodemdalingssom is aangegeven met een pijl.

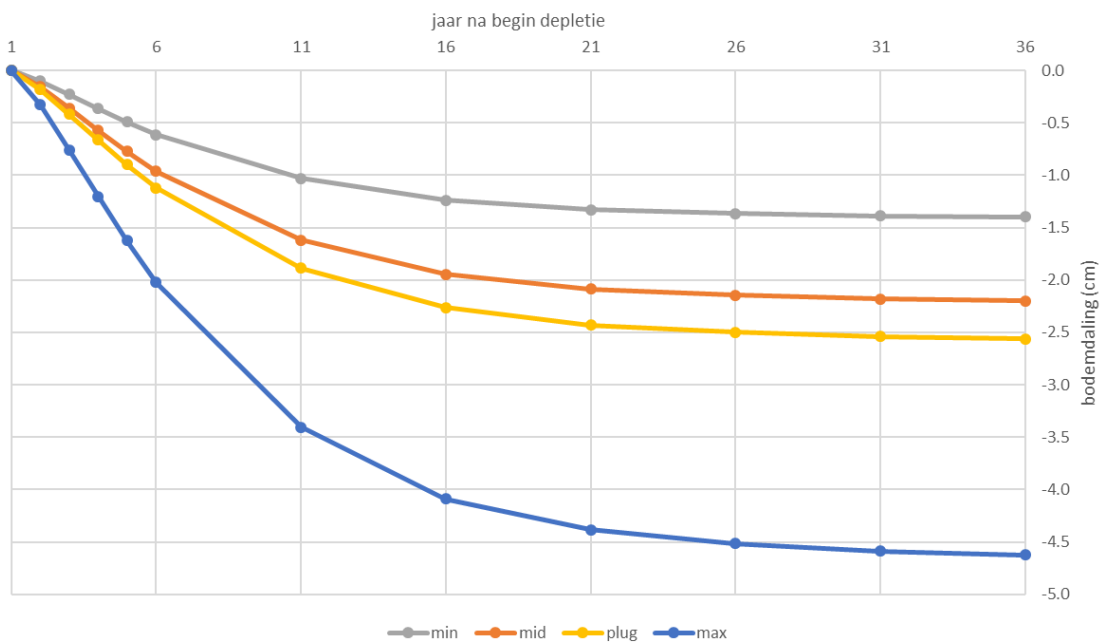


Figuur 5.3 Bodemdaling (cm) voor het N05-A-gasveld en omliggende prospects bij gasvoerende prospects en gelijktijdige winning uit alle prospects, tijdstip = einde productie met maximale gaswinningscenario voor de vier verschillende compactie coëfficiënten: $C_m = 0,021 \text{ GPa}^{-1}$ (boorgatmetingen), $C_m = 0,029 \text{ GPa}^{-1}$ (boorgatmetingen), $\alpha C_m = 0,035 \text{ GPa}^{-1}$ (gebaseerd op geomechanische gesteenteplug data), $C_m = 0,054 \text{ GPa}^{-1}$ (Routine kernanalyse).

Het tijdsverloop van de bodemdaling per prospect voor de meest waarschijnlijke compactiecoëfficiënt van $0,035 \text{ GPa}^{-1}$ is weergegeven in Figuur 5.4 en voor gelijktijdige winning uit alle prospects voor de range aan compactiecoëfficiënten in Figuur 5.4. In beide figuren is dezelfde verticale schaal aangehouden.



Figuur 5.4 Bodemdalingcurven voor het centrum van de kom bij winning per prospect en de meest waarschijnlijke compactiecoëfficiënt op basis van de gesteentemonsters.



Figuur 5.5 Bodemdalingcurven voor het centrum van de kom bij gelijktijdige winning uit alle prospects voor de vier verschillende opties voor compactiecoëfficiënten en overige gesteentemechanische parameters voor N05-A en omliggende prospects, maximale gaswinningsscenario.

5.3.2 Volume bodemdalingskom

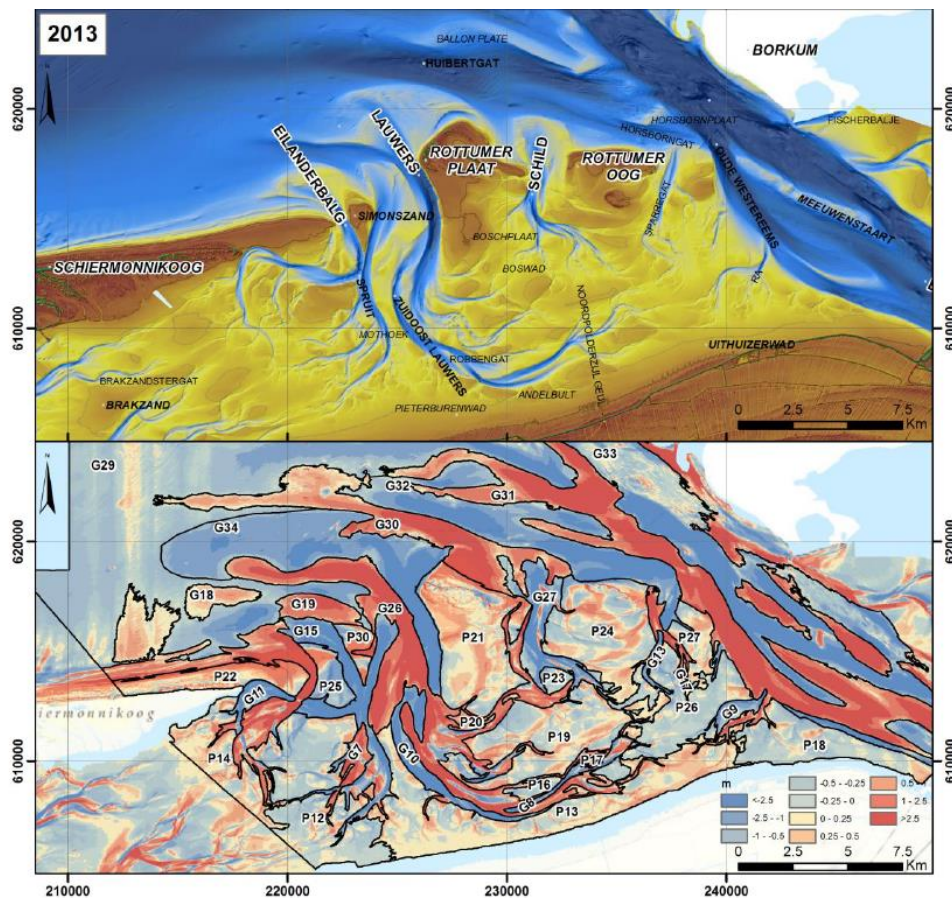
Het volume van de bodemdalingskom voor de verschillende situaties is opgenomen in Tabel 5.2.

Tabel 5.2 Volume bodemdalingskom na 36 jaar gaswinning voor verschillende situaties

Situatie		Volume (10 ⁶ m ³)	Volume (10 ³ m ³ / jaar)
Per prospect, $C_m = 0,035 \text{ GPa}^{-1}$	N05-A	2,4	69
	N05-A-Noord	0,8	23
	N05-A-Südost	0,5	12
	Tanzaniet-Oost	0,2	7
	Diamant	1,2	33
Gasvoerend, gelijktijdige winning uit alle prospects, $C_m = 0,035 \text{ GPa}^{-1}$		4,5	124
Gasvoerend, gelijktijdige winning uit alle prospects, $C_m = 0,054 \text{ GPa}^{-1}$ (worst case)		5,3	147

Over 36 jaar gemiddeld bedraagt het volume maximaal $0,124 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ per jaar voor gasvoerende prospects en gelijktijdige winning uit alle prospects bij een C_m van $0,035 \text{ GPa}^{-1}$. Door de natuurlijke dynamiek van de zeebodem treedt er sedimenttransport op. Uit de studie van Vermaas & Marges (2017) blijkt dat tussen 1990 en 2013 variaties in de zeebodemhoogte plaats hebben gevonden in het gebied ten noordwesten van de Rottumerplaat (Figuur 5.6) in de orde van +0,5 tot -0,5 m. De belangrijkste trend is afname van sedimentvolume in geulen en een toename op platen. De netto sedimentvolume verandering tussen 1990 en 2013 bedroeg in dit gebied maximaal $1,5 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ per jaar.

Uitgaande van de dynamiek van de zeebodem en de gemeten variaties in sediment volume lijkt het onwaarschijnlijk dat het netto-effect van de bodemdaling als gevolg van gaswinning meetbaar is.



Figuur 5.6 Morfologie van de zeebodem ten zuiden van het N05-A-gasveld en omliggende prospects. rond 1990 en 2013 (samengestelde dataset 2012 – 2014, voor het dit gebied komt de data uit 2013) en verschilkaart met gebiedsnummers voor platen en geulen (Uit Vermaas en Marges, 2017). De natuurlijke variatie van de zeebodem ligt tussen +2,5 en -2,5 m tussen 1990 en 2013. In het noordoosten van dit gebied, richting de gasveld, liggen de waarden tussen +0,5 en -0,5 m.

5.3.3 Helling zeebodem Riffgat

Ter plaatse van het windpark Riffgat is de helling van de zeebodem op basis van de grootste bodemdalingsskom berekend. De maximale helling bedraagt 0,0004 graden. Gezien de morfodynamiek van zeebodem is deze helling verwaarloosbaar.

5.3.4 Vergelijking met andere velden

De verwachte bodemdaling voor het N05-A-gasveld en omliggende prospects is vergeleken met de verwachte bodemdaling voor diverse andere kleine velden in Nederland. Het resultaat is samengevat in Tabel 5.3. Met uitzondering van het ter vergelijking toegevoegde Q16-Maasveld dat een Boven-Triasreservoir betreft, zijn het velden en clusters van een vergelijkbare uitbreiding met Rotliggend-reservoirsteentevan vergelijkbare ouderdom. Hieruit blijkt dat een kleine bodemdaling verwacht wordt in vergelijking met de andere kleine velden. Deze relatief geringe bodemdaling is voornamelijk te verklaren door de geringere dikte van het reservoir en de lagere initiële reservoirdruk in N05-A ten opzichte van deze referentievelden. De gasvoorkomens Nes, Moddergat, Lauwersoog, Anjum, N07-FA en Ameland hebben alle hogere initiële drukken (480 – 570 bar) en grotere reservoirdikte (50 tot >110m, inclusief Munnikezijl) (nlog.nl).

Tabel 5.3 Vergelijking verwachte berekende bodemdaling van kleine velden. Bron: nlog.nl.

Gasveld	Maximum bodemdaling (cm, afgerond)	Straal 2 cm contour (km)	Opmerking
N05-A en omliggende prospects, alle prospect gasvoerend, gelijktijdige winning	2,6	6-12	Cluster
N05-A en omliggende prospects, per prospect	1,6	Niet van toepassing	
N07-FA, Ameland	totaal 40	6	Cluster
Lauwersoog	2	3	
Moddergat, Nes, Anjum	19	5	Cluster
Munnikezijl	11	5	
Blija-Zuidoost	2	1	Afwijkende drukval: ca 150 bar
Middelie	5	5	
Q16-Maas	2	6	Boven-Trias

6 Conclusies

Dit rapport beschrijft de inschatting van het aardbevingsrisico en de bodemdalingsprognose voor het N05-A-gasveld en omliggende prospects. De aanleiding voor de studie is het voornemen van ONE-Dyas om een winningsplan in te dienen voor het N05-A-gasveld.

Aardbevingsrisico

Aan de hand van de Methodiek voor Risicoanalyse over geïnduceerde bevingen door gaswinning (DHAIS, van Eijs et al.; 2004, van Thienen-Visser et al., 2012; Staatstoezicht op de Mijnen, 2016) is een analyse gemaakt van de kans op een aardbeving. Deze analyse is gemaakt voor het maximale gaswinningsscenario. Samengevat gaat dit scenario uit van maximale schatting van depletie in N05-A en alle omliggende prospects en die vanaf de N05-A platformlocatie kan worden aangeboord. Uit de strikte toepassing van DHAIS blijkt dat de kans op het optreden van een aardbeving verwaarloosbaar is voor prospects N05-A, N05-A-Noord en Diamant en 19% bedraagt voor prospects Tanzaniet-Oost en N05-A-Südost. Op basis van aanvullende informatie ter plaatse van de prospects, gericht op de Young's modulus van het reservoir en de overburden, kan echter worden vastgesteld dat de kans op het optreden van een aardbeving naar beneden bijgesteld kan worden tot verwaarloosbaar voor alle prospects.

Bodemdalingsprognose

Er is een prognose gemaakt van de bodemdaling aan het oppervlak (zeebodem) voor het depleterend veld in het maximale gaswinningsscenario aan het eind van de productie. De bodemdaling is gemodelleerd door de daling van een aantal nucleus-reservoirs te superponeren en vervolgens te verdelen over de totale oppervlakte van het gasveld. De berekening is uitgevoerd voor een bandbreedte van compactiecoëfficiënten. Op basis van deze berekeningen bedraagt de verwachte bodemdaling bij een compactiecoëfficiënt van $0,035 \text{ GPa}^{-1}$ in het centrum van de kom 1,6 cm voor het gasveld N05-A afzonderlijk en 2,6 cm inclusief de omliggende prospects.

Het reservoirgesteente wordt bedekt door een dikke laag Rotliegend-kleisteel/zout en Zechstein-zout. Het effect daarvan op de bodemdaling is onderzocht. Dat is gebeurd in een modelberekening waarin het zout volledig plastisch vervormt. In dit uiterste geval kan in het centrum van de bodemdalingsskom een 35% grotere daling optreden, wat voor de meest waarschijnlijke compactiecoëfficiënt van $0,035 \text{ GPa}^{-1}$ neerkomt op een maximale bodemdaling van 2,2 cm voor gasveld N05-A afzonderlijk of 3,5 cm inclusief omliggende prospects. In beide gevallen zal de straal van de bodemdalingsskom kleiner worden.

7 Referenties

- Burgess, C.L., Clever, J.E., Corcoran, O.J., Cram, F.M., Hall, N.T. and Lunn, S.F (2018). Seismic discrimination of an overlooked basal Rotliegend reservoir opens a new play in the Dutch offshore, First Break December 2018
- van Eijs, R.M.H.E., F.M.M. Mulders, M. Nepveu (2004). Deterministische hazard analyse voor geïnduceerde seismiciteit. TNO rapport NITG 04-171-C d.d. 7 april 2004.
- de Lange, G., & Creusen, A. (2017). Bodemdaling en aardbevingsrisico Q16-Charlie-Noord. Deltares; rapportnummer 11200728-002-BGS-0002.
- de Lange, G., & Luger, D. (2012). Bodemdalingstudie ONE Q16 Maasveld. Deltares; rapportnummer 1206772-000-BGS-0012.
- de Lange, G., Kruiver, P.P., et al. (2013). Nadere analyse trillingsrisico gasveld Q16-Maas - voor kademuur en waterkering. Deltares; rapportnummer 1208139-000-BGS-0009.
- Eissa, E.A., & Kazi, A. (1988). Relation between static and dynamic Young's moduli of rocks. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences and Geomechanics Abstracts, 25-6.
- Dietl, C. (2019). Poroelastic parameters N05-01-S1. Heiligenstadt, Duitsland: Gesteinslabor Dr. Eberhard Jahns.
- Fjaer, E. H. (2008). Petroleum related rock mechanics (2nd edition ed., Vol. Developments in Petroleum Science 53). Amsterdam: Elsevier.
- Hanks, T., and H. Kanamori (1979), Moment magnitude scale, J. Geophys. Res. 84, 2348-2350.
- Hettema, M., de Pater, C. (1998). The poromechanical behaviour of Felser sandstone: stress- and temperature-dependent. SPE/ISRM Eurock, (pp. 347-355). Trondheim Norway.
- Kanamori, H. (2001), Energy budget of earthquakes and seismic efficiency, in Earthquake Thermodynamics and Phase Transformations in the Earth's Interior, edited by R. Teisseyre, pp.293-305, Academic, Wlatham, Mass.
- Staatstoezicht op de Mijnen. (2016). Methodiek voor risicoanalyse omtrent geïnduceerde bevingen door gaswinning. Den Haag: Staatstoezicht op de mijnen.
- Pluymaekers, M.P.D., J.C. Doornenbal, H. Middelburg (2017). Velmod-3.1. TNO report 2017 R11014 with erratum page 67 Final. Data van nlog.nl
- van Thienen-Visser, K., Nepveu, M., Hettelaar, J. (2012). Deterministische hazard analyse voor geïnduceerde seismiciteit in Nederland. TNO; rapportnummer 2012 R10198. www.nlog.nl
- Vermaas, T., Marges, V. (2017). Volumeanalyse oostelijke Wadden. Deltares; rapportnummer 1230043-003-ZKS-0001.

Software

Plaxis (2018), versie 2018

A Samenvattingstabellen gesteenteonderzoek

Tabel 5 en 6 uit het rapport (Dietl, 2019) zijn opgenomen in deze bijlage.



Gesteentubor Dr. Eberhard Johns

1836 Poroelastic parameters N05-01-S1

Table 5: Summary results of the compressibility tests.

In case of specimen 1836_PS04_06 the Biot coefficient had to be calculated based on c_{cp} , because c_{cp} was not determined. The relevant α value is shown in red. Consequently, for core sample 1836_PS04 four compressibility tests were done.

specimen	grain compressibility	bulk compressibility at constant pore pressure	bulk compressibility at constant confining pressure	Biot coefficient	Pore volume compressibility at changing pore pressure (suffix letter "d" for depletion and "i" for inflation)				Constant compaction coefficient (suffix letter "d" for depletion and "i" for inflation)				Horizontal depletion constant	
	c_g [MPa ⁻¹]	c_{bc} [MPa ⁻¹]	c_{cp} [MPa ⁻¹]	α	$c_{ppd}01$ [MPa ⁻¹]	$c_{ppi}01$ [MPa ⁻¹]	$c_{ppd}02$ [MPa ⁻¹]	$c_{ppi}02$ [MPa ⁻¹]	$c_{md}01$ [MPa ⁻¹]	$c_{mi}01$ [MPa ⁻¹]	$c_{md}02$ [MPa ⁻¹]	$c_{mi}02$ [MPa ⁻¹]	$\gamma 01$	$\gamma 02$
1836_PS02_01	1.33E-04	2.77E-04	1.96E-04	0.52	2.15E-03	2.10E-03	2.11E-03	2.11E-03	2.00E-04	1.02E-04	1.18E-04	1.01E-04	0.83	0.76
1836_PS02_02	9.05E-05	1.65E-04	1.22E-04	0.45	2.72E-03	2.67E-03	2.68E-03	2.68E-03	1.42E-04	9.13E-05	9.61E-05	9.18E-05	0.74	0.65
1836_PS02_04	1.38E-04	1.97E-04	1.28E-04	0.30	2.22E-03	2.15E-03	2.15E-03	2.15E-03	1.28E-04	8.33E-05	8.68E-05	8.10E-05	0.68	0.69
1836_PS04_06	6.79E-05	-	8.28E-05	0.18	1.96E-03	1.94E-03	1.90E-03	1.90E-03	4.02E-05	5.39E-05	4.99E-05	4.61E-05	0.60	0.59
1836_PS04_07	1.20E-04	1.33E-04	8.87E-05	0.10	1.62E-03	1.59E-03	1.60E-03	1.59E-03	6.66E-05	4.29E-05	4.80E-05	4.10E-05	0.62	0.58
1836_PS04_08	1.11E-04	1.13E-04	7.49E-05	0.02	1.59E-03	1.57E-03	1.57E-03	1.57E-03	7.70E-05	5.66E-05	5.87E-05	5.42E-05	0.74	0.69
1836_PS04_09	7.40E-05	1.25E-04	8.43E-05	0.41	1.84E-03	1.82E-03	1.81E-03	1.81E-03	7.10E-05	3.66E-05	4.03E-05	3.54E-05	0.71	0.67



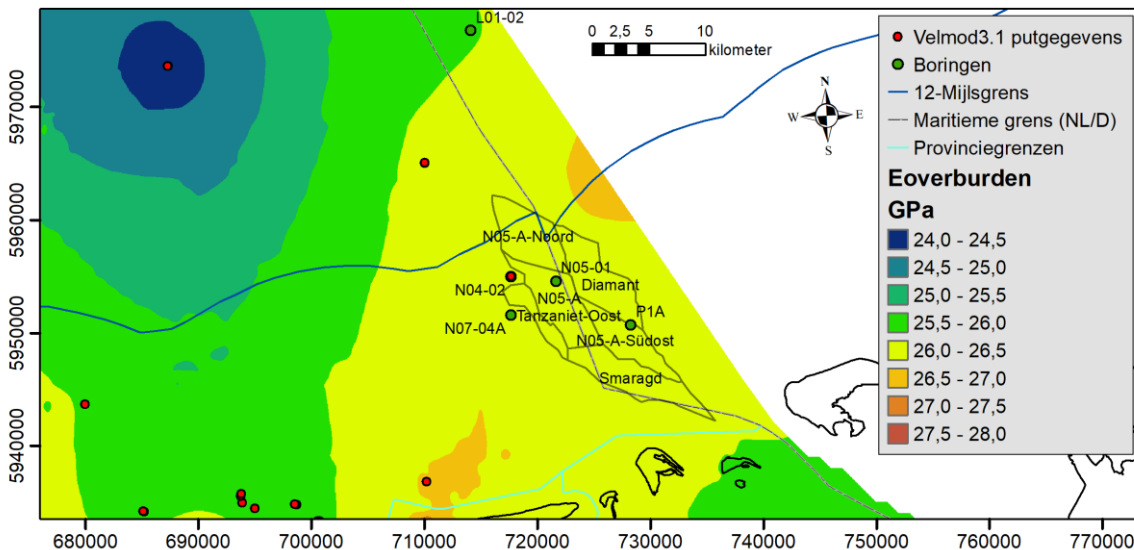
1836 Poroelastic parameters N05-01-S1

Table 6: Compilation of all strength test results.

Green background: Brazilian tests; beige background: single-stage tests. Dimensional data are measured immediately before testing. All strength data – besides the ones determined by Mohr-Coulomb analysis (i.e. cohesion and [internal] friction angle) – were calculated based on total stress; Mohr-Coulomb data were determined based on effective stress. Effective stresses for the determination of the peak Mohr-Coulomb parameters were calculated applying the Biot coefficients gained from compressibility testing. Only in case of specimen 1836_PS02_03 an average Biot coefficient from the three measured ones of 0.42 was used. For the residual Mohr-Coulomb data a Biot coefficient of 1 was assumed, since pore pressure effectiveness on an already established fracture plane can be assumed to be at 100%. In case of core sample 1836_PS04 the Mohr-Coulomb analysis under residual conditions is based on only three Mohr circles, because the Mohr circle for plug 1836_PS04_09 has a very big diameter and does not fit very well with the three remaining Mohr circles (see also Appendix F). Consequently, only a linear and not a bilinear shear straight was calculated leading to only one residual data set.

specimen	length [mm]	diameter [mm]	start test mass [g]	test density [g/cm ³]	confining pressure [MPa]	pore pressure [MPa]	tensile strength [MPa]	Young's modulus [GPa]	Poisson's ratio	peak compressive strength [MPa]	residual compressive strength [MPa]	peak friction angle (residual in brackets) [°]	peak friction coefficient (residual in brackets) [°]	peak cohesion (residual in brackets) [MPa]	peak unconfined compressive strength (residual in brackets) [MPa]
1836_PS02_01	50.72	25.30	58.94	2.31	15	10	-	3.40	0.22	49.44	38.96	ϕ 1: 35.3 ± 1.5° ϕ 2: 9.1 ± 5.6°	μ 1: 0.71 μ 2: 0.16 (μ 1: 0.80) (μ 2: 0.42)	S_0 1: 1.9 ± 1.3 S_0 2: 35.9 ± 8.5 (S_1 : 2.0 ± 0.7) (S_2 : 15.0 ± 2.2)	C_0 1: 7.35 C_0 2: 84.22 (C_1 : 8.33) (C_2 : 46.46)
1836_PS02_02	50.71	25.29	59.14	2.32	30	20	-	5.33	0.07	102.23	73.56				
1836_PS02_03	50.63	25.30	58.41	2.29	45	25	-	7.02	0.05	142.26	119.59				
1836_PS02_04	50.82	24.51	60.46	2.52	60	30	-	8.53	0.07	163.47	148.61				
1836_PS02_05	18.36	25.42	20.95	2.25	-	-	1.43	-	-	-	-				
1836_PS04_06	50.84	25.32	64.12	2.50	15	10	-	7.78	0.11	126.87	43.96				
1836_PS04_07	50.72	25.32	63.95	2.50	30	20	-	9.86	0.11	165.61	73.89				
1836_PS04_08	50.71	25.34	64.03	2.50	45	25	-	11.67	0.06	220.49	108.51				
1836_PS04_09	50.71	25.34	64.06	2.50	80	40	-	12.47	0.05	321.94	245.40				
1836_PS04_10	19.46	25.34	24.43	2.49	-	-	5.94	-	-	-	-	ϕ 1: 47.3 ± 4.1° ϕ 2: 34.6 ± 2.0° (ϕ : 32.1 ± 1.9°)	μ 1: 1.08 μ 2: 0.69 (μ : 0.63)	S_0 1: 7.6 ± 3.1 S_0 2: 17.9 ± 4.0 (S_1 : 5.2 ± 1.1)	C_0 1: 38.89 C_0 2: 68.19 (C_1 : 18.80)

B Relatieve stijfheid berekeningen kaarten en aanvullende data



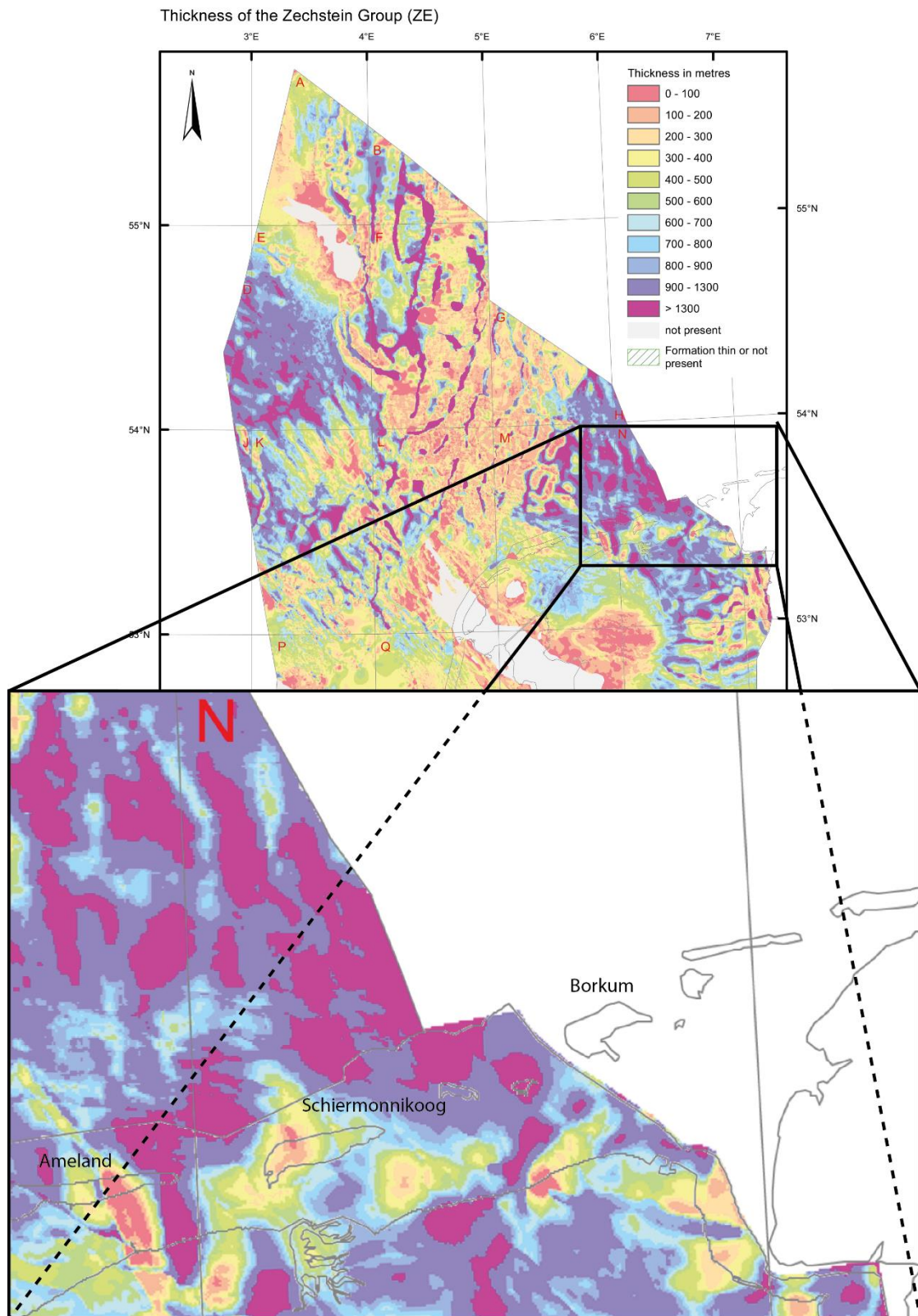
Figuur B.1 Statische Young's Modulus van de overburden, gebruikmakend van VELMOD 3.1 (nlog.nl) en gegevens van toegevoegde putten.

Tabel B.1 Vp (m/s) van de Zechstein Group en Silverpit Fm. in de twee putten in Duitse wateren en nieuwe Nederlandse put

	Vp Zechstein	Vp Silverpit
N05-01-S1	4588	4231
P1A	4500	4298
L01-02	4454	4098

Tabel B.2 Parameters van de Zechstein Group en Silverpit Fm. gebruikt voor de E-ratio berekeningen

Parameter	Waarde
Zechstein dichtheid (kg/dm ³)	2,25
Zechstein Poisson ratio (-)	0,26
Zechstein V _s (m/s)	2585
Silverpit dichtheid (kg/dm ³)	2,62
Silverpit Poisson ratio (-)	0,26
Silverpit V _s (m/s)	2396



Figuur B.2 Diktekaart van de Zechstein Group (Bron: https://www.nlog.nl/sites/default/files/ze_thick_jan2012_offsh.pdf). De gebieden met hoge E_{stat} waarden in figuur B.2 bij Ameland, Schiermonnikoog en ten zuidwesten ervan zijn het gevolg van de geringe dikte van Zechstein Group.