



AANVRAAG INSTEMMING WINNINGSPLAN MIDDELIE





NAM

AANVRAAG INSTEMMING WINNINGSPLAN MIDDELIE

Versie 2.2
Maart 2023

1 SAMENVATTING

Achtergrond winningsplannen – algemeen

Het winnen van aardgas uit een gasveld wordt vastgelegd in een winningsplan. Dat plan beschrijft de verwachte productie, de technische aspecten van de winning (met een nadruk op de ondergrond, zoals de geologie) en de mogelijke risico's en effecten met betrekking tot bodemdaling en -trilling, inclusief eventuele maatregelen. De winning van het aardgas kan alleen plaatsvinden indien de Staatssecretaris Mijnbouw van het Ministerie van Economische Zaken en Klimaat instemt met het winningsplan. Het uitgangspunt hierbij is de Mijnbouwwet, waaraan voldaan moet worden. De procedure bevat de volgende stappen:

- NAM dient een winningsplan in bij het Ministerie van Economische Zaken en Klimaat (EZK) en vraagt om instemming.
- De Staatssecretaris Mijnbouw vraagt advies aan verschillende partijen die bij de winning betrokken zijn, zoals: provincies, gemeenten, waterschappen, Staatstoezicht op de Mijnen (SodM), Technische commissie bodembeweging (Tcbb), TNO en de Mijnraad.
- Deze adviezen worden meegenomen in het ontwerp instemmingsbesluit van de Staatssecretaris.
- Het ontwerpbesluit ligt vervolgens voor een periode van zes weken ter inzage. Iedereen kan in deze fase reageren door een zienswijze in te dienen.
- De zienswijzen worden behandeld waarna het ministerie een definitief instemmingsbesluit opstelt. De Staatssecretaris stemt uiteindelijk al dan niet in met het winningsplan. Er kunnen ook aanvullende voorschriften worden gesteld.
- Het definitieve instemmingsbesluit gaat vervolgens nog zes weken ter inzage voor beroep. Alleen belanghebbenden kunnen in deze fase beroep aantekenen.
- Indien er beroep is ingediend dan zal de Afdeling Bestuursrechtspraak van de Raad van State hierover oordelen.
- Bij een definitief winningsplan verloopt de gaswinning verder volgens dit winningsplan.
- Indien er afwijkingen zijn moet NAM een actualisatie van het winningsplan indienen.

Naast het winningsplan kunnen er nog diverse andere vergunningen noodzakelijk zijn, zoals een omgevingsvergunning. Voor aanvullende informatie over de procedures en achtergronden, zie ook www.hoewerktgaswinnen.nl en www.mijnbouwvergunningen.nl

Achtergrond winningsplannen – Middelie

Dit document betreft een actualisatie van het vigerende winningsplan 'Middelie' uit 2014. Dat plan omhelst vijf zogenaamde 'voorkomens' (in een gasveld komen soms meerdere gasreservoirs voor. Deze worden voorkomens genoemd in winningsplannen). Het gaat om de voorkomens Middelie Zechstein, Middelie Rotliegend, Rustenburg Zechstein, Rustenburg Rotliegend en Westbeemster Rotliegend.

- Het Middelie-gasveld, bestaande uit de *Middelie Zechstein* en *Middelie Rotliegend* voorkomens is in 1964 aangeboord met de put Middelie-101 (MID-101). Van 1975 tot 1991 is uit de beide Middelie voorkomens gas geproduceerd, waarna de voorkomens zijn ingesloten vanwege een overmatige waterproductie (wat met het gas meekwam). Vanaf 2007 zijn beide voorkomens herontwikkeld.
- Het *Rustenburg Zechstein* voorkomen is aangetoond in 1976 en tot op heden niet ontwikkeld. In dit winningsplan is een mogelijke ontwikkeling van het Rustenburg Zechstein meegenomen in het hoog scenario, door middel van een eventuele nieuw te boren put. In 1981 is het *Rustenburg Rotliegend* voorkomen aangetoond, deze is in 2009 in productie genomen met de Westbeemster-2 (WBMS-2) put die geboord is vanaf de Westbeemster-1 locatie.
- Het *Westbeemster Rotliegend* voorkomen is in 1993 aangeboord door de Westbeemster-1 (WBMS-1) put. Deze is in 2007 in productie genomen, samen met het herontwikkelde Middelie

voorkomen.

Tot 2021 zijn er in totaal 14 putten geboord in de vijf voorkomens, waarvan er nu nog zeven produceren. Volgens de huidige verwachtingen duurt de gasproductie maximaal tot 2039. Economische afwegingen kunnen leiden tot het eerder insluiten van de productiesystemen.

Deze actualisatie van het winningsplan is nodig vanwege de verlengde levensduur - van 2029 tot uiterlijk 2039 - en een groter productievolume van de voorkomens. Dit is mogelijk door een verbeterde productie uit de bestaande putten (bijvoorbeeld door het verlagen van de aanzuigdruk door de introductie van een compressor in de behandelingsinstallatie) en door het eventueel boren van een aantal nieuwe putten.

Tot 2021 is 7.221 miljoen Nm³ gas uit de voorkomens geproduceerd (Nm³ is normaal kubieke meter, waarbij normaal slaat op de normaal-temperatuur en -druk waarbij het volume wordt gemeten). NAM verwacht uit de voorkomens nog 3.884 miljoen Nm³ (scenario 'midden') tot 6.673 miljoen Nm³ (scenario 'hoog') gas te winnen over de periode 2021-2039, afhankelijk van het productiescenario. De productie zal afhangen van het gedrag van de bestaande en eventuele toekomstige putten.

De maximale gezamenlijke productie uit de voorkomens die omschreven staan in dit winningsplan, de uiterlijke einddatum van de productie, de maximaal verwachte bodemdaling en het seismisch risico staan aangegeven in de tabel hieronder.

TOTAAL VAN DE VOORKOMENS IN DIT WINNINGSPLAN		
Productie tot uiterlijk:	2039	
Maximale totale gaswinning:	13.895	miljoen Nm ³
waarvan voor 1-1-2021:	7.221	miljoen Nm ³
waarvan na 1-1-2021:	6.674	miljoen Nm ³
Hoogst geïdentificeerde Seismisch Risico Categorie:	II*	
Maximale totale bodemdaling door alle gaswinning (1975-2050):	8	cm
waarvan na 1-1-2021 verwacht maximaal**:	4	cm

* Middelie Rotliegend, Westbeemster Rotliegend en Rustenburg Rotliegend vallen in categorie II, Rustenburg Zechstein en Middelie Zechstein vallen in categorie I

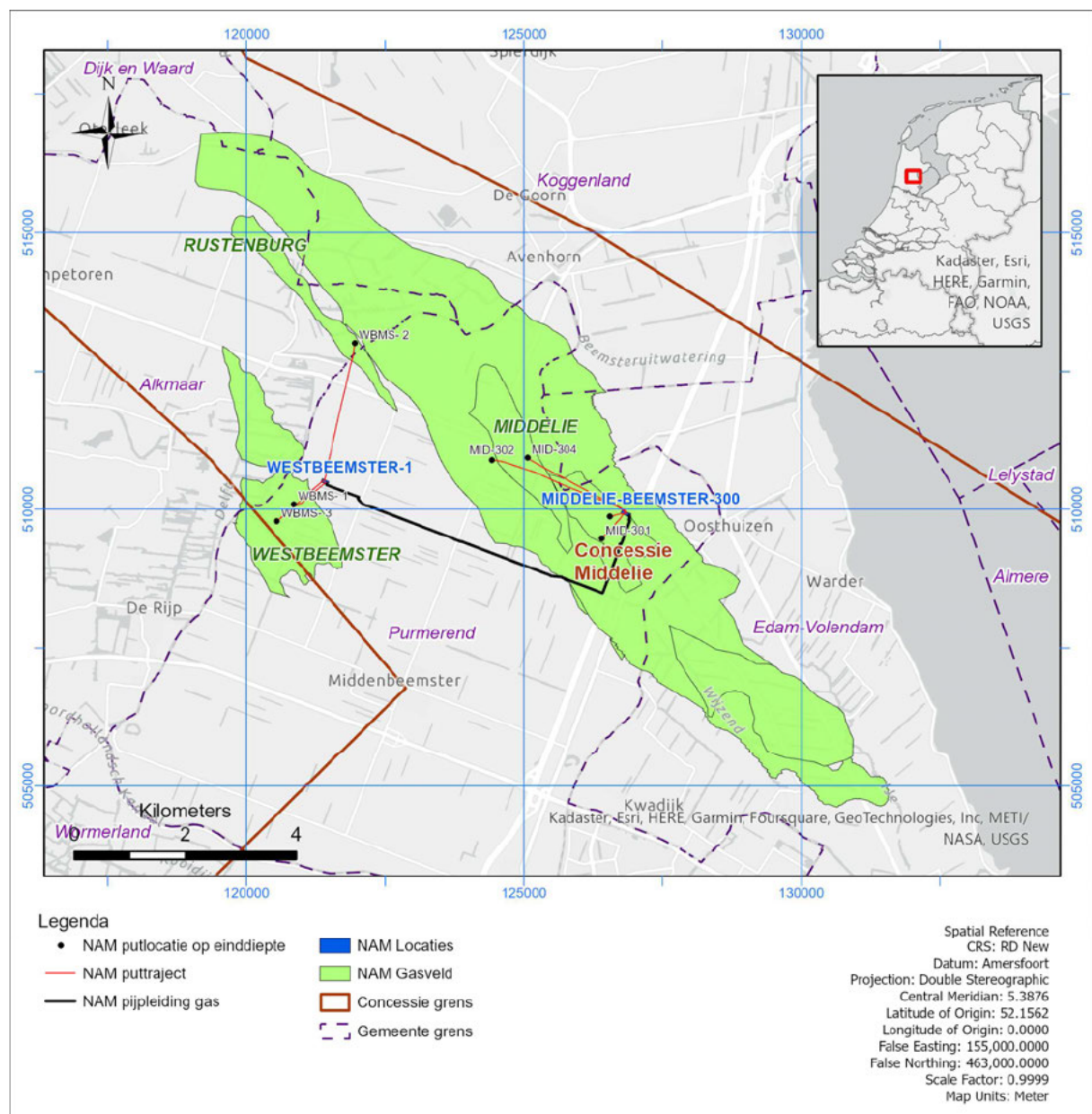
**Maximaal betekent hier het diepste punt in de bodemdalingssom.

De daadwerkelijke opgetreden bodemdaling zal worden gemonitord volgens het meetplan Noord-Holland. Het meetplan wordt jaarlijks ter instemming aan SodM gestuurd, met een analyse van de meetgegevens.

Het seismische risico voor de drie Rotliegend-voorkomens wordt ingeschaald in de categorie 'midden' volgens de SodM-leidraad (categorie II). De twee Zechstein-voorkomens vallen in risico categorie I. Het optreden van eventuele aardbevingen en bodemtrillingen wordt gemonitord via het KNMI-meetnet. Er zijn in de historie twee aardbevingen waargenomen bij de gaswinning uit het Middelie-veld (1989 en 2018). Mochten omwonenden eventueel schade ondervinden, dan kan dat gemeld worden bij de Commissie Mijnbouwschade. Sectie 8.7 geeft nader uitleg over de procedures die gevolgd kunnen worden.

De voorkomens die behandeld worden in dit winningsplan zijn gelegen onder de volgende gebieden:

VOORKOMEN	PROVINCIE	WATERSCHAP	GEMEENTE(S)
Middelie Rotliegend	Noord-Holland	Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier	Edam-Volendam, Purmerend
Middelie Zechstein	Noord-Holland	Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier	Edam-Volendam, Purmerend, Koggenland, Alkmaar, Dijk en Waard
Rustenburg Rotliegend	Noord-Holland	Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier	Purmerend, Alkmaar en Koggenland
Rustenburg Zechstein	Noord-Holland	Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier	Purmerend, Alkmaar en Koggenland
Westbeemster Rotliegend	Noord-Holland	Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier	Purmerend en Alkmaar



Figuur 1-1: Overzicht van de voorkomens Middelie, Rustenburg en Westbeemster, inclusief infrastructuur.

Inhoud

1	SAMENVATTING	3
	INHOUD	6
	FORMULIER AANVRAAG INSTEMMING WINNINGSPLAN	8
2	INLEIDING	10
2.1	Doel van het Winningsplan	10
2.2	Leeswijzer	10
3	PLAATS VAN WINNING	12
3.1	Productielocatie, put(ten) en voorkomen(s)	12
3.2	Schematische weergave gas- en waterbehandeling en afvoer van gas	16
4	BORINGEN	17
4.1	Inleiding: Algemene beschrijving van een put	17
4.2	Overzicht boring(en)	18
4.3	Schematische voorstelling putverbuizing(en)	18
4.4	Putstimulatie	20
5	ONDERGROND	21
5.1	Inleiding: hoe worden de ondergrond-eigenschappen gemeten	21
5.2	Geologie en gesteente-eigenschappen van het voorkomen	21
5.3	Gesteente-eigenschappen van de bovenliggende lagen	27
5.4	Andere gebruiksmogelijkheden van de ondergrond	27
6	ONTWIKKELINGSVOORUITZICHTEN	29
6.1	Inleiding	29
6.2	Historische Productie	29
6.3	Onzekerheden	32
6.4	Winningsstrategie en reservoirmanagement	32
6.5	Winningsnelheid (hoeveelheden per voorkomen/per jaar)	33
6.6	Duur van de winning	37
6.7	Jaarlijks eigengebruik bij winning	37
6.8	Jaarlijks bij winning afgeblazen/afgefakkelde koolwaterstoffen	37
6.9	Stoffen die jaarlijks worden mee geproduceerd	38
6.10	Jaarlijks bij winning in de ondergrond terug te brengen delfstoffen en andere stoffen	38

7	BODEMDALING	39
7.1	Inleiding: hoe komt bodemdaling tot stand	39
7.2	Metten en berekenen van bodemdaling door gaswinning	41
7.3	Bodemdalingsvooruitzichten	43
7.4	Onzekerheid in verwachte bodemdaling	46
7.5	Mogelijke gevolgen van de verwachte bodemdaling	46
7.6	Maatregelen om (gevolgen van) bodemdaling te voorkomen of te beperken	46
8	BODEMTRILLING	47
8.1	Inleiding: hoe komen bevingen ten gevolge van gaswinning tot stand	47
8.2	Historische bevingen in het Middelie veld	47
8.3	Algemeen kader voor Seismische Risico Analyse	48
8.4	Mogelijke gevolgen van bevingen ten gevolge van gaswinning uit de Middelie-voorkomens (duiding van het risico)	49
8.5	Monitoring van bodemtrillingen	49
8.6	Additionele versnellingsmeters	51
8.7	Afhandeling van de schade	51
8.8	Seismisch risicobeheersplan	52
9	OVERIGE OMGEVINGSASPECTEN	53
9.1	Algemeen	53
9.2	Vergunningen	53
9.3	Effecten op natuur en milieu - algemeen	54
9.4	Effecten toekomstige bodemdaling op natuur en milieu	56
9.5	Effecten bodemtrilling op natuur en milieu	59
9.6	Overige aspecten in relatie tot natuur en milieu	59
10	VERKLARENDE WOORDENLIJST	60
11	BIJLAGE A: BODEMDALING: DETAILS EN ACHTERGRONDEN	61
12	BIJLAGE B: SEISMISCHE RISICO ANALYSE: DETAILS EN ACHTERGRONDEN	64
12.1	Seismische Risico Analyse voor de Middelie voorkomens	66
13	BIJLAGE C: GEOLOGISCHE KAARTEN VOOR DE VOORKOMENS	79

Formulier aanvraag instemming winningsplan

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

Elektronisch in te dienen bij:

Ministerie van Economische Zaken

Directie Energie & Omgeving

mijnbouwaanvragen@minez.nl

Artikel	Onderwerp	Beschrijving
Mw 34 lid 1	Verzoek om instemming voor winningsplan Middelie	☐ Een winningsplan voor voorkomens in het continentaal plat vanaf de 12 zeemijlszone ☒ Een winningsplan voor voorkomens in Nederlands territorium tot 12 zeemijl uit de kust De wijziging / actualisatie bestaat uit een aangepaste productievoorspelling (zowel de productieperiode als ook het productievolume) voor de verschillende voorkomens, en een actualisatie van de seismische risicoanalyse en bodemdalings- voorspellingen.
	Algemene gegevens	
	<i>Naam indiener</i>	Nederlandse Aardolie Maatschappij B.V.
	<i>Adres</i>	Postbus 2800 9400 HH Assen
	<i>Contactpersoon</i>	
	<i>E-mail</i>	
Mw 34 lid 2	Indiener	☒ is houder van de vergunning ☐ is uitvoerder cf artikel 22 Mw
	Winningsvergunningsgebied(en) Liggende Gemeente en Provincie	☒ winningsvergunning(en) • Middelie • Bergen
Mw 34 lid 1 Mb 24 lid 1a	Voorkomens koolwaterstoffen	▪ Middelie Rotliegend ▪ Middelie Zechstein ▪ Rustenburg Rotliegend ▪ Rustenburg Zechstein ▪ Westbeemster Rotliegend
Mb 24 lid 1a	Soort koolwaterstof die wordt gewonnen	☐ olie ☒ hoog calorisch gas ☐ Groningen kwaliteit gas ☒ laag calorisch gas ☒ zwavelhoudend gas ☒ aardgascondensaat
Mr 1.2.1 lid 3	Bestaande of nieuwe winning	☒ winningsplan voor reeds bestaande winning (inclusief voorziene uitbreiding) ☐ winningsplan voor nieuwe winning
Mw 34 lid 7	Coördinatie vergunningen	☐ ja: te weten met: ☐ Omgevingsvergunning ☐ Watervergunning ☐ Mijnbouwmilieuvergunning ☐ Anders, namelijk: ☒ nee (n.v.t.)

	Bedrijfs- en productiegegevens	Paragraaf
Mw 35 lid 1	Beknopte beschrijving van het winningsplan	1, 2
Mw 35 lid 1c Mb 24 lid 1c,d	Beknopte beschrijving van wijze van winning door middel van (een) mijnbouwwerk(en)	3
Mb 24 lid 1a	Geologische beschrijving van voorkomen(s)	5
Mb 24 lid 1a Mb 24 lid 1b	Geologische doorsnede van voorkomen(s)	Bijlage C
Mw 35 lid 1a Mb 24 lid 1d,e	Overzicht ligging voorkomens, putten	3.1
Mb 24 lid 1d,e,g	Situering mijnbouwwerken situatietekening /eventueel foto	3.1
Mb 24 lid 1e,f	Overzicht boringen in voorkomen(s)	4.2
Mb 24 lid 1g	Schematische voorstelling putverbuizing(en)	4.3
Mb 24 lid 1h	Plaats en wijze waarop koolwaterstoffen in verbuizing treden	3.2
Mb 24 lid 2	Productieontwikkeling strategie	6.4
Mb 24 lid 2	Productiefilosofie	2.1
Mb 24 lid 2	Reservoir management	6.4
Mw 35 lid 1a,d Mb 24 lid 1a	Omvang winning (hoeveelheden per voorkomen/per jaar)	6.5
Mw 35 lid 1b	Duur van de winning (per voorkomen)	6.6
Mb 24 lid 1i	Stoffen die jaarlijks worden mee geproduceerd	6.9
Mb 24 lid 1j	Jaarlijks eigengebruik bij winning	6.7
Mb 24 lid 1j	Jaarlijks bij winning afgeblazen/afgefaakte koolwaterstoffen	6.8
Mb 24 lid 1k	Jaarlijks bij winning in de ondergrond terug te brengen delfstoffen en andere stoffen	6.10
Mw 36 lid 1 sub b	Planmatig gebruik of beheer van delfstoffen, aardwarmte, andere natuurlijke rijkdommen, waaronder grondwater met het oog op de winning van drinkwater, of mogelijkheden tot het opslaan van stoffen	5.4
	Gegevens inzake bodemdaling als gevolg van de winning	Sectie
Mw 35 lid 1f	Aard van de bodemdaling ten gevolge van de winning alsmede de daarmee verband houdende activiteiten	7.1
Mb 24 lid 1m Mb 24 lid 1n Mb 24 lid 1o	Gekalibreerde bodemdaling en bodemdalingprognoses (uiteindelijk verwachte mate van bodemdaling)	7.2 – 7.4 Bijlage A
Mb 24 lid 1q	Omvang en aard van de schade	7.5
Mb 24 lid 1r	Maatregelen om bodemdaling te voorkomen / te beperken	7.6
Mb 24 lid 1s Mw 35 lid 1f	Maatregelen die gevolgen van schade door bodemdaling beperken of voorkomen	7.6
	Gegevens inzake bodemtrilling als gevolg van de winning	Sectie
Mw 35 lid 1f	Aard van de bodemtrilling ten gevolge van de winning alsmede de daarmee verband houdende activiteiten	8.1, 8.2
Mb 24 lid 1p	Risicoanalyse bodemtrilling	8.3, 8.4, Bijlage B
Mb 24 lid 1q	Omvang en aard van de schade	8.5
Mb 24 lid 1r	Maatregelen om bodemtrillingen te voorkomen / te beperken	8.8
Mb 24 lid 1s Mw 35 lid 1f	Maatregelen die gevolgen van schade door bodemtrillingen beperken of voorkomen	8.8
	Overige veiligheidsaspecten	Sectie
Mw 35 lid 1g	De risico's voor omwonenden, gebouwen of infrastructurele werken of de functionaliteit daarvan met een risicobeoordeling, voor zover het winnen van delfstoffen niet geschiedt in het continentaal plat	9.1, 9.2, 9.3, 9.4, 9.5
Ondertekening		Datum: 24 Augustus 2022 Plaats: Assen
Mb24 lid 1 Jaarlijkse kosten onderverdeeld in investeringen, onderhoud, bedrijfsvoering, verlaten en verwijderen. Zie deel “vertrouwelijk”.		

2 INLEIDING

2.1 Doel van het Winningsplan

De Nederlandse Aardolie Maatschappij B.V. ("NAM") is houder van de Winningsvergunning Middelie uit 1969 (N015). Conform artikel 34 van de Mijnbouwwet (Mw) dient de winning van koolwaterstoffen te gebeuren in overeenstemming met een winningsplan. In het Mijnbouwbesluit (Mb) is in artikel 24 aangegeven welke informatie het winningsplan moet bevatten.

Dit winningsplan, ten behoeve van de winningsvergunning Middelie, omvat de vijf voorkomens in de Zechstein- en Rotliegend-formatie. Deze worden in dit winningsplan met *Middelie Zechstein*, *Middelie Rotliegend*, *Rustenburg Zechstein*, *Rustenburg Rotliegend* en *Westbeemster Rotliegend* aangeduid. De actualisatie van dit winningsplan bestaat uit:

- a) een aangepaste productievoorspelling;
- b) bijbehorende seismische risicoanalyse en bodemdalingsvoorspellingen.

Dit is de tweede actualisatie van het winningsplan Middelie sinds 2006. Er zijn op dit moment geen activiteiten die een vergunning behoeven (bijv. het boren van nieuwe putten) waarmee behandeling van dit winningsplan gecoördineerd moet worden. Hieronder een overzicht van winningsplannen en actualisaties.

DATUM (INDIENEN WINNINGSPLAN)	VERSIE	DOCUMENT
November 2005	1.0	Originele winningsplan
Mei 2014	2.0	Eerste actualisatie
Oktober 2021	3.0	Deze (tweede) actualisatie

Het oorspronkelijk winningsplan en besluiten voor Middelie zijn te vinden onder veldcode MID op www.nlog.nl

2.2 Leeswijzer

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

- Hoofdstuk 1 - *Samenvatting* - geeft een overzicht van dit winningsplan en is bedoeld om de belangrijkste punten van het plan uit te leggen zonder technische details.
- Hoofdstuk 3 - *Plaats van winning* - en Hoofdstuk 4 - *Boringen* - geven meer informatie over de locaties en putten.
- Hoofdstuk 5 - *Ondergrond* - geeft een beschrijving van de ondergrond, en met name de geologie.
- Hoofdstuk 6 - *Ontwikkelingsvooruitzichten* - gaat in op de historische en toekomstige productie en de ontwikkelingsplannen voor de voorkomens vanaf de Middelie- en Rustenburg-locatie.
- Hoofdstuk 7 - *Bodemdaling* - beschrijft de historische en verwachte bodemdaling in het gebied rondom het voorkomen.
- Hoofdstuk 8 - *Bodemtrilling* - gaat verder in op de seismische risicoanalyse.
- Hoofdstuk 9 - *Overige omgevingsaspecten* - beschrijft de mogelijke effecten van bodemtrilling en bodemdaling op natuur en milieu.

NAM heeft het winningsplan zo bedoeld dat zij binnen de grenzen van het plan opereert als:

- A.** de totale productie uit het veld (van de vijf voorkomens) niet uitkomt boven de maximale totale voorspelde productie in het 'hoog scenario' van sectie 6.5 van dit winningsplan, onafhankelijk van welke putten of infrastructuur hierbij gebruikt wordt. Als voorzien wordt dat de cumulatieve productie uit het veld gaat uitkomen boven de uiteindelijke cumulatieve productie in het 'hoog scenario', zal NAM het winningsplan dienen aan te passen;
- B.** de winning niet langer duurt dan de productieperiode in het 'hoog scenario'. Als NAM de winning langer wil voortzetten, zal een verzoek tot wijziging in het instemmingsbesluit moeten worden ingediend of een aangepast winningsplan;
- C.** de gemeten bodemdaling door gaswinning niet groter is dan voorspeld in hoofdstuk 7 van het winningsplan (inclusief de aangehouden onzekerheidsmarges). Als de bodemdaling door gaswinning groter blijkt (of groter lijkt te worden) dan voorspeld, zal NAM het winningsplan dienen aan te passen;
- D.** de voorkomens die zijn behandeld in dit winningsplan in de risicocategorie blijven ingedeeld zoals in hoofdstuk 8 berekend. NAM zal het winningsplan dienen aan te passen als op basis van nieuwe gegevens of inzichten het seismisch risico van een van de voorkomens in dit plan groter blijkt te zijn.

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

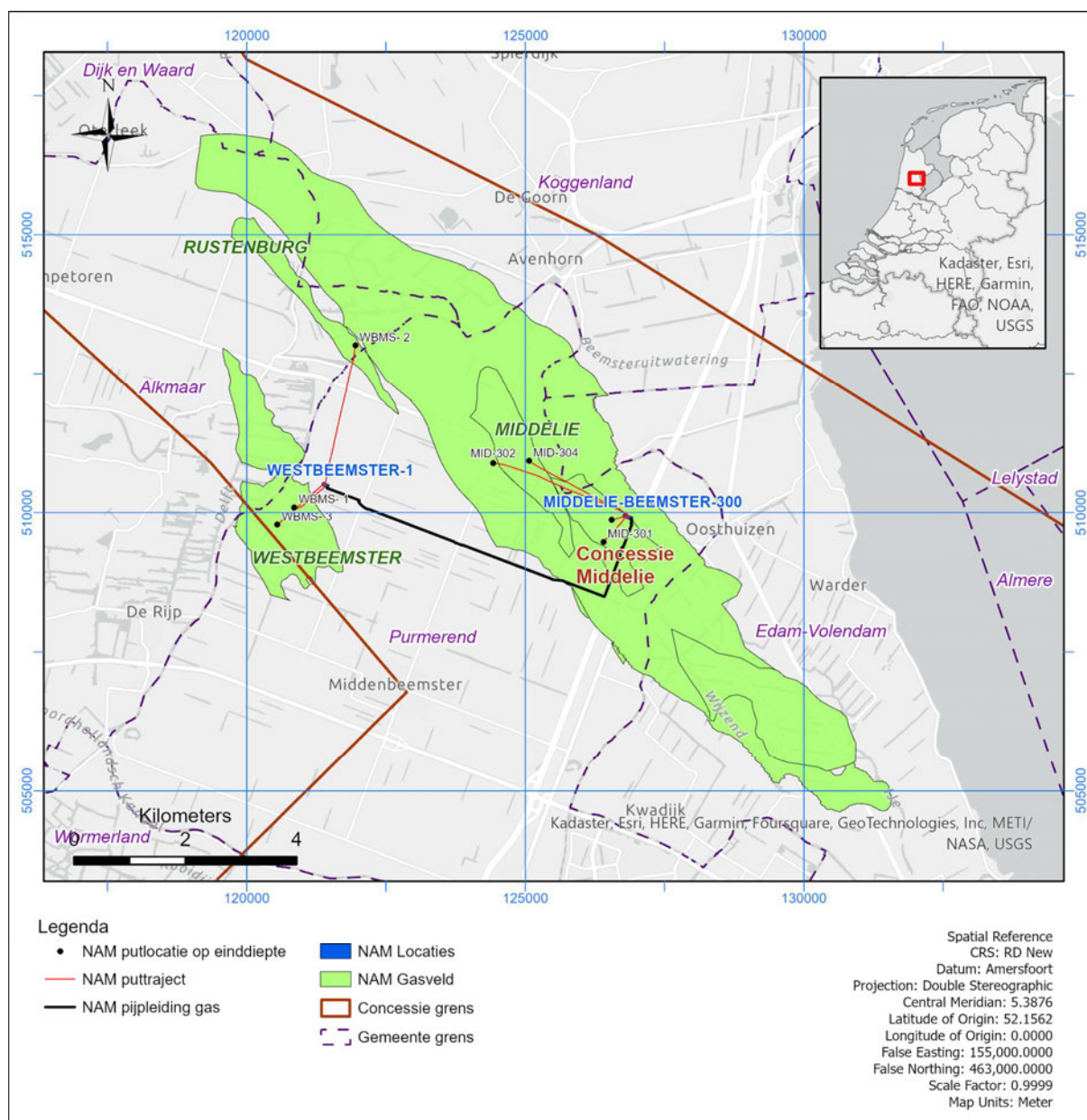
Een klein onderdeel van het winningsplan wordt apart toegezonden aan het Ministerie van Economische Zaken en Klimaat. Dit vertrouwelijke deel bevat bedrijfsgevoelige informatie over de verwachte productie- en investeringskosten. Omdat openbaarmaking de concurrentiepositie van NAM in gevaar zou kunnen brengen is dit onderdeel niet openbaar.

3 PLAATS VAN WINNING

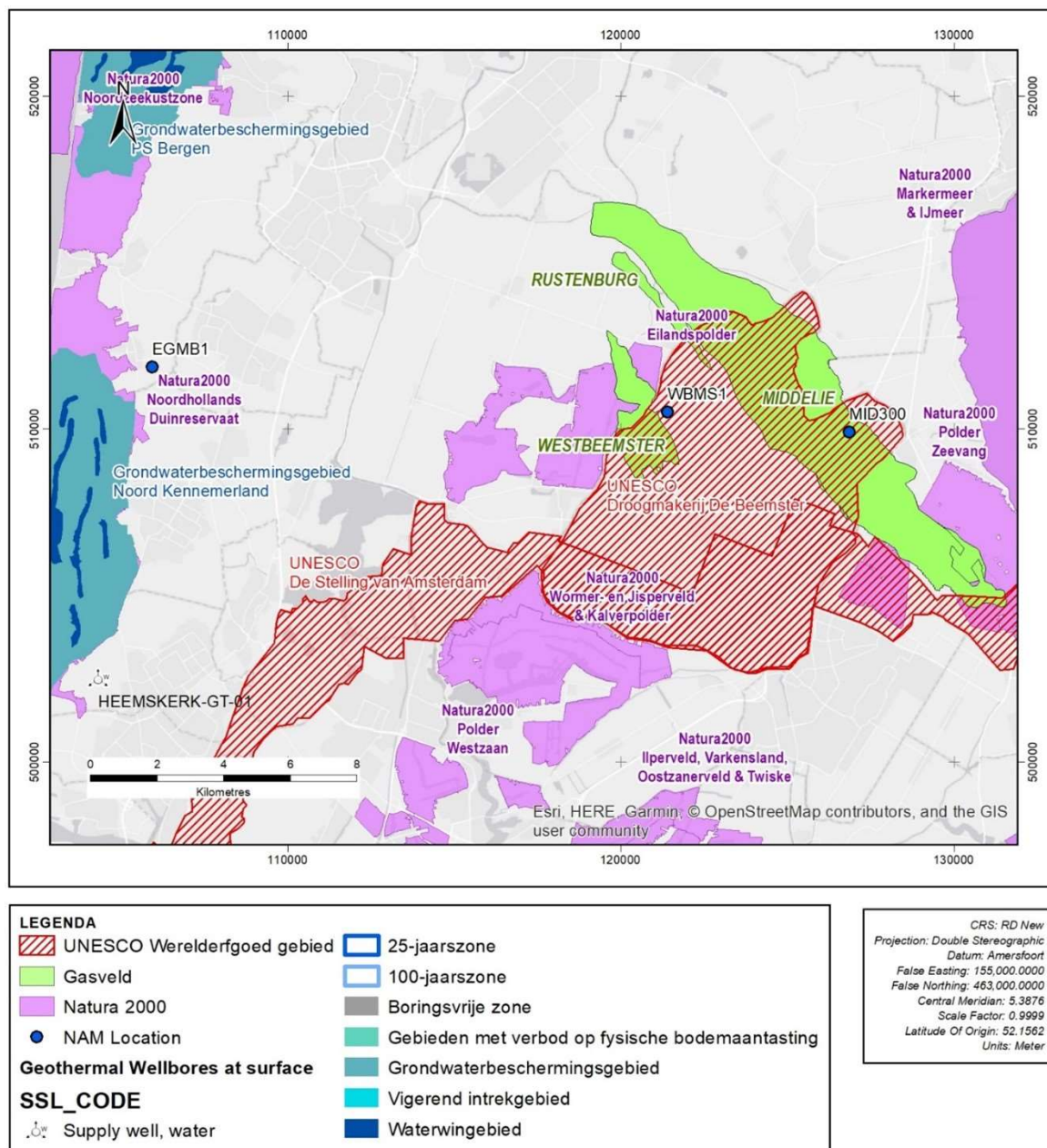
3.1 Productielocatie, put(ten) en voorkomen(s)

De Middelie-voorkomens worden vanaf de locatie Middelie-Beemster-300 (MID300) door meerdere putten geproduceerd. Het gas uit de voorkomens Westbeemster (WBMS) en Rustenburg (RST) wordt geproduceerd op de satellietlocatie Westbeemster-1 (WBMS-1). Een deel van het Westbeemster-voorkomen valt onder de Middelie Concessie en een deel onder de Bergen II Concessie. De voorkomens liggen in de gemeenten Alkmaar, Dijk en Waard (tot 01-01-2022 gemeente Heerhugowaard), Purmerend (tot 01-01-2022 gemeente Beemster), Koggenland en Edam-Volendam in de provincie Noord-Holland. In Figuur 3-1 een topografische kaart weergegeven met de locatie van de Middelie-, Westbeemster- en Rustenburg-voorkomens, de producerende putten, de oppervlakte locaties en de actieve pijpleidingen.

Nabij de productielocaties zijn geen waterwinning- en grondwaterbeschermingsgebieden aanwezig. De locaties bevinden zich nabij het Natura 2000 gebied Polder Zeevang, Eilandspolder en Markermeer en IJmeergebied. Tevens bevinden de productielocaties zich in het UNESCO werelderfgoed gebied De Beemster. Deze situatie is weergegeven in Figuur 3-2.



Figuur 3-1: Topografische kaart en overzicht van het Rustenburg, Westbeemster en Middelie veld.



Figuur 3-2: Positie van Natura 2000, waterwinning- en grondwaterbeschermingsgebieden ten opzichte van de voorkomens in dit winningsplan. Omringende olie- en gasvelden zijn niet weergegeven.

Luchtfoto's van de NAM-locaties:



Figuur 3-3: De Middelie-Beemster-300 puttenlocatie en behandelingsinstallatie.



Figuur 3-4: De Westbeemster-1 puttenlocatie.

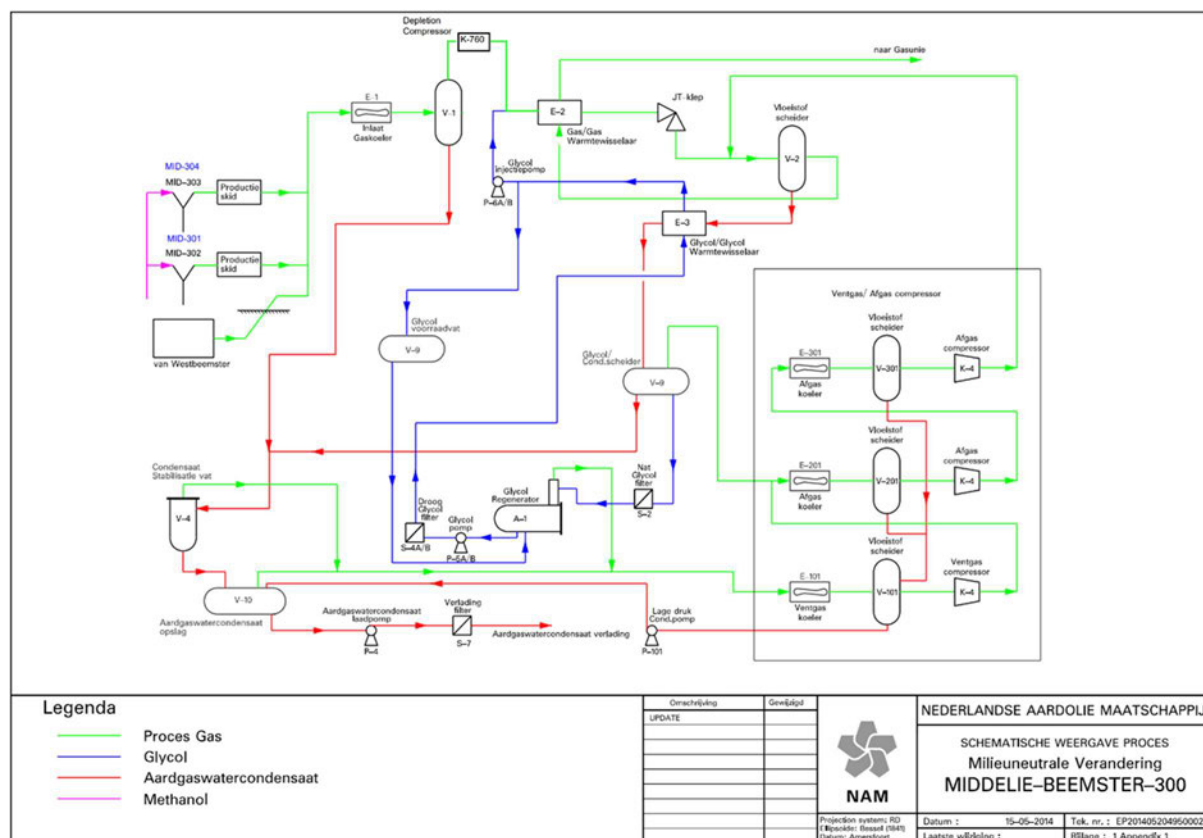
3.2 Schematische weergave gas- en waterbehandeling en afvoer van gas

Op de locatie MID300 wordt via meerdere putten aardgas gewonnen uit de Middelie-voorkomens. Ook op de locatie WBMS-1 wordt via meerdere putten aardgas geproduceerd uit de voorkomens Westbeemster en Rustenburg. Dit gas wordt onbehandeld via een pijpleiding naar de MID300-locatie getransporteerd.

De geproduceerde volumes aardgas worden behandeld in de behandelingsinstallaties op de MID300-locatie. De productie uit de putten wordt daarvoor samengevoegd en in 'separators' gescheiden in gas en aardgaswatercondensaat. Het gas wordt op specificatie gebracht voor aflevering aan GasUnie.

Een schematische weergave van dit proces is hieronder weergegeven in Figuur 3-5, inclusief de nieuwe depletiecompressor. Op het moment van schrijven van dit winningsplan is de depletiecompressor nog in aanbouw en daarom ook niet te zien op de luchtfoto in Figuur 3-3. Naar verwachting zal deze eind 2021 in bedrijf worden genomen.

De vloeistofstroom, aangegeven als aardgaswatercondensaat in Figuur 3-5, wordt momenteel met behulp van tankwagen transport vervoerd naar Delfzijl waar het wordt gescheiden en verwerkt.



Figuur 3-5: Schematische weergave van de olie-, gas- & waterbehandeling en afvoer van het gas.

4 BORINGEN

4.1 Inleiding: Algemene beschrijving van een put

Figuur 4-1 geeft een schematische weergave van een productieput. Hieronder volgt een korte beschrijving van het boren van een put en de belangrijkste onderdelen.

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

Tijdens het boorproces wordt er gebruik gemaakt van een boorvloeistof. Deze zorgt voor het aandrijven van de motor, het verwijderen van boorgruis en de koeling van de boorpijp. Ook levert deze boorvloeistof een hydrostatische druk in het boorgat om vloeistof-instroom te voorkomen.

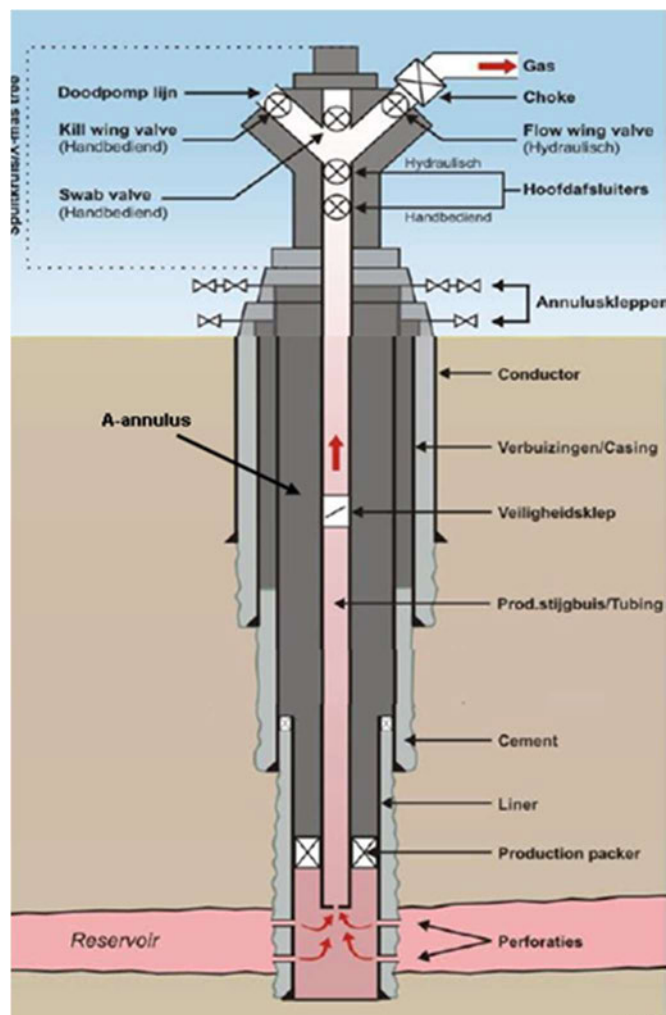
Bovenop het boorgat staat een metalen installatie, bestaande uit verschillende afsluiters die tijdens het boorproces geactiveerd kunnen worden: dit is de BOP ("blow out preventer").

Het boren van een put door de verschillende grondlagen gebeurt in secties waarvan de diameter afneemt met de diepte.

Het boorgat wordt verstevigd door middel van een metalen buis: verbuizing ofwel 'casing'. De casing wordt in het boorgat vast gecementeerd waardoor een sterke en stabiele put ontstaat. Dit geeft bescherming en isolering van de bovenliggende grondlagen en het grondwater. Het boren van secties en zetten van een casing herhaalt zich meerdere keren totdat het gasveld is bereikt.

Voor de gasproductie wordt een aparte productie-stijgbuis ('tubing') gebruikt. Deze verbuizing zorgt ervoor dat het aardgas gecontroleerd omhoog kan stromen. De tubing is dus een buis in de casing en is zodoende een extra barrière voor het gas.

De ruimte tussen de tubing en de casing wordt 'A-annulus' genoemd. De druk in deze annulus wordt voortdurend gemonitord om de goede staat, de integriteit, van de put te kunnen waarborgen. De tubing beschikt ook over verschillende veiligheidskleppen.



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

Als de tubing is geïnstalleerd, worden er perforaties gemaakt in de casing ter hoogte van de gasvoerende lagen en kan het gas door de tubing omhoog stromen.

Aan het oppervlakte is de 'X-mas tree' of spuitkruis de verbinding tussen de tubing en de bovengrondse leidingen. Deze 'X-mas tree' is zichtbaar op de locaties en bevat diverse kleppen die nodig zijn om de put te bedienen. In de X-mas tree en in de installatie op de putlocatie zijn speciale meters aanwezig waarmee druk, temperatuur, en stroomsnelheid continu gemeten kunnen worden.

4.2 Overzicht boring(en)

In Tabel 4-1: Lijst van actieve putten per voorkomen zijn de zeven huidige (actieve) putten per locatie en voorkomen weergegeven.

Het uiteindelijk aantal putten voor de voorkomens is onzeker. In het midden productiescenario zijn geen extra boringen meegenomen. Het hoog scenario bevat daarentegen vier extra boringen: in het Middelie Rotliegend, Middelie Zechstein, Rustenburg Zechstein en Rustenburg Rotliegend voorkomen. Daar zijn op dit moment geen concrete plannen voor, de mogelijkheden hiertoe worden door ons op een later moment geëvalueerd.

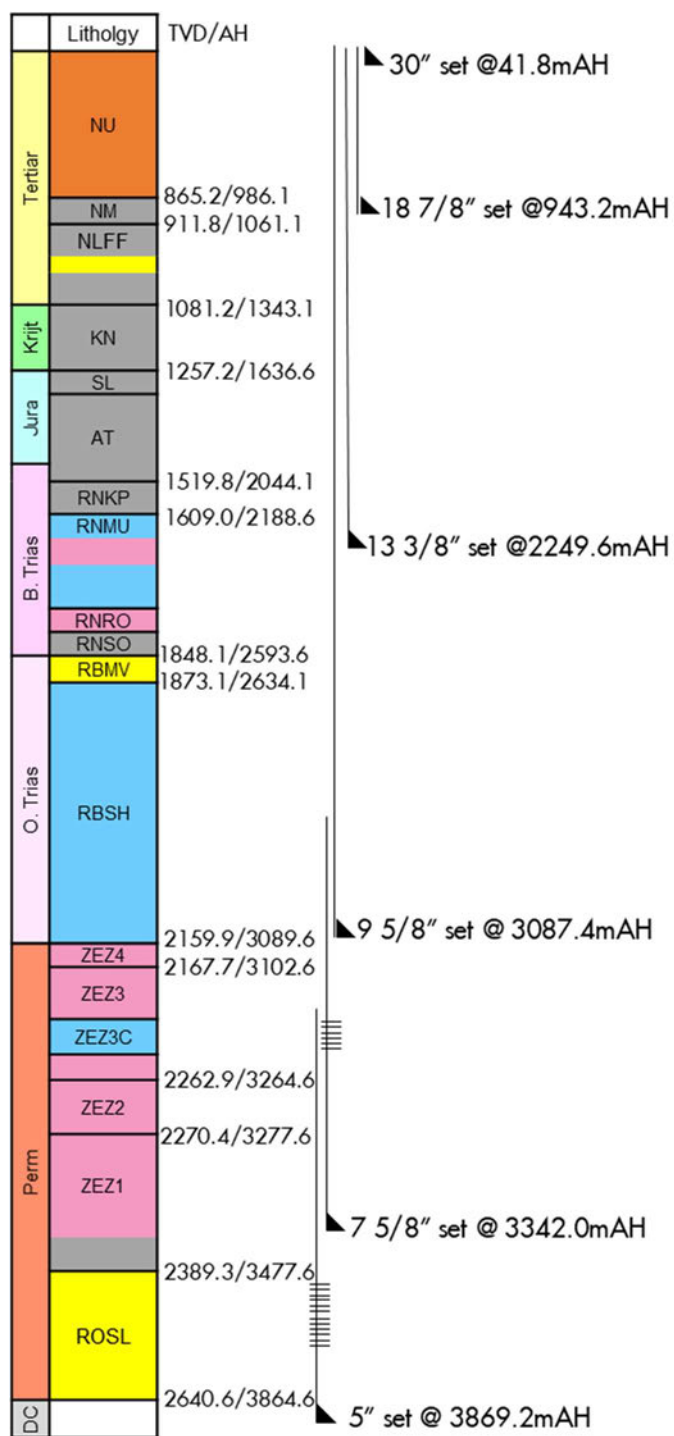
Tabel 4-1: Lijst van actieve putten per voorkomen

Putnaam	Locatie	Voorkomen	Status:
MID-301	MID300	Middelie Zechstein	Productieput
MID-302	MID300	Middelie Zechstein	Productieput
MID-303	MID300	Middelie Rotliegend	Productieput
MID-304	MID300	Middelie Rotliegend	Productieput
WBMS-1	WBMS-1	Westbeemster Rotliegend	Productieput
WBMS-2	WBMS-1	Rustenburg Rotliegend	Productieput
WBMS-3	WBMS-1	Westbeemster Rotliegend	Productieput

4.3 Schematische voorstelling putverbuizing(en)

In Figuur 4-2 is schematisch de putverbuizing van een Middelie-put weergegeven. In deze schematische weergave is zowel productie uit het Zechstein-reservoir als het Rotliegend-reservoir mogelijk. Via perforaties door de 7-5/8" liner wordt het Zechstein-reservoir in verbinding gesteld met een productiestijgbuis ('tubing', zoals weergegeven in Figuur 4-1).

Via de perforaties in de 5" liner wordt het Rotliegend-reservoir in verbinding gesteld met dezelfde tubing. De koolwaterstoffen worden ook via de tubing naar het oppervlak geproduceerd.



Figuur 4-2: Schematische voorstelling van een representatieve put geboord in het Middelie, Rustenburg en Westbeemster voorkomen. De einddieptes van de verbuizingen en geologische formaties verschillen tussen de putten, hier zijn de waarden getoond voor MID-303. Afhankelijk van de beschikbare gaskolom zijn de ROSL en/of de ZEZ3C geperforeerd.

4.4 Putstimulatie

Het reservoirgesteente van de Middelie-, Rustenburg- en Westbeemster-voorkomens is van voldoende kwaliteit waardoor er geen hydraulische stimulatie ('fracken') nodig is.

Tijdens de productie van een put kan het voorkomen dat er aanslag (zgn. scaling, bijvoorbeeld kalk of zout) optreedt aan de binnenkant van de verbuizing en in de perforaties. Om dit te verwijderen kan het voorkomen dat de put aan de binnenzijde met zuur behandeld wordt. Dit is een routinebehandeling waarbij geen overdruk gebruikt wordt, net zoals bij andere ontkalkingen. Deze ontkalking duurt ongeveer een dag en wordt uitgevoerd door een kleine onderhoudsploeg (er is geen boortoren nodig).

Integriteit van de afdekkende lagen

Aangezien er geen overdruk gebruikt wordt bij de routinebehandelingen ten behoeve van het herstel van de put productiviteit, bestaat er geen risico op negatieve effecten van de behandeling op de integriteit van de afdekkende lagen.

GROEP	FORMATIE	LAAG	DIEPTE TV (m onder NAP)
Zechstein (ZE)	Z3	Z3 Salt Member	2.221
		Main Anhydrite	2.265
		Z3 Carbonate *	2.268
		Grey Salt Clay	2.304
	Z2	Z2 Salt	2.310
		Z2 Middle Claystone	2.317
	Z1	Upper Anhydrite	2.332
		Z1 Salt	2.352
		Z1 Lower Anhydrite	2.355
		Z1 Fringe Carbonate	2.440
		Z1 Lower Claystone	2.446
Upper Rotliegend (RO)	Slochteren	Coppershale	2.454
		Slochteren Sandstone *	2.455,5

Figuur 4-3: Schematische aanduiding van het gashoudende gesteente van de Middelie-, Westbeemster- en Rustenburg-voorkomens waaruit geproduceerd wordt (*) en de verschillende lagen daarboven. Namen van afdekkende lagen zijn in **rode** tekst aangegeven. Dieptes zijn bij benadering, gebaseerd op de put MID-303.

5 ONDERGROND

5.1 Inleiding: hoe worden de ondergrond-eigenschappen gemeten

Voor het in beeld brengen van de ondergrond worden een groot aantal metingen uitgevoerd en modellen gemaakt die ons helpen om het voorkomen beter te begrijpen en een voorspelling te kunnen doen hoeveel gas er geproduceerd zal worden. Doordat de vorm van het veld alleen uit indirecte metingen kan worden vastgesteld, en doordat gesteente-eigenschappen alleen worden gemeten in en vlakbij bestaande putten, bestaat er altijd een onzekerheid over de grootte en de andere eigenschappen van het voorkomen. Voorspellingen zijn daardoor altijd door een onzekerheidsmarge omgeven. De grootte van de onzekerheidsmarge verschilt van parameter tot parameter, en zal dus een verschillende impact op verschillende voorspellingen hebben.

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

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

Uit deze boorgatmetingen worden de eigenschappen berekend van het gesteente rond de boorgaten. De eigenschappen van de gesteenten verder weg van de boorgaten worden verkregen door correlatie tussen de verschillende boorgaten, met behulp van een geologisch model van de ondergrond. Inherent hieraan zijn er onzekerheden, omdat de eigenschappen van de gesteenten niet overal hetzelfde zijn, en metingen op een klein aantal locaties over een heel veld of zelfs naar een naburig veld geëxtrapoleerd moeten worden. Het gevolg van deze omstandigheden is dat er onzekerheden bestaan over de diverse aspecten van het voorkomen, zoals de hoeveelheid gas, de mogelijke productiesnelheid, het verloop daarvan in de tijd, maar ook over de uiteindelijke bodemdaling. Dat leidt ertoe dat voorspellingen aangaande deze zaken van onzekerheidsmarges zijn voorzien.

5.2 Geologie en gesteente-eigenschappen van het voorkomen

Hieronder worden de geologische formaties uiteengezet, zowel die waarin de voorkomens zich bevinden, als de bovenliggende formaties. Voor een volledige beschrijving met nadere uitwerking van gebruikte begrippen wordt verwezen naar *Geology of the Netherlands*, Wong et al. (eds), Royal Netherlands Academy of Arts and Sciences (Amsterdam University Press, 2007).

Tijdens de geologische geschiedenis - enkele honderden miljoenen jaren - worden lagen die organische bestanddelen bevatten soms diep begraven. Dat kan leiden tot het genereren van gas of olie. Het gas wat daarna door de druk vanuit die lagen naar boven stroomt ('migreert') komt terecht in een gesteente wat een 'reservoir' vormt indien deze is afgesloten door een afdekkende laag. De lagen in de ondergrond zijn in het algemeen over grote afstanden aanwezig.

Door bewegingen van, en botsingen tussen, de aardplaten zijn er in de geologische geschiedenis golven ontstaan in de lagen. Omdat gesteente niet buigzaam is kan dit leiden tot breuken. Het resultaat is dat de reservoir-gesteentes een gebogen bultvormige structuur hebben, anticline genaamd, met een centrale gebogen breuk naast de top van de anticline.

Ouderdom	Groep	Formatie	Laag	Afkorting	Doorstroming
Tertiair	North Sea (NS)	Upper		NU	
		Mid	Rupel	NM	
		Lower	Asse Clay	NLFFB	Impermeabel
			Brussels Sand	NLFFS	
			Ieper Clay	NLFFY	Impermeabel
			Basal Tuffite	NLFFT	
			Landen Clay	NLLFC	Impermeabel
Krijt	Rijnland (KN)	Vlieland	Main Vlieland Claystone	KNNCM	
			Friesland Member	KNNSF	
Jura	Schieland (SL)	Delfland	Zurich Formation	SLDZ	
	Altena (AT)	Aalburg		ATAL	Impermeabel
Trias	Boven Trias (RN)	Sleen		ATRT	
		Keuper		RNKP	
		Muschelkalk	Upper Muschelkalk member	RNMUU	
			Middle Muschelkalk Marl	RNMUA	
			Muschelkalk evaporite	RNMUE	
			Lower Muschelkalk member	RNMUL	
		Röt	Main Röt Evaporite	RNRO1	Impermeabel
		Solling	Solling Claystone	RNSOC	
			Basal Soling Claystone	RNSOB	
	Onder Trias (RB)	Volpriehausen	Lower Volpriehausen Sst	RBMVL	
		Lower Bundsandstein	Rogenstein	RBSR	
Perm	Zechstein (ZE)	Z4	Z4 Salt member	ZEZ4H	Impermeabel
			Red Salt Clay	ZEZ4R	
		Z3	Z3 Salt Member	ZEZ3H	
			Main Anhydrite	ZEZ3A	
			Z3 Carbonate	ZEZ3C	
			Grey Salt Clay	ZEZ3G	Impermeabel
			Z2	Z2 Salt	
		Z2 Middle Claystone		ZEZ2M	
		Z1	Upper Anhydrite	ZEZ1T	
			Z1 Salt	ZEZ1H	
			Z1 Lower Anhydrite	ZEZ1L	
			Z1 Fringe Carbonate	ZEZ1F	Impermeabel
			Z1 Lower Claystone	ZEZ1G	
			Coppershale	ZEZ1E	
		Upper Rotliegend (RO)	Slochteren	Slochteren Sandstone	ROSL
Carboon	Limburg (DC)			DC	Oorsprong gas

Figuur 5-1: Geologische tijdschaal met bijbehorende geologische members en hun afkortingen. Enkele van deze gesteentelagen in de Zechstein en het Rotliegend zijn voorkomingsgesteente voor aardolie en/of aardgas en zijn afgedekt met een niet-doorlatende laag (zie rechter kolom).

Reservoir Formaties*Zechstein Groep (Perm, lichtrood)*

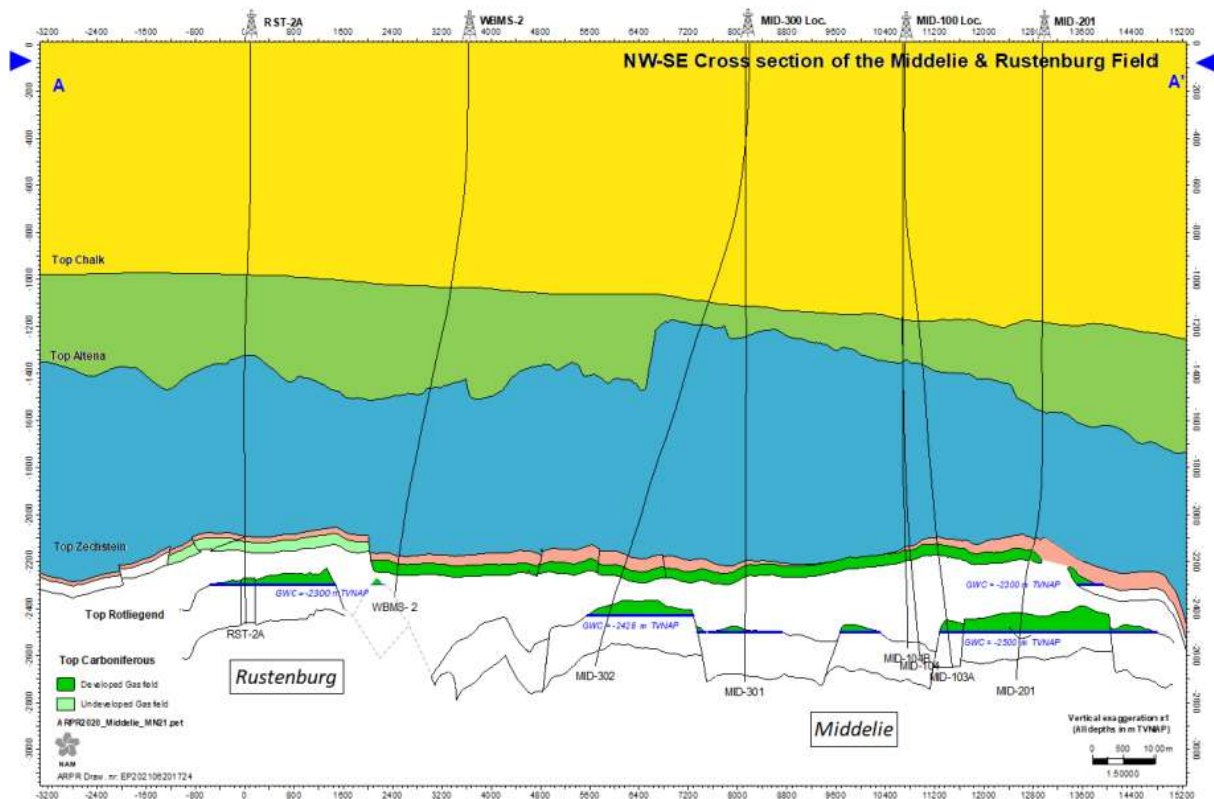
De Zechstein groep bevat in dit gebied twee gashoudende voorkomens. Het Zechstein heeft zich ontwikkeld tijdens het Perm tijdperk en bevat als reservoirgesteente de Z3 Carbonaten (ZEZ3C). Het afzettingsmilieu van de ZEZ3C sedimenten kenmerkt zich als een naar het noord-oosten prograderend carbonaatplatform. Een carbonaatplatform wordt gevormd in zee door kalkskeletten van grotere rifvormende organismen zoals schelpdieren en koralen. Ook bezinkende kleine kalkskeletten dragen bij aan de accumulatie van kalk. De laag is gemiddeld 40 meter dik, en kan worden opgedeeld in 3 zones waarvan de bovenste zone een redelijke reservoir kwaliteit heeft. Samen telt dit op tot een gemiddelde netto depleterende reservoir dikte van 15 meter. De afdichting wordt gevormd door overliggende Zout en Anhydriet lagen uit het Zechstein.

Upper Rotliegend Groep (Perm, rood)

De Upper Rotliegend groep bevat in dit gebied drie gashoudende voorkomens. Het Rotliegend heeft zich ontwikkeld tijdens het Perm tijdperk en bevat de Slochteren zandsteen laag (ROSL). Dit is een 120-240 meter dikke zandsteenlaag die is afgezet in een droog continentaal en eolisch milieu. Deze zandsteen is van redelijk goede reservoir kwaliteit en relatief goede doorlatendheid, waarbij de kwaliteit richting de top vermindert. De Slochteren Formatie wordt afgedekt door de Zechstein groep die een ondoorlatende afsluiting vormt en het gas in het reservoir insluit.

Bron Koolwaterstoffen*Limburg Groep (Carboon, grijs)*

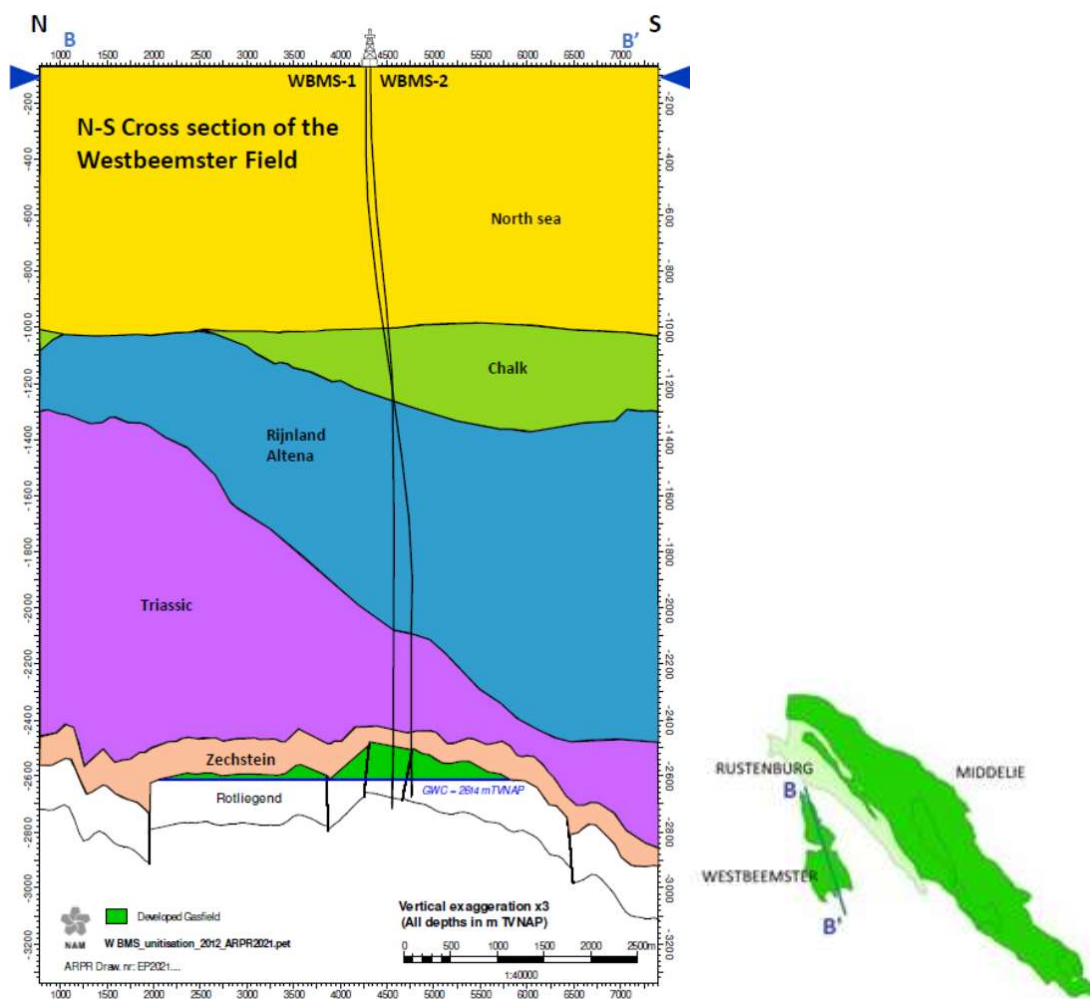
Het gas in de Rotliegend en Zechstein voorkomens is gevormd in de onderliggende koollagen van het Carboon. Omdat dit diep is begraven, onder voldoende druk en temperatuur, zijn deze organische elementen gas gaan genereren. Omdat gas lichter is dan water is dit gas in verloop van tijd omhoog gemigreerd naar de bovenliggende zandsteen- en carbonaatlagen van Perm ouderdom die de reservoirs vormen. Deze migratie van gas gebeurde langs breuken, door verticaal permeabele lagen en natuurlijke scheurtjes. Het gas verzamelt zich in de hoogste plaatsen van het reservoir waar het wordt tegen gehouden door een afdichtende laag. Boringen zullen dan ook net onder het hoogste punt gericht zijn om bij het gas uit te komen.



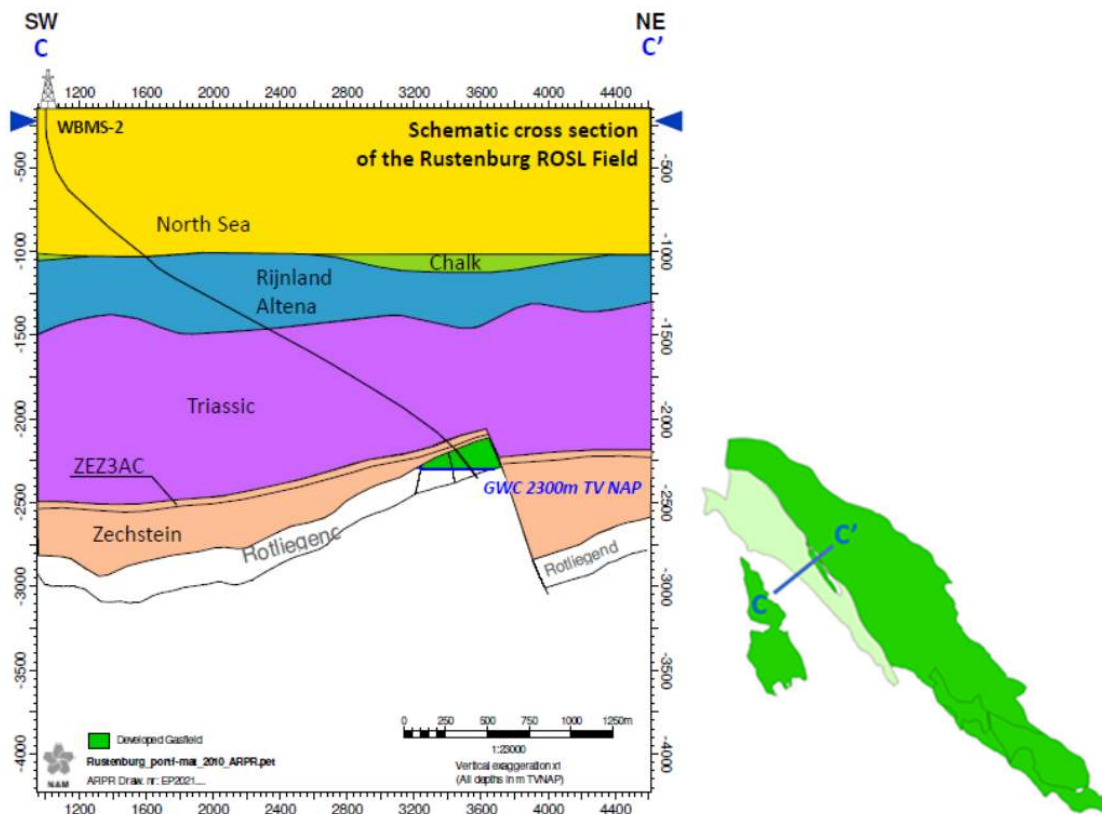
Figuur 5-2: Middelie en Rustenburg veld: Geologische Noordwest-Zuidoost dwarsdoorsnede vanaf het maaiveld tot aan de Upper Rotliegend Groep. De bovenliggende lagen zijn weergegeven op Groep niveau. Gashoudend gesteente is aangeduid in donkergroen. Ook is rechtsboven met een blauwe wig de typische diepte voor waterwinning weergegeven (tot ~150 meter).

Structuur

- Het Westbeemster Rotliegend-voorkomen ligt op de noordelijke flank van het Gouwzee Trog in een structureel complex gebied. De structuur bestaat uit breukblokken waarnaar het gas gemigreerd is en waar het wordt afgedicht door de Zechstein lagen.
- Het Middelie Rotliegend-voorkomen bestaat uit verschillende breukblokken die worden begrensd door breuken en het gas-water contact. Het veld wordt aan de bovenkant afgesloten door de ondoorlaatbare zouten van het Zechstein.
- Het Rustenburg Rotliegend-voorkomen is een steil dippend breukblok dat wordt begrensd door een grote breuk en het gas-watercontact.
- De Zechstein-voorkomens bestaan uit een verbreukte NO-SW strekkende anticline. Een centrale breuk aan de zuidelijke kant van het veld scheidt het Middelie- van het Rustenburg-voorkomen. Naar het oosten toe wordt de velden begrensd door breuken, waarbij naastliggende blokken leeg zijn door het ontbreken van de reservoir laag (floater gap op de kaart). Naar het noorden toe is het veld begrensd doordat de laag verandert van samenstelling en geen reservoir meer is.
- Het Middelie-voorkomen is een vlakke structuur die de top van de anticline vormt.
- Het Rustenburg-voorkomen is een sterk dippend breukblok. De structuur wordt afgedicht door de bovenliggende zout en anhydriet laag.



Figuur 5-3 : Het Westbeemster-gasveld: geologische Noord-Zuid dwarsdoorsnede vanaf het maaiveld tot aan de Upper Rotliegend Groep. De bovenliggende lagen zijn weergegeven op Groep niveau. Gashoudend gesteente is aangeduid in donkergroen. Ook is rechtsboven met een blauwe wig de typische diepte voor waterwinning weergegeven (tot ~150m).



Figuur 5-4: Het Rustenburg-gasveld: geologische Zuidwest-Noordoost dwarsdoorsnede vanaf het maaiveld tot aan de Upper Rotliegend Groep. De bovenliggende lagen zijn weergegeven op Groep niveau. Gashoudend gesteente is aangeduid in donkergroen. Ook is rechtsboven met een blauwe wig de typische diepte voor waterwinning weergegeven (tot ~150m).

Reservoir Eigenschappen

In

Tabel 5-1 zijn de verwachte gemiddelde gesteente-eigenschappen van de verschillende voorkomens in het Winningsplan Middelie weergegeven. Toelichting op de afkortingen:

- De verhouding van reservoir (doorlatend en gashoudend) ten opzichte van klei (ondoorlatend en niet producerend) wordt aangegeven met Net-to-Gross (NtG).
- De verhouding van het (gashoudend) poriënvolume ten opzichte van het totale gesteentevolume is aangegeven met de porositeit (Por).
- De mate van doorlatendheid van het gesteente wordt aangeduid met permeabiliteit (Perm).

De eigenschappen zijn gebaseerd op log-informatie, gecombineerd met evaluaties van de kernen (gesteente) die genomen zijn bij de boringen in het Middelie-veld. Hierbij moet gemeld worden dat de eigenschappen een onzekerheid met zich meebrengen.

Voorkomen	Laag	NtG (v/v)	Por (v/v)	Perm (mD)
Middelie	ZEZ3C	1	0.06	20
	Slochteren	1	0.17	50
Rustenburg	ZEZ3C	1	0.06	20
	Slochteren	1	0.10	5
Westbeemster	Slochteren	1	0.10	3

Tabel 5-1: Gemiddelde fractie van net reservoir zand in de formatie (NtG), met daarbij de gemiddelde porositeit (Por) en permeabiliteit (Perm) van dat net reservoir.

5.3 Gesteente-eigenschappen van de bovenliggende lagen

Boven de reservoirs in de Zechstein en het Rotliegend bevindt zich nog ongeveer ~2250 meter gesteente. Dat bestaat uit de volgende formaties (van boven naar beneden, zie ook Tabel 5-1):

Tertiair

- Boven-Noordzee: kleilagen (impermeabel) afgewisseld met zandlagen. Deze formatie beslaat de bovenste ~800 meter. Het grondwater bevindt zich hierin.
- Midden-Noordzee: siltige kleilagen.
- Onder-Noordzee: kleilagen (impermeabel) afgewisseld met zandlagen.

Krijt

- Vlieland: kleistenen (impermeabel) afgewisseld met silt- en zandstenen.

Jura

- Delfland: fijnkorrelige zand- tot siltige kleilagen met dunne zand of carbonaat lagen.
- Aalburg: opeenvolging van soms kleistenen (impermeabel) met af en toe dunne kleiige kalksteenlagen. Plaatselijk siltig tot zandig.

Trias

- Sleen: fossielhoudende kleistenen.
- Keuper: siltige anhydritische kleistenen.
- Muschelkalk: afwisseling van mergels, kalkstenen, anhydritische kleistenen, en steenzout.
- Röt: steenzout.
- Solling: kleistenen (impermeabel) afgewisseld met silt- en zandstenen.
- Volpriehausen: zandstenen afgewisseld met kleisteen.
- Lower Bundsandstein: siltige kleistenen, met bovenin tot 1 m dikke oolietlagen.

Voor de voorkomens in dit winningsplan geldt dus dat deze op redelijke diepte liggen en dat zich een aantal impermeabele en continue lagen tussen het voorkomen en het oppervlak bevinden.

5.4 Andere gebruiksmogelijkheden van de ondergrond

Waterwinning vindt plaats in de bovenste lagen van de 'Boven-Noordzee formatie', boven de grens waar het zoete grondwater overgaat naar het zoute water. Deze grens ligt in dit gebied lokaal tussen 0–150 meter diepte, de meest voorkomende diepte is tussen 50–100 meter.

Zout water is aanwezig in de ondergrond tot aan de basis van een sedimentair bassin (>5km. in Nederland), en vaak ook verder. Het dichtstbijzijnde waterwinningsgebied ligt op zo'n grote afstand van de Middelie-productielocatie dat er geen interactie zal plaatsvinden.

Geothermische projecten kunnen gescheiden worden in 'bodemwarmte' en 'aardwarmte':

- Bodemwarmte haalt men tot enkele honderden meters diep uit de bodem en wordt gebruikt voor verwarming van woningen, gebouwen en kassen. Dit soort projecten wordt veelvuldig toegepast in Nederland. Omdat het boren zich beperkt tot de bovenste ~300 meter is er geen interactie met gaswinning.
- Aardwarmte maakt gebruik van energie diep uit de aarde en putten moeten anders dan bij bodemwarmte dieper geboord worden (meer dan 2 kilometer diep, afhankelijk van de locatie). Een dergelijk geothermieproject bestaat doorgaans uit een producerende put (deze pompt warm water uit het reservoir) en een injectie put (deze brengt het afgekoelde water weer terug in hetzelfde reservoir). In de directe nabijheid van het Middelie-veld zijn dergelijke geothermie projecten nog niet uitgevoerd. Gezien de rol van geothermie in de energietransitie is het waarschijnlijk dat dit in de toekomst wel gaat gebeuren. SodM is toezichthouder op zowel gaswinning als geothermie, waardoor eventuele interactie voorkomen zal worden.

Zoutwinning, gasopslag of ander gebruik van de diepe ondergrond is niet voorzien in het gebied zoals aangegeven in Figuur 3-1.

6 ONTWIKKELINGSVOORUITZICHTEN

6.1 Inleiding

De ontwikkeling van de vier voorkomens die geproduceerd worden via het Middelie-productiesysteem is begonnen met de voorkomens in het Middelie-systeem zelf. De eerste fase van productie¹ uit de reservoirs in de Zechstein en het Rotliegend begon in 1975 en heeft geduurd tot 1991. De productie is toen ingesloten doordat de hoeveelheid meegeproduceerd water te hoog opgelopen was. In de tweede fase is het de Zechstein-reservoir van Middelie herontwikkeld, samen met het Rotliegend-reservoir in Westbeemster. Beiden zijn in productie genomen in 2007, twee jaar later gevolgd door het Rotliegend-reservoir in Rustenburg. In 2015 is vervolgens ook het Rotliegend-reservoir in Middelie herontwikkeld.

De voorkomens produceren langer dan in het winningsplan, ingediend in 2014, was voorspeld. Dat is te wijten aan de grote onzekerheid die destijds rond de voorspelling bestond. De meeste putten waren nog niet lang in productie en de putten in het Middelie Rotliegend-reservoir moesten nog geboord worden. Daarnaast is het effect van compressie, dat voor de berekeningen in het winningsplan uit 2014 slechts in grove lijnen was meegenomen, in de huidige modellen in meer detail gemodelleerd en gebaseerd op een compleet compressor ontwerp.

Voor alle vier de voorkomens zijn de productievooruitzichten geactualiseerd. Voor de voorkomens in de Middelie Zechstein- en Rotliegend-reservoirs en het Rustenburg Rotliegend-reservoir zijn er, naast productie uit de bestaande putten, in het hoog scenario ontwikkelingen voorzien door middel van extra boringen. In dat hoog scenario is ook de ontwikkeling van het Rustenburg Zechstein-reservoir door middel van een extra boring meegenomen en waarmee deze als vijfde voorkomen in productie genomen zou kunnen worden. Daar zijn op dit moment geen concrete plannen voor, dit wordt op een later moment geëvalueerd.

6.2 Historische Productie

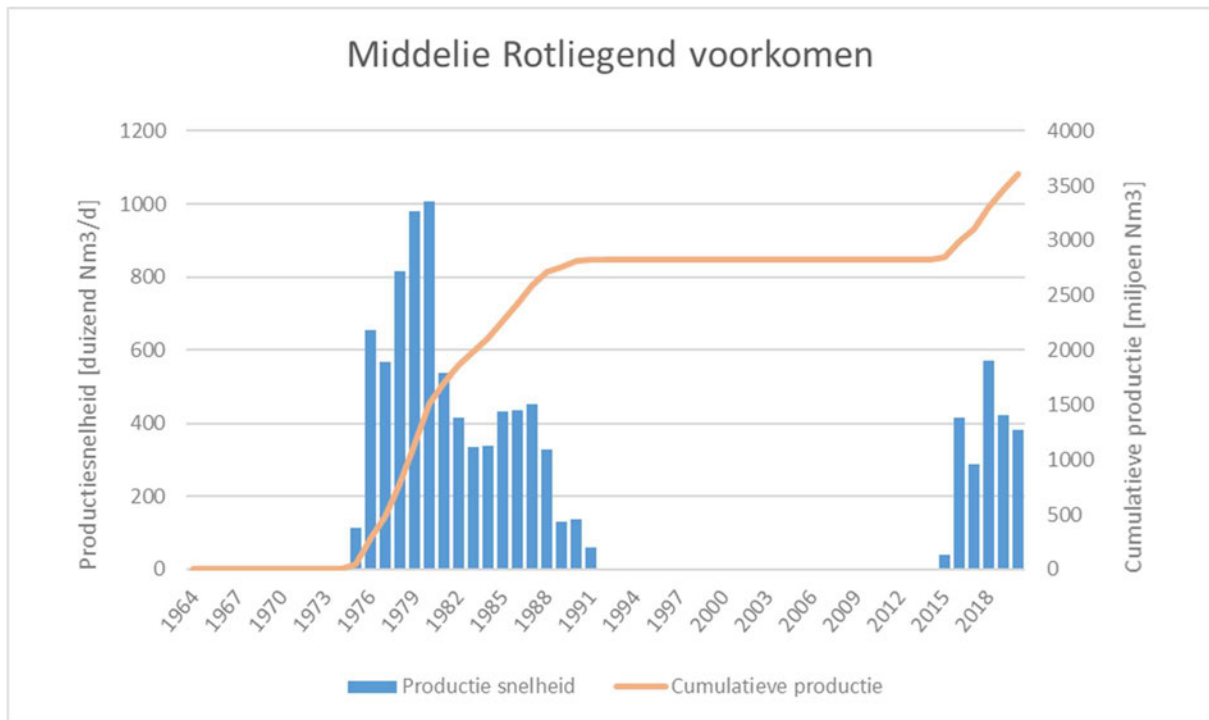
De historische gasproductie per jaar is te vinden in het overzicht hieronder. Voor de productie vanaf 1975 tot en met 2006 zijn alleen de cumulatieve hoeveelheden gegeven.

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

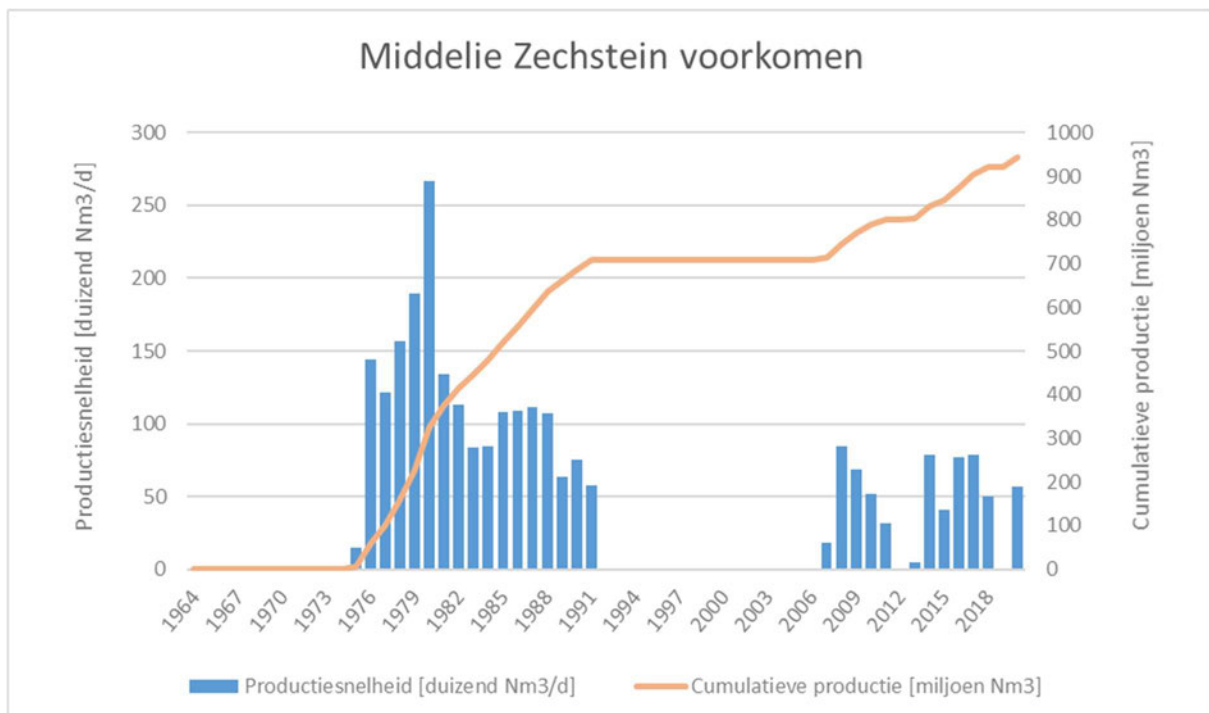
Productie	Productie t/m 2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	Productie t/m 2020
[in miljoen Nm ³]																
Middelie Rotliegend	2.830	0	0	0	0	0	0	0	0	14	152	105	208	155	140	3.604
Middelie Zechstein	708	7	31	25	19	12	0	2	29	15	28	29	18	0	21	942
Rustenburg Rotliegend	0	0	0	39	126	124	93	62	43	48	20	13	5	10	17	598
Westbeemster Rotliegend	0	15	64	86	119	125	135	248	270	238	198	179	154	127	116	2.077

¹ Los van een korte productie test in 1964.

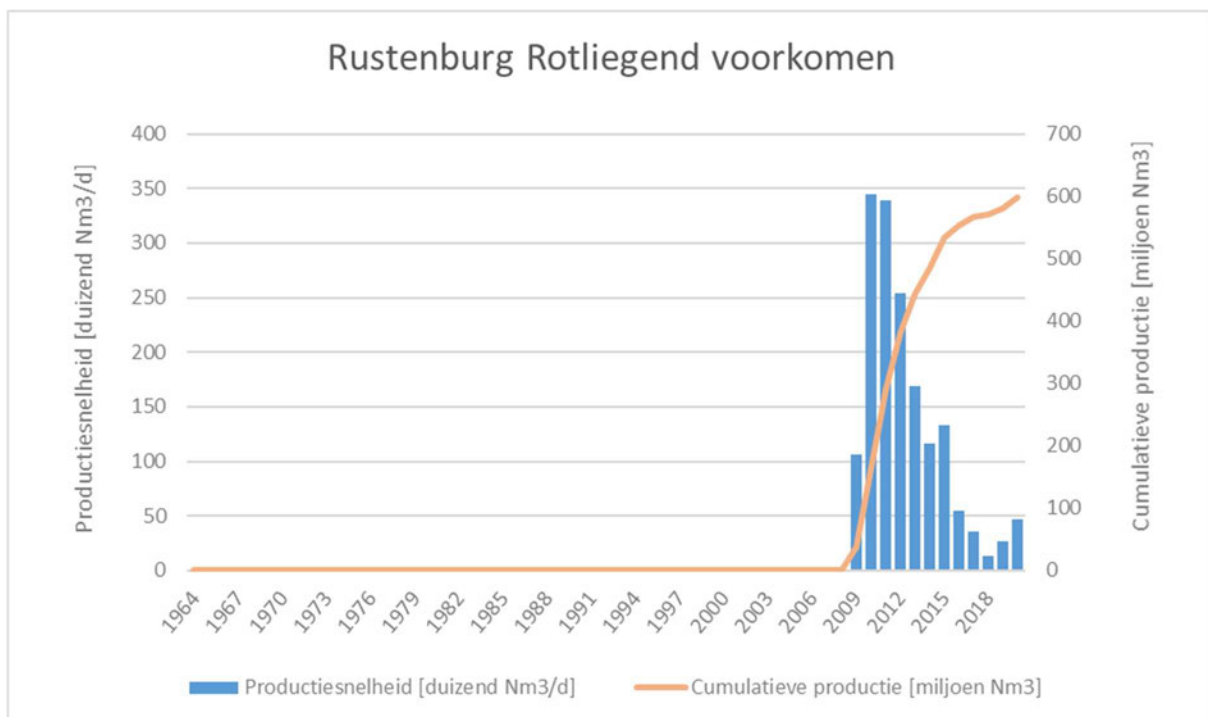
Figuur 6-1, Figuur 6-2, Figuur 6-3 en Figuur 6-4, geven de historische productiesnelheid (staafdiagram) en cumulatieve productie (lijn) grafisch weer. Uit de grafieken valt af te lezen dat de productie uit de voorkomens in het Middelie-veld in twee fasen is verlopen: fase 1 van 1975 tot 1991, fase 2 vanaf 2007. In fase 2 zijn ook de Rustenburg- en Westbeemster- velden ontwikkeld. De productie uit fase één is gerealiseerd zonder compressie, ook de productie uit fase twee heeft tot zover plaatsgevonden zonder compressie.



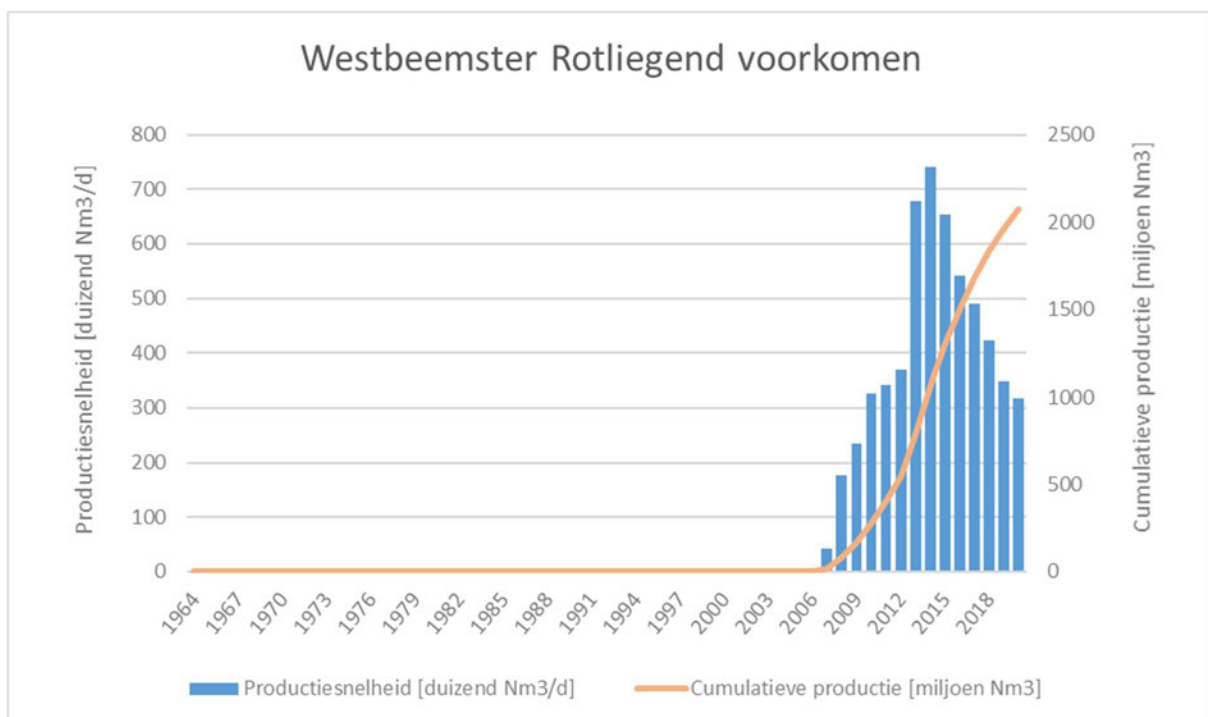
Figuur 6-1: Historische productiesnelheid en cumulatieve productie van het Middelie Rotliegend voorkomen.



Figuur 6-2: Historische productiesnelheid en cumulatieve productie van het Middelie Zechstein voorkomen.



Figuur 6-3: Historische productiesnelheid en cumulatieve productie van het Rustenburg Rotliegend voorkomen.



Figuur 6-4: Historische productiesnelheid en cumulatieve productie van het Westbeemster Rotliegend voorkomen.

6.3 Onzekerheden

De onzekerheid van toekomstige productie van de Middelie-, Westbeemster- en Rustenburg-gasvelden is afhankelijk van verschillende factoren:

- de hoeveelheid gas die nog verbonden is met de bestaande putten;
- de mate waarin de aanpalende breukblokken in het reservoir in communicatie zijn;
- het tijdstip waarop het water de putten bereikt en de snelheid waarmee de waterproductie daarna toeneemt;
- de gasproductie-snelheid van eventuele nieuwe putten in de Rotliegend- en Zechstein-voorkomens;
- de impact van de binnenkort aan te sluiten compressor op de putten.

Deze onzekerheden kunnen afnemen door monitoring van reservoirgedrag van de bestaande en toekomstige putten.

6.4 Winningsstrategie en reservoirmanagement

Algemene winningsstrategie

Op de Middelie-Beemster-300 locatie wordt aardgas gewonnen uit twee voorkomens: het Middelie Zechstein-reservoir en het Middelie Rotliegend-reservoir. Op de Middelie-locatie wordt ook het aardgas verwerkt dat op de (satelliet-)locatie Westbeemster-1 wordt gewonnen uit het Westbeemster Rotliegend-reservoir en het Rustenburg Rotliegend-voorkomen. In de toekomst kan ook het Rustenburg Zechstein-voorkomen ontwikkeld worden.

De bij de gaswinning vrijgekomen vloeistoffen worden naar een andere locatie getransporteerd voor verdere verwerking. De winning uit alle voorkomens vindt momenteel plaats doordat het gas naar de put stroomt als gevolg van de aanwezige reservoirdruk. Omdat met het produceren van het gas de druk in de reservoirs verder daalt, bereiken de putten langzaamaan het punt waarop gas niet meer uit zichzelf naar boven stroomt tegen de druk van het systeem. Om dit te verhelpen wordt op de Middelie-Beemster-300 locatie binnenkort een compressor in gebruik genomen.

Reservoirmanagement

Wanneer het water uit de aquifer (het ondergronds, watervoerend deel van het reservoir dat naast en/of onder het gasvoerende deel gelegen kan zijn) voortijdig de putten bereikt, kan door middel van een plug geprobeerd worden het waterproducerende deel van de put te isoleren.

Wanneer de druk in de reservoirs zo ver is gedaald dat de putproductie stopt, ook met de hulp van compressie, kan een vorm van de-liquificatie toegepast worden. In de regel gebeurt dit door schuim onderin de put te injecteren of door het installeren van een zogenoemde 'velocity string', een dunne verbuizing die binnen in de productie verbuizing neergelaten wordt om de effectieve diameter voor productie te verkleinen.

Voor de Middelie- en de Rustenburg-voorkomens (voor beide in de Zechstein en Rotliegend reservoirs) zijn nog eventuele extra boringen mogelijk die de winning van het veld kunnen verbeteren. Uitvoering hiervan zal de gangbare vergunningsprocedures volgen (zie ook Hoofdstuk 9).

In navolgend overzicht wordt de verwachte totale gaswinning per voorkomen gegeven.

- De 'statische GIIP' geeft de hoeveelheid gas die oorspronkelijk in het reservoir aanwezig was.
- Het 'Midden' en 'Hoog' scenario verwijzen naar de voorspellingen zoals beschreven in sectie 6.5.
- Het 'winningspercentage' is gedefinieerd als het percentage van de oorspronkelijke aanwezige hoeveelheid gas die geproduceerd wordt.

Voorkomen	Totale winning tot eind 2020	VERWACHTE WINNING NA 2020 (MIDDEN)	Statische GIP (Midden)	Verwacht winnings- percentage (Midden)	VERWACHTE WINNING NA 2020 (HOOG)	Statische GIP (Hoog)	Verwacht winnings- percentage (Hoog)
	[miljoen Nm ³]	[miljoen Nm ³]	[miljoen Nm ³]	[%]	[miljoen Nm ³]	[miljoen Nm ³]	[%]
Middelie Rotliegend	3.604	1.733	9.250	58%	2.721	10.080	63%
Middelie Zechstein	942	512	3.641	40%	1.128	5.911	35%
Rustenburg Rotliegend*	598	410	1.387	73%	911	1.574	96%
Rustenburg Zechstein	0	0	1.005	0%	449	1.820	25%
Westbeemster Rotliegend*	2.077	1.229	3.818	87%	1.464	4.200	84%
TOTAAL VOLUME	7.221	3.884	19.101	n.v.t.	6.673	23.585	n.v.t.

* Het volume berekend op basis van het statisch model van de Westbeemster en Rustenburg Rotliegend-voorkomens is kleiner dan het volume dat in het dynamische model vereist is om het putgedrag te verklaren. De voorspelde cumulatieve productie ligt daarom hoger dan het statisch volume (2.935 mln Nm³ voor Westbeemster en 996 mln Nm³ voor Rustenburg). In deze tabel wordt daarom voor beide voorkomens het dynamisch berekende volume gebruikt.

De reservoirprestaties worden gemeten met de volgende methodes:

- voortdurende drukmeting in de 'X-mas tree' (metingen worden van afstand uitgelezen);
- gasproductiemetingen;
- regelmatige drukmetingen bij het reservoir;
- indien nodig saturatie-logs om veranderingen in het gas-water contact rond de put te monitoren.

6.5 Winningsnelheid (hoeveelheden per voorkomen/per jaar)

Voor elk van de vijf voorkomens zijn er drie te verwachten productieprofielen gegeven (Laag, Midden, Hoog) om de onzekerheid in tijd en volume aan te geven. In totaal komt dit neer op een nog te verwachten winning van 3.884 bij het midden-scenario tot 6.673 miljoen Nm³ aardgas bij het hoog-scenario over de periode 2021-2039, afhankelijk van het productiescenario. Tabel 6-2 geeft de verwachte productie uit de voorkomens zoals opgenomen in dit winningsplan. Opgemerkt dient te worden dat de gegeven getallen jaargemiddelden zijn, op dag-basis kunnen andere waarden voorkomen.

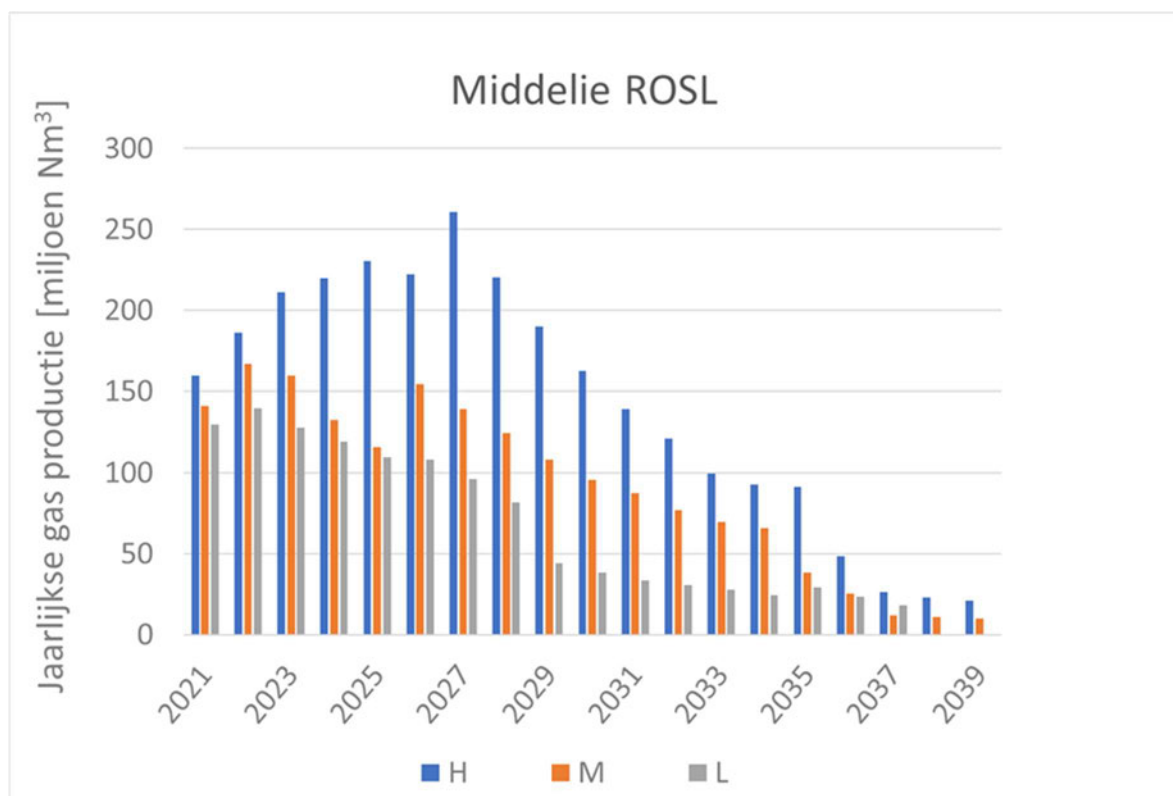
- o *Het Laag scenario (L)* gaat uit van de resterende hoeveelheden gas die op basis van een conservatieve inschatting met de huidige putten geproduceerd kunnen worden.
- o *Het Midden scenario (M)* gaat uit van de resterende hoeveelheden gas die op basis van een gemiddelde inschatting met de huidige putten geproduceerd kunnen worden.

- *Het Hoog scenario (H)* gaat uit van de resterende hoeveelheden gas die op basis van een optimistische inschatting met de huidige putten geproduceerd kunnen worden. Verder zijn hierin de volgende boringen meegenomen:
 - Een extra boring in het Middelie Rotliegend voorkomen
 - Een extra boring in het Middelie Zechstein voorkomen
 - Een extra boring in het Rustenburg Rotliegend voorkomen
 - Een extra boring in het Rustenburg Zechstein voorkomen

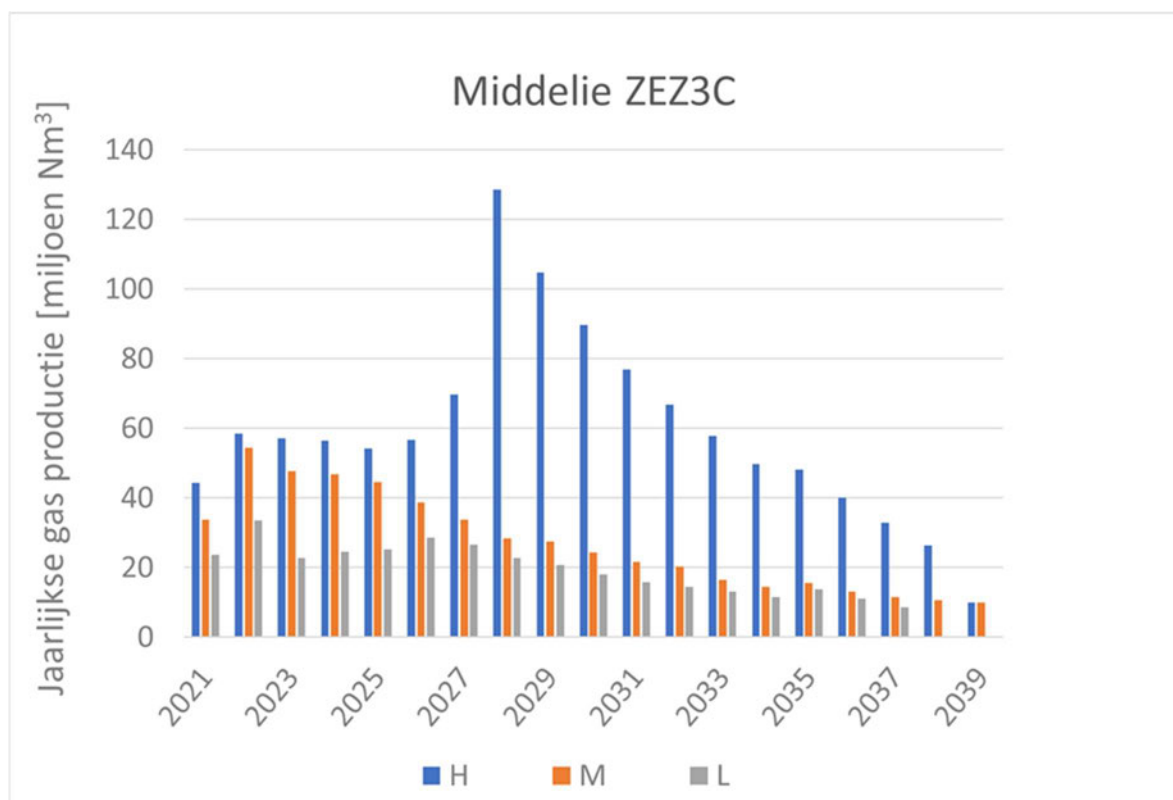
De mogelijkheden om aanvullende putten te boren moet nog geëvalueerd worden, hier zijn nog geen concrete plannen voor. De verwachtingen voor betreffende boringen in het hoog scenario, zoals hieronder geschetst, zijn qua tijd indicatief.

Tabel 6-2: Verwachte jaarlijkse productie

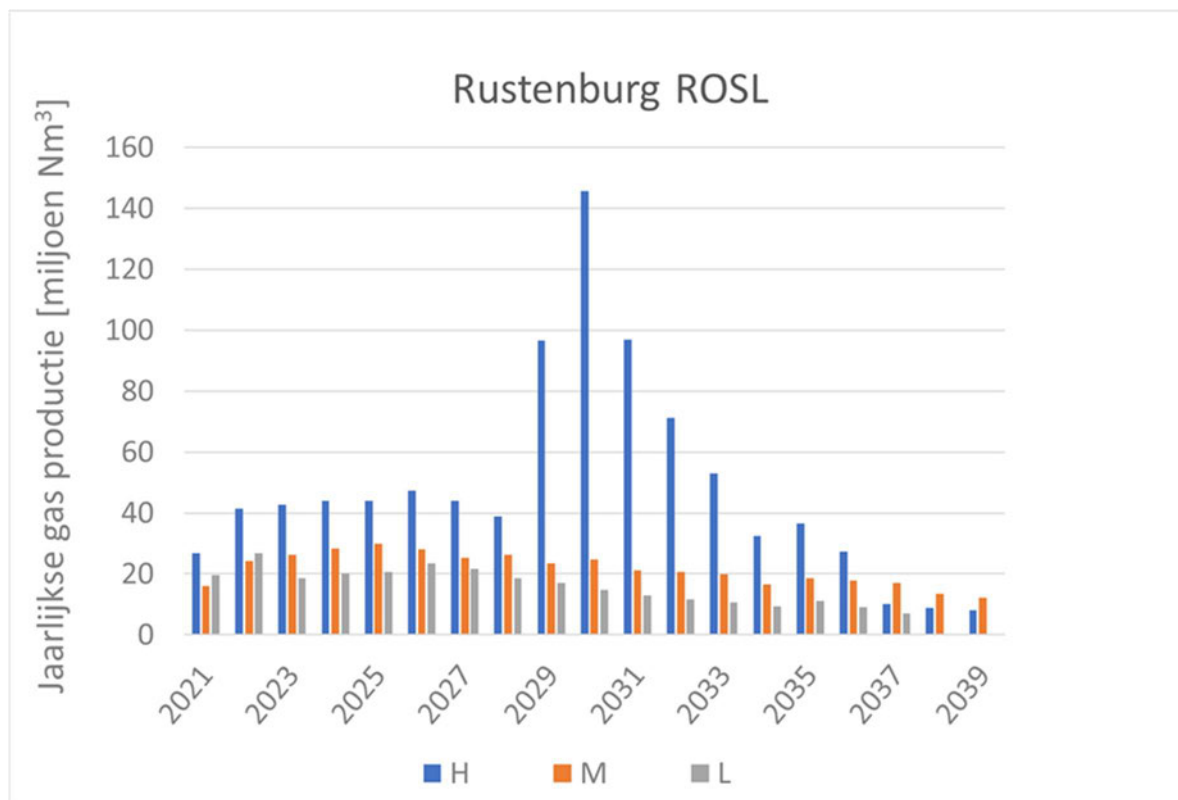
Verwachte jaarlijkse productie per voorkomen [miljoen Nm ³]	MIDDELIE ROTLIEGEND			MIDDELIE ZECHSTEIN			RUSTENBURG ROTLIEGEND			RUSTENBURG ZECHSTEIN			WESTBEEMSTER ROTLIEGEND		
	L	M	H	L	M	H	L	M	H	L	M	H	L	M	H
2021	130	141	160	24	34	44	20	16	27	0	0	0	95	108	134
2022	140	167	186	33	54	58	28	24	41	0	0	0	107	132	157
2023	128	160	211	23	48	57	19	26	43	0	0	0	98	126	147
2024	119	132	220	25	47	56	20	28	44	0	0	0	56	112	140
2025	110	116	231	25	45	54	21	30	44	0	0	0	57	97	131
2026	108	154	223	29	39	57	23	28	47	0	0	0	65	84	133
2027	96	139	259	26	34	70	22	25	44	0	0	0	60	76	87
2028	81	124	219	23	28	128	19	26	39	0	0	0	51	66	74
2029	44	108	189	21	27	105	17	23	97	0	0	0	47	61	68
2030	38	95	162	18	24	90	15	25	146	0	0	0	41	52	59
2031	34	87	139	16	22	77	13	21	96	0	0	90	36	46	52
2032	30	77	121	14	20	67	12	21	70	0	0	76	33	42	47
2033	28	70	97	13	16	58	11	20	52	0	0	64	29	38	42
2034	24	66	93	11	14	50	9	17	32	0	0	54	26	33	37
2035	29	39	92	14	16	48	11	19	36	0	0	45	31	40	45
2036	24	25	49	11	13	40	9	18	26	0	0	38	25	35	36
2037	18	12	26	9	11	33	7	17	10	0	0	32	20	30	28
2038	0	11	23	0	10	26	0	14	9	0	0	27	0	27	25
2039	0	10	21	0	10	10	0	12	8	0	0	23	0	24	22



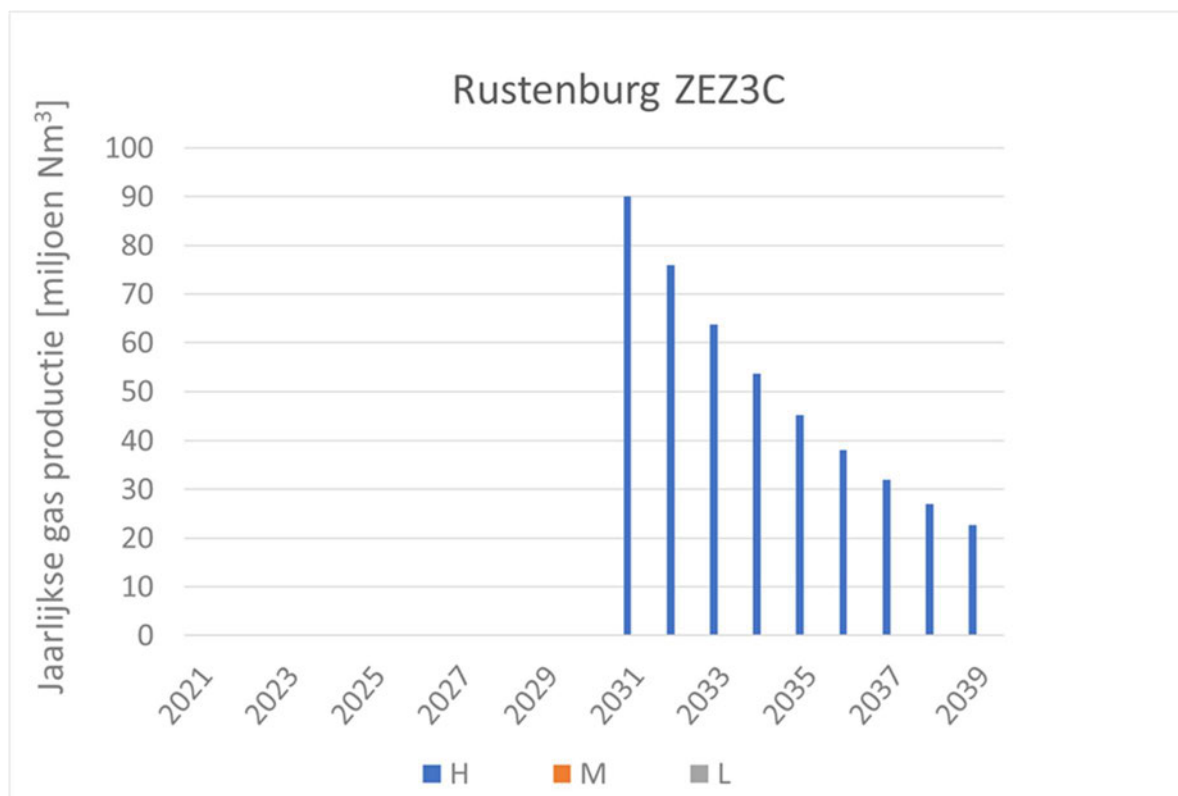
Figuur 6-5: Verwachte jaarlijkse productie van Middelie Rotliegend-voorkomen.



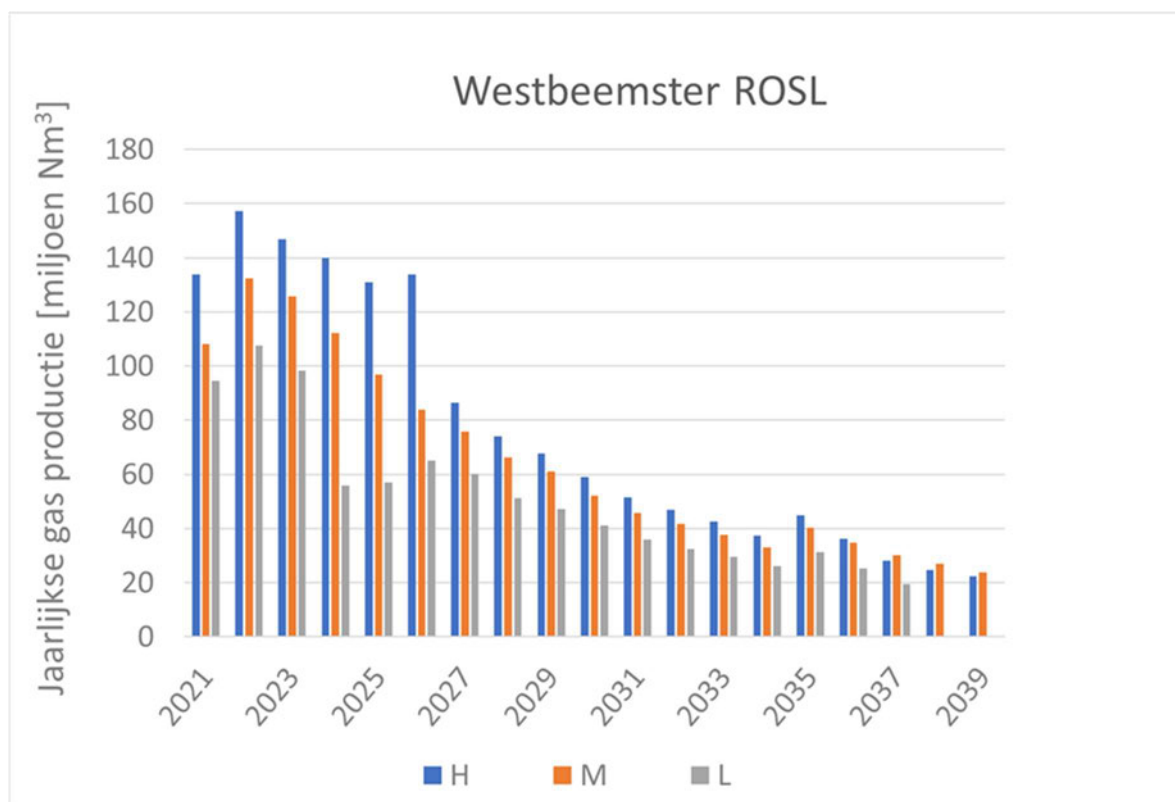
Figuur 6-6: Verwachte jaarlijkse productie van het Middelie Zechstein-voorkomen.



Figuur 6-7: Verwachte jaarlijkse productie van het Rustenburg Rotliegend-voorkomen.



Figuur 6-8: Verwachte jaarlijkse productie van het Rustenburg Zechstein-voorkomen.



Figuur 6-9: Verwachte jaarlijkse productie van het Westbeemster Rotliegend-voorkomen.

6.6 Duur van de winning

Het laatste jaar van productie voor het gehele winningsplan is 2039.

6.7 Jaarlijks eigengebruik bij winning

In het Middelie-systeem wordt geen aardgas voor eigen gebruik ingezet.

6.8 Jaarlijks bij winning afgeblazen/afgefakkelde koolwaterstoffen

In beginsel wordt tijdens normale productie geen restgas afgefakkeld of afgeblazen.

6.9 Stoffen die jaarlijks worden mee geproduceerd

Met de gasproductie uit de vier voorkomens worden water en condensaat mee-geproduceerd en op de Middelie-locatie gescheiden van de gasstroom. De samenstelling van het condensaat en gas uit de vier voorkomens die momenteel in productie zijn, is weergegeven in Tabel 6-3:

Hierin is te zien dat er van nature relatief veel CO₂ mee geproduceerd wordt vanuit het voorkomen Middelie Rotliegend. De CO₂ blijft na behandeling aanwezig in het gas dat door NAM aan Gasunie wordt overgedragen. Uiteindelijk komt de CO₂ via de eindgebruiker in de atmosfeer terecht.

De CO₂ uitstoot bij gasproductie in Nederland is laag in vergelijking met andere landen waar aardgas, biogas of LNG wordt geproduceerd. Het voorkomen Middelie Rotliegend kent in vergelijking met gas dat elders in Nederland wordt gewonnen weliswaar een hogere CO₂ uitstoot, maar is beduidend lager dan geïmporteerd aardgas waarbij met name het transport een aanzienlijke extra CO₂ uitstoot oplevert².

Het invullen van de Nederlandse vraag naar gas, zo is te lezen in de herijking van het Kleine Veldenbeleid van de overheid³, door gaswinning uit de Nederlandse kleine velden is dan ook beter voor het klimaat dan het importeren van het benodigde gas. De productie uit het voorkomen Middelie Rotliegend past in dat beleidskader.

Tabel 6-3: Condensaat- en gascompositie van de Middelie voorkomens:

	Middelie Rotliegend (Datum Diepte: 2400m)	Middelie Zechstein (Datum Diepte: 2200m)	Rustenburg Rotliegend (Datum Diepte: 2250m)	Westbeemster Rotliegend (Datum Diepte: 2550m)
Initiële condensaat-gas ratio (sm ³ /mln Nm ³)	13	15	13	10
Condensaat dichtheid (kg/sm ³)	755	748	790	852
Relatieve Gas Dichtheid (lucht=1)	0,76	0,70	0,680	0,69
GHV van het gas (MJ/Nm ³)	33,920	36,900	38,140	38,740
Wobbe index gas (MJ/Nm ³)	38,860	43,990	46,260	46,760
H ₂ S (mol%)	0	0,002	0	0
CO ₂ (mol%)	16,96	10,33	6,75	7,31

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

De mee-geproduceerde stoffen (het productiewater en condensaat) worden per tankwagen afgevoerd voor verdere behandeling. In het Middelie-systeem zijn geen injectoren actief die stoffen terug in de ondergrond kunnen brengen.

² The deteriorating outlook for Dutch small natural gas fields, Jilles van den Beukel and Lucia van Geuns, The Hague Centre for Strategic Studies, January 2020

³ Gaswinning uit de kleine velden in de energietransitie - 18031167

7 BODEMDALING

De bodemdalingsprognose van dit winningsplan laat zien dat de nog te verwachten bodemdaling boven de Middelie voorkomens door gasproductie minder dan 4 cm bedraagt.

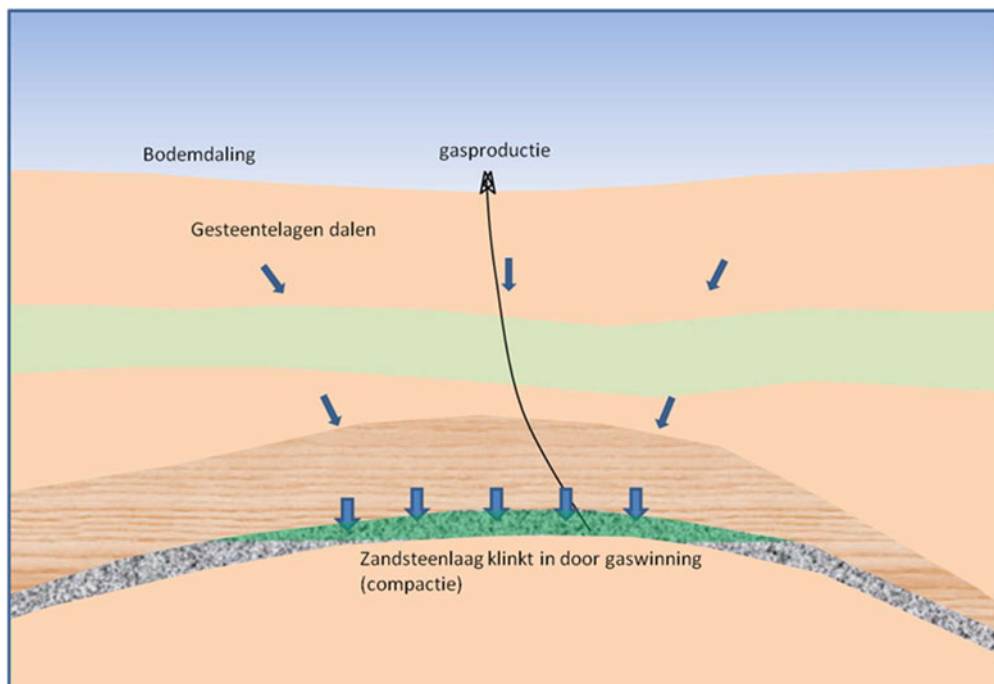
7.1 Inleiding: hoe komt bodemdaling tot stand

In een gasveld veroorzaakt de winning van aardgas een vermindering van de poriëndruk in de gasvoerende gesteentelaag. Daarbij wordt het gesteente van deze gasvoerende laag langzaam iets samengedrukt onder het gewicht van de bovenliggende lagen. Deze samendrukking wordt compactie genoemd en hangt af van verschillende factoren zoals de materiaaleigenschappen van het (reservoir-) gesteente, de grootte van de drukdaling en de dikte van de gasvoerende laag (Figuur 7-1). De compactie bedraagt over het algemeen 0,1 tot 0,2 % van de dikte van de gasvoerende laag bij de maximale drukdaling (depletie) in het gasveld.

De mate waarin compactie wordt omgezet in bodemdaling op maaiveld-niveau is onder meer afhankelijk van de diepte en omvang van het depleterende gasveld. Bij een zeer groot gasveld zoals Groningen zal de bodemdaling boven het centrum van het veld vrijwel gelijk zijn aan de ondergrondse compactie.

Bij een klein gasveld zoals de voorkomens in dit winningsplan Middelie is de maximale bodemdaling op het maaiveld een fractie van de compactie in de gasvoerende laag. Het volume van de bodemdalingskom is ongeveer even groot als de volumeverandering van het gasreservoir, waarbij de oppervlakte van de kom groter zal zijn dan de oppervlakte van het reservoir; aan alle kanten van de reservoiromtrek komt er een afstand bij van ongeveer 1 à 2 maal de diepte van het reservoir.

Figuur 7-1 geeft dit schematisch weer. Wanneer gasvelden dicht bij elkaar liggen kan er een overlap ontstaan van de verschillende bodemdalingskommen.



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

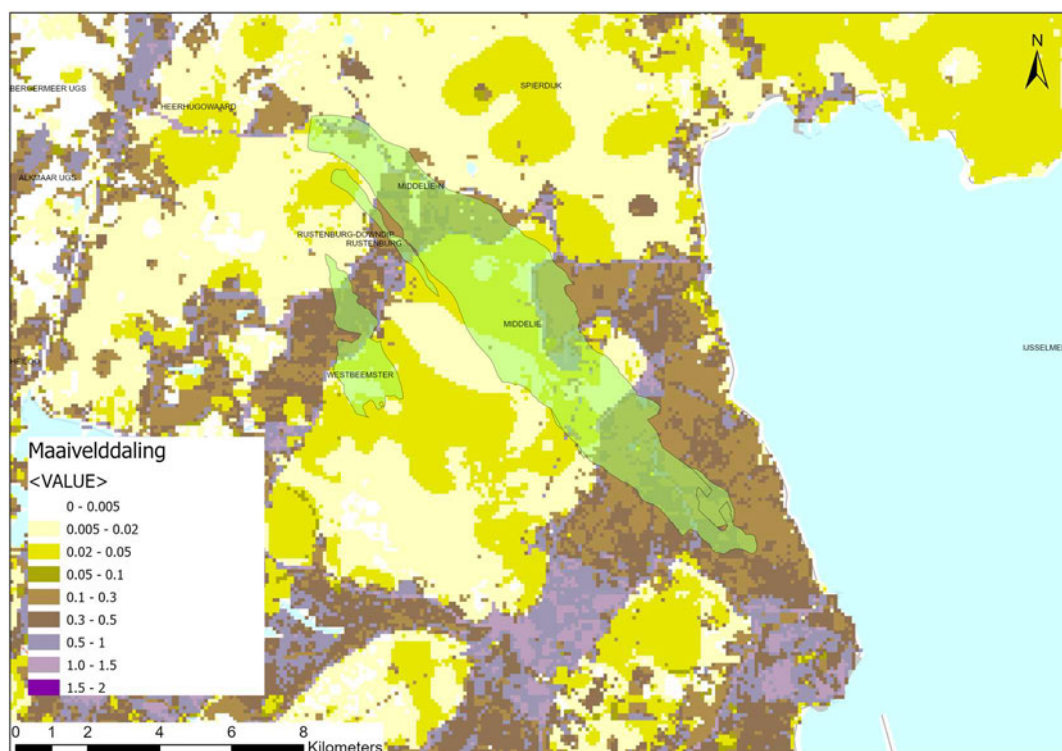
Bodemdaling door natuurlijke processen

Naast de bodemdaling ten gevolge van gas- of oliewinning zijn er ook andere oorzaken die leiden tot bodemdaling, samengevat onder de term autonome bodemdaling. Dit kan bijvoorbeeld een natuurlijke bodemdaling zijn of een bodemdaling door drainage van veen- en kleigebieden.

Veenoxidatie en inklinking van veen en klei zijn de twee meest voorkomende oorzaken van autonome bodemdaling. De mate van autonome daling kan worden bepaald aan de hand van metingen en/of met modelvoorspellingen. In deze modellen worden oxidatie en inklinking berekend waarbij gebruik wordt gemaakt van laboratoriumgegevens en de aanwezigheid van bepaalde grondsoorten in de ondiepe ondergrond. Tegelijkertijd worden de modellen gevalideerd en gekalibreerd door bodemdalingsmetingen.

Voorspellingen van autonome bodemdaling gaan uit van bepaalde grondwaterscenario's. Dit zijn aannames over het toekomstig waterpeilbeheer door de waterschappen.

Figuur 7-2 toont een voorspelling voor de autonome daling in het betreffende gebied voor de periode 2000-2050 (Deltares en PBL¹, 2011, Hopman et al. 2013²). De voorspelling geeft een eerste orde schatting van de autonome daling wanneer het grondwaterpeil meebeweegt met de bodemdaling in deze periode. De autonome bodemdaling in dit gebied, zo wordt door hen geconcludeerd, kan op basis van deze aannames enkele centimeters tot meerdere decimeters zijn met lokale uitschieters tot maximaal 1,5 m voor de periode 2000-2050.



Figuur 7-2: Maaiveld daling (m) over een periode van 50 jaar bij handhaving van huidige drooglegging bij huidig klimaat. De waarden op deze kaart geven slechts een eerste orde schatting van de mogelijke autonome daling.

Cumulatieve bodemdaling door winning van gas door andere operators
Rond 4 km ten westen van het West-Beemster veld bevindt zich het Schermer veld, geopereerd door TAQA. De bodemdalingssom van dit veld zal de bodemdalingssom van het West-Beemster veld gedeeltelijk overlappen. Dit geeft een beperkte additionele bodemdaling van enkele millimeters in het overlap gebied.

7.2 Meten en berekenen van bodemdaling door gaswinning

Meten van bodemdaling

Voor alle delen in Nederland waar aardgas wordt gewonnen moet een *meetplan* worden opgesteld. Dit meetplan geeft inzicht in hoe de bodemdaling in een ruim gebied rondom het gasvoorkomen wordt gemeten. Dat gebeurt door waterpassing op een reeks punten in een *meetnet*, boven en rondom het voorkomen, vaak aangevuld met GNSS (GPS)-metingen op specifieke locaties. Steeds vaker worden de traditionele waterpassingen vervangen door satellietmetingen (InSAR). Deze techniek zorgt voor frequentere metingen en een ruimere dekking van het gebied.

Voor het opstellen van een meetplan bestaan wettelijke regels waarbij tevens de zgn. *Industrieleidraad – Geodetische basis voor Mijnbouw*⁴ wordt gevolgd. De frequentie van de metingen, de dichtheid en de uitgebreidheid van het meetnet worden gekozen in overleg met Staatstoezicht op de Mijnen (Sodm) en de Technische Commissie Bodembeweging (Tcbb). Het meetplan vereist de jaarlijkse goedkeuring van de Staatssecretaris Mijnbouw van het ministerie van Economische Zaken en Klimaat.

De bodemdaling wordt in dit gebied sinds de herontwikkeling in 2007 om de vijf jaar gemeten. Er is echter al geproduceerd uit de Middelie Rotliegend- en Zechstein-voorkomens tussen 1975 en 1991. De gemeten bodemdaling in deze periode is op basis van oude rapportages beperkt en ligt rond maximaal 2 cm.

In Figuur 7-3 wordt de gemeten bodemdaling getoond voor de periode 2007-2017. Daarop is te zien dat de bodemdaling beperkt is (een negatieve daling betekent bodemstijging, deze waarden liggen echter binnen de bandbreedte voor de meetonzekerheid).

Berekenen van bodemdaling

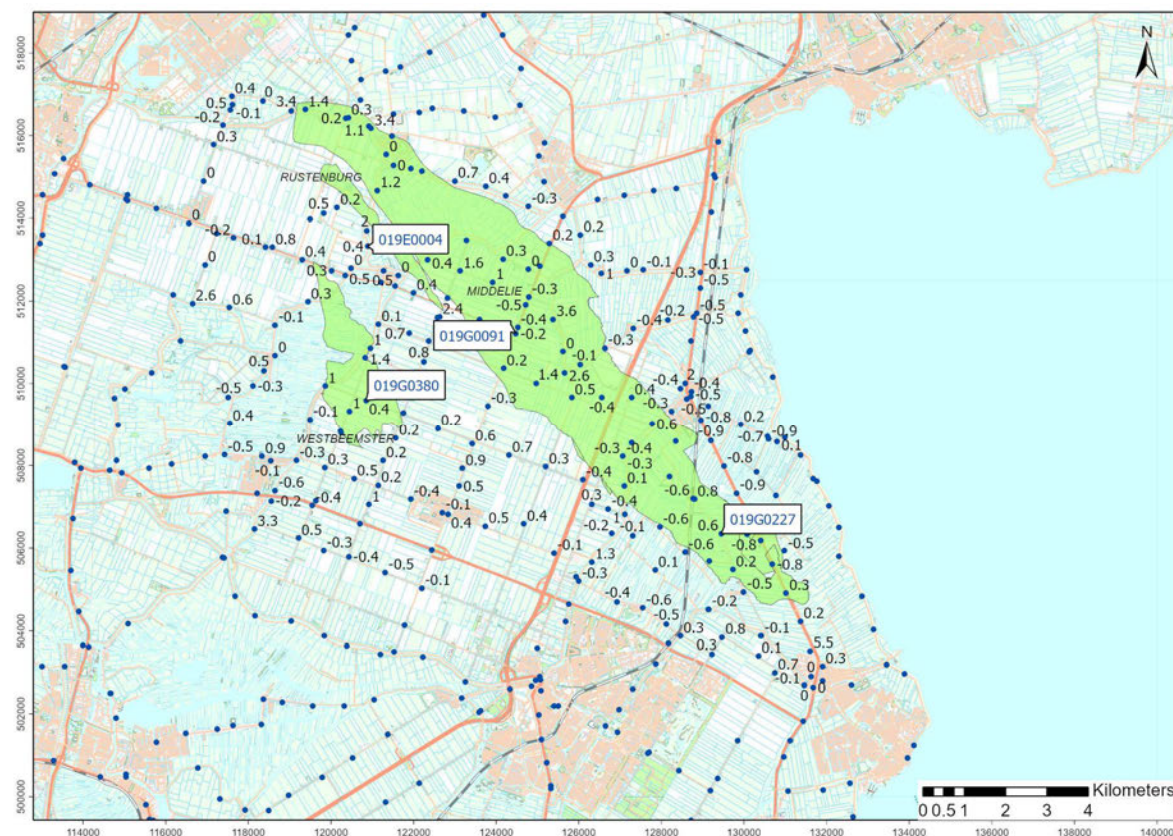
De bodemdaling wordt berekend met behulp van informatie van de ondergrond, zoals dikte, drukdaling, grootte en de compressibiliteit of samendrukbaarheid van het gesteente (zie inleiding). Meer specifiek wordt de compactie en bodemdaling voor de Middelie-voorkomens berekend volgens het geo-mechanische model dat ook gebruikt is in het Statusrapport 2020⁵. Een gedetailleerde beschrijving van de toepassing van dit model op het gebied in dit winningsplan Middelie is terug te vinden in Bijlage A. De berekening van de onzekerheid is terug te vinden in Bijlage A.

De gemodelleerde bodemdaling voor de periode 2007-2017 is minder dan 2 cm. Aangezien deze daling klein is en het ook niet mogelijk is een dergelijke kleine daling met voldoende precisie te meten, zijn er geen contouren getoond in Figuur 7-3.

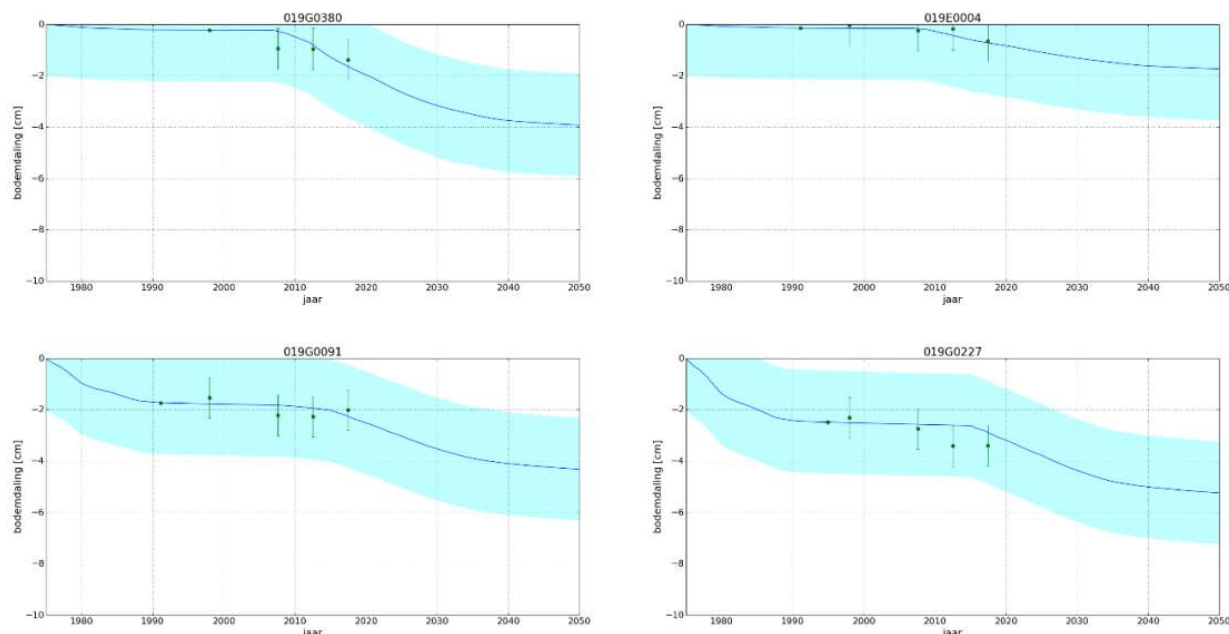
Om inzicht te verkrijgen over de kwaliteit van het model ten opzichte van de historische metingen zijn boven de voorkomens van het winningsplan Middelie een aantal meetpunten geselecteerd waar meerdere keren in de tijd bodemdaling is gemeten (zie Figuur 7-4). Dit figuur laat ook de nog te verwachten totale bodemdaling zien door gasproductie voor deze punten.

⁴<https://www.tcbb.nl/file/download/57087366/Industrieleidraad%20Geodetische%20basis%20voor%20mijnbouw%20-%20V1.pdf>

⁵ NAM (2020) Bodemdaling door Aardgaswinning, NAM-gasvelden in Groningen, Friesland en het noorden van Drenthe. EP202011201629. <https://nam-onderzoeksrapporten.data-app.nl/reports/download/bodemdaling/nl/aa0e05c7-704a-4f9f-a02c-ea7ece904905>



Figuur 7-3: In 2017 gemeten bodemdaling sinds de nulmeting in 2007, weergegeven op de peilmerken (blauwe punten). De gemodelleerde bodemdaling kan niet worden aangegeven in dit figuur omdat deze minder is dan 2 cm is (zie tekst voor verdere uitleg). De bodemdaling in tijd voor gelabelde punten wordt getoond in Figuur 7-4.



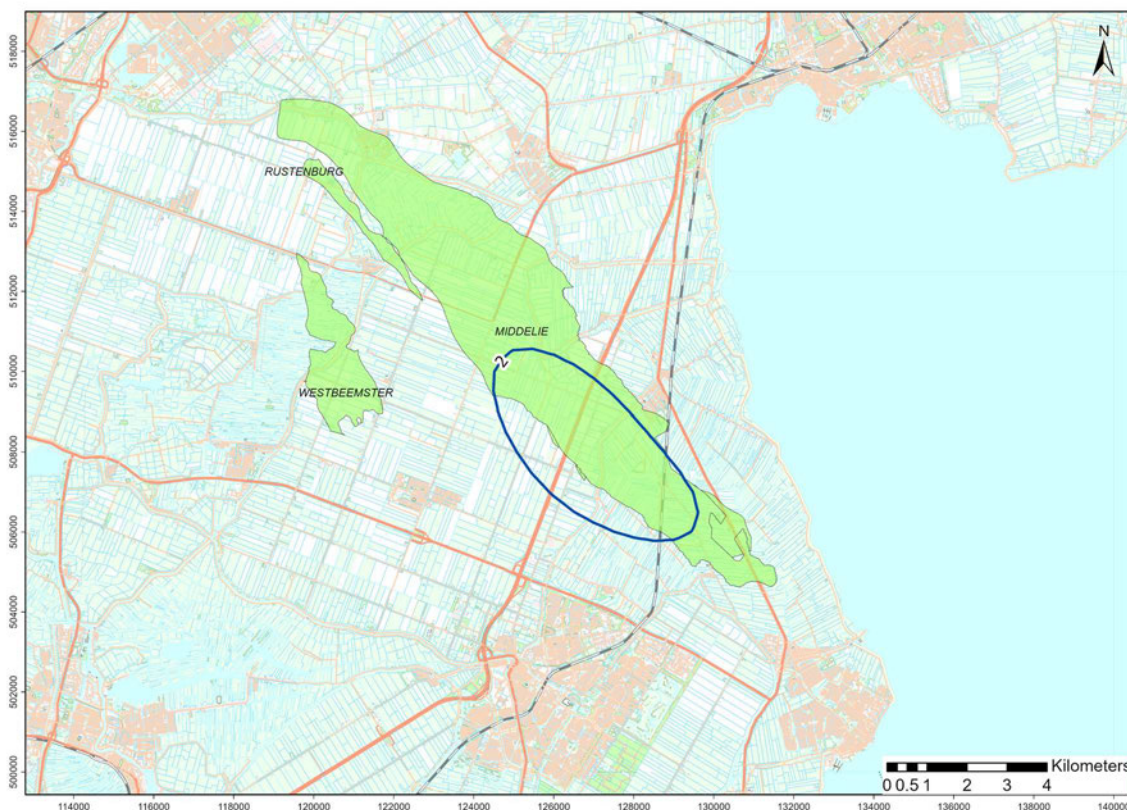
Figuur 7-4 Vergelijking van gemeten (groene punten) en berekende bodemdaling voor 4 peilmerken boven de Middelie-voorkomens. De meetonzekerheid in de metingen (gekozen als twee standaarddeviaties) bedraagt 8 mm per meetpunt. De blauwe lijn toont de voorspelde bodemdaling op deze locatie, met de onzekerheid (lichtblauwe gebied) op de uiteindelijke bodemdaling. De minimale onzekerheid voor de voorspelling is 2 cm. De locatie van de peilmerken zijn met een nummer aangegeven in Figuur 7-3.

7.3 Bodemdalingsvooruitzichten

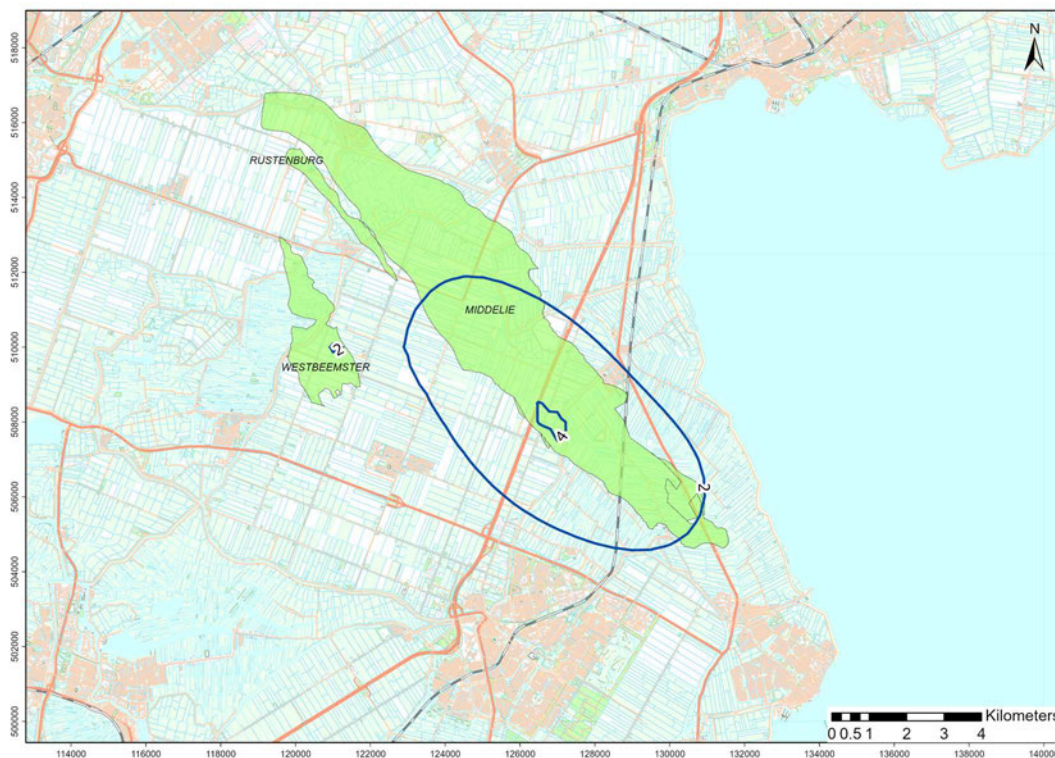
Met de beschikbare gegevens over de ondergrond en het productiescenario zoals beschreven in dit winningsplan is een prognose voor de toekomstige bodemdaling ten gevolge van gaswinning uit de Middelie voorkomens opgesteld.

De toekomstige bodemdaling door gaswinning in dit gebied wordt weergegeven in Figuur 7-5. Voor de afzonderlijke voorkomens is de toekomstige bodemdaling minder dan 2 cm. Daarom worden er geen figuren van de bodemdaling voor de afzonderlijke voorkomens getoond. Figuur 7-6 toont de bodemdaling vanaf de start van de winning tot 2020, zodat met de overige bodemdalingsfiguren een compleet overzicht van de bodemdaling getoond wordt.

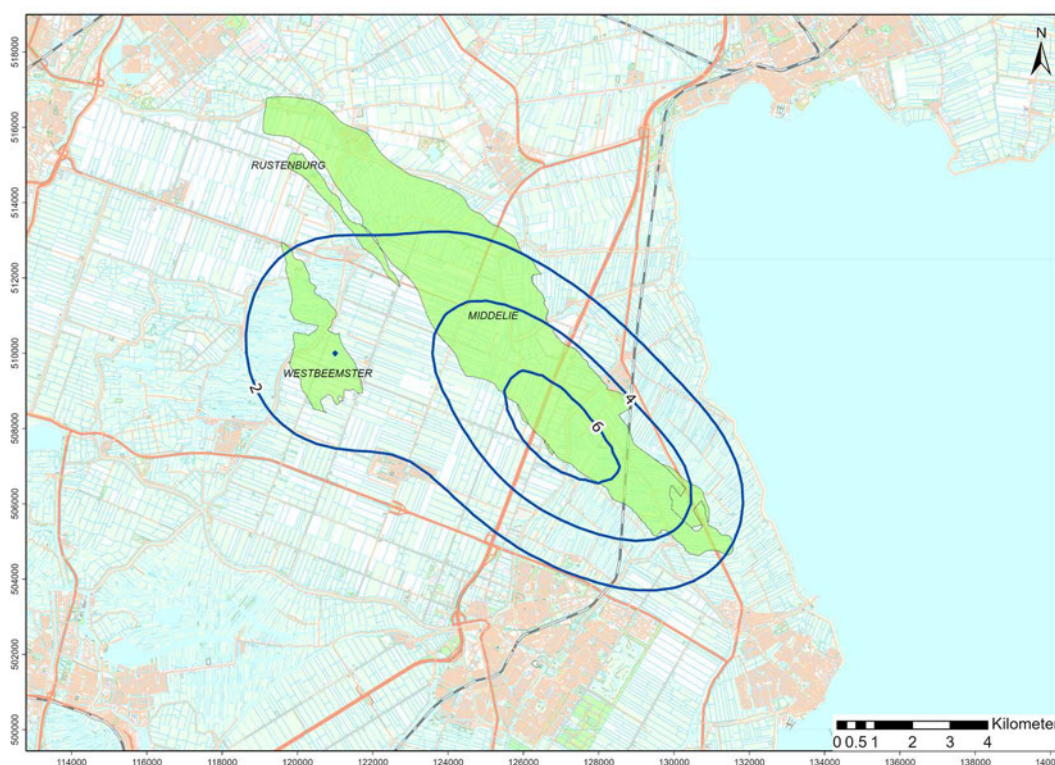
Figuur 7-7 toont de uiteindelijke totale bodemdaling door gaswinning in het gebied sinds de start van de winning in 1975 tot na beëindiging van de gasproductie zoals beschreven in dit winningsplan. Tenslotte wordt de totale bodemdaling vanaf de start van de herontwikkeling in 2007 getoond in Figuur 7-8. Naast de drukdaling in het gasveld kan er ook drukdaling ontstaan in de aangrenzende delen van de reservoirlaag die watervoerend zijn, de zgn. *laterale aquifers*. Ook deze delen van de reservoirlaag zullen compacteren en zorgen voor (een beperkte) bodemdaling. In de berekening wordt aangenomen dat de drukdaling in deze laterale aquifers gelijk is aan die van het gasveld, over de gehele levenscyclus van het veld. Dit is een conservatieve aanname omdat in werkelijkheid de drukdaling in een watervoerend gedeelte van het reservoir later op gang komt en minder zal zijn dan de drukdaling in het gasveld. Deze laterale aquifers zijn getoond in Figuur 7-9.



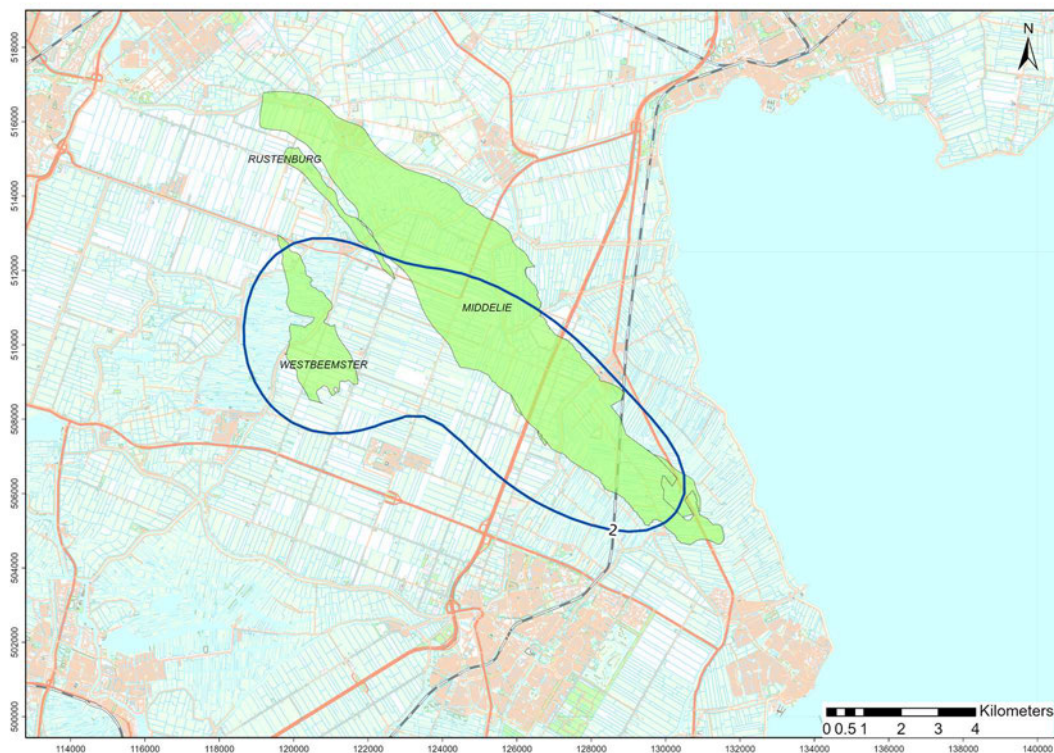
Figuur 7-5: De nog te verwachten bodemdaling (2020 – 2050) veroorzaakt door de gasproductie uit de Middelie-voorkomens. In dit figuur zijn de contouren om de 2 cm getoond. Dit betekent dat de maximale nog te verwachten bodemdaling in het midden van de bodemdalingskom minder dan 4 cm bedraagt.



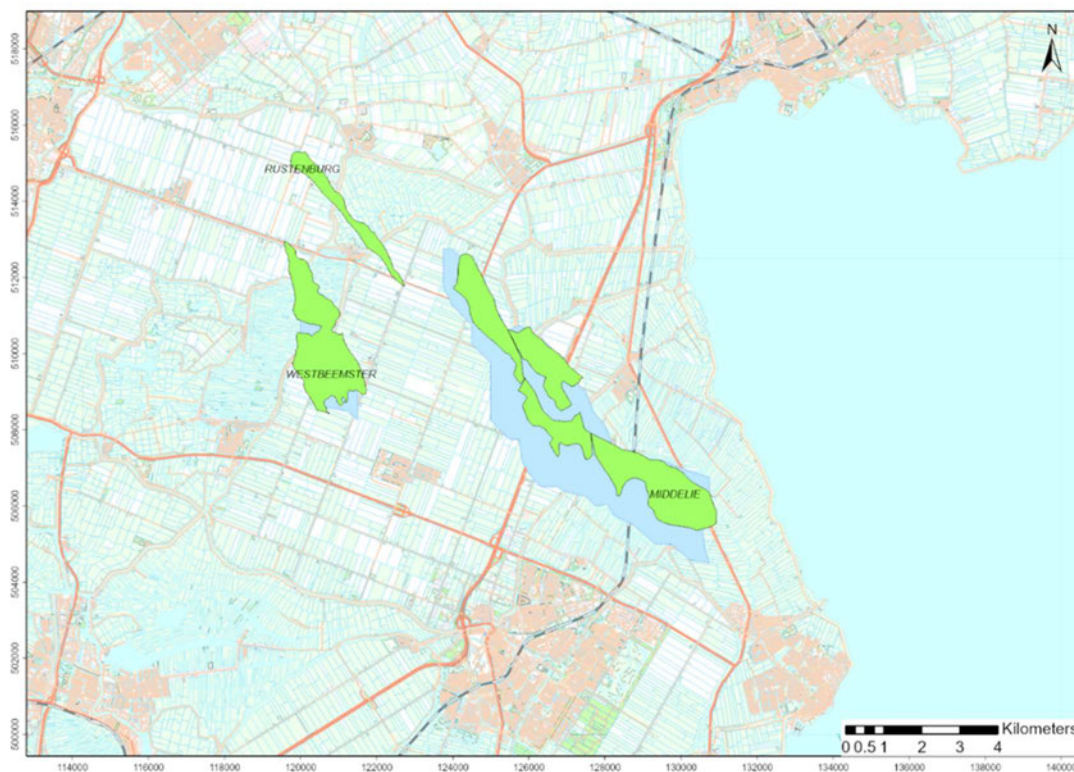
Figuur 7-6: Gemodelleerde bodemdaling van de totale bodemdaling door gaswinning in 2020 vanaf de start van de winning (1975). De contourlijnen geven de bodemdaling in cm aan.



Figuur 7-7: Voorspelling van de totale bodemdaling door gaswinning in 2050 vanaf de start van de winning (1975). De contourlijnen geven de bodemdaling in cm aan. In dit figuur zijn de contouren om de 2 cm getoond. Dit betekent dat de maximale bodemdaling in het midden van de bodemdalingsskom minder dan 8 cm bedraagt.



Figuur 7-8: Voorspelling van de totale bodemdaling doorgaswinning in 2050 vanaf de herontwikkeling in 2007. De contourlijnen geven de bodemdaling in cm aan. In dit figuur zijn de contouren om de 2 cm getoond. Dit betekent dat de maximale bodemdaling in het midden van de bodemdalingsskom minder dan 4 cm bedraagt.



Figuur 7-9: Overzicht van de aquifers van het Middelie en Westbeemster Rotliegend veld zoals gebruikt in het bodemdalingsmodel.

7.4 Onzekerheid in verwachte bodemdaling

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

De verwachting is dat de cumulatieve maximale toekomstige bodemdaling kleiner is dan 4 cm. Bijlage A laat zien dat de bovengrens van de toekomstige bodemdaling per voorkomen maximaal 2 of 4 cm zal zijn. Echter omdat de Zechstein- en Rotliegend-voorkomens boven elkaar liggen is de bovengrens voor de cumulatieve maximale bodemdaling boven alle voorkomens uit dit winningsplan ongeveer 4 cm.

7.5 Mogelijke gevolgen van de verwachte bodemdaling

Bodemdaling door gaswinning manifesteert zich aan de oppervlakte in de vorm van een platte, zeer gelijkmatige schotel. Die schotel veroorzaakt een zeer geringe helling van maximaal een paar centimeter over een kilometer afstand aan het maaiveld. Zoals eerder is beschreven bedraagt de nog te verwachten bodemdaling door gaswinning uit de in dit winningsplan beschreven voorkomens minder dan 4 cm over een periode van 20 jaar.

Omdat bodemdaling een zeer geleidelijk en gelijkmatig proces is wordt er geen directe schade aan gebouwen, bouwwerken en infrastructuur verwacht omdat de resulterende vervorming (zoals scheefstand, kromming en horizontale rek) van de bovengrond zeer klein is.

Hierbij wordt verwezen naar *'Studieresultaten betreffende ongelijkmatige zakkingen in verband met aardgaswinning in de provincie Groningen'*; een uitgave van de Commissie Bodemdaling door Aardgaswinning; maart 1987'. Meer recente rapporten (2019) die mogelijke oorzaken van schade beschrijven boven de Norg UGS en Groningen bevestigen dit beeld⁶.

Mogelijke andere effecten door bodemdaling worden beschreven in hoofdstuk 9.

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

De nog te verwachten bodemdaling door de toekomstige gaswinning uit dit winningsplan is minder dan 4 cm over een periode van ongeveer dan 20 jaar. Dit is een zeer beperkte bodemdaling en derhalve worden geen maatregelen voorzien om bodemdaling te voorkomen dan wel te beperken. De toekomstige bodemdaling zal volgens het meetplan Noord-Holland worden gemonitord.

⁶Rapport diepe bodemdaling en stijging gepubliceerd (schadedoormijnbouw.nl)

8 BODEMTRILLING

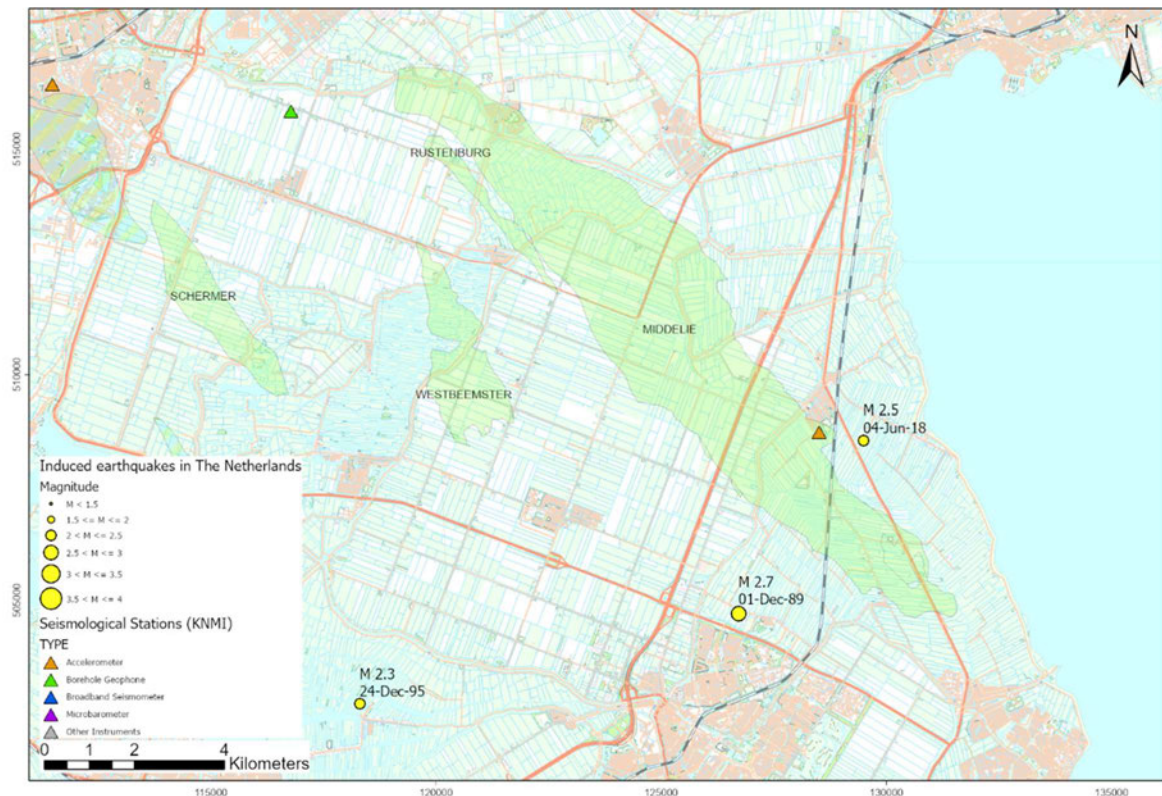
De seismische risicoanalyse laat zien dat de voorkomens Rustenburg Rotliegend, Rustenburg Zechstein, Westbeemster Rotliegend en Middelie Rotliegend in categorie II vallen. Het voorkomen Middelie Zechstein valt in categorie I. Hieronder wordt uiteengezet hoe deze categorisering tot stand is gekomen en wat dit betekent in termen van reëel seismisch risico.

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

Als gevolg van de drukdaling in het gasveld treden in het reservoirgesteente spanningsveranderingen op. Spanningsverandering op een bestaande ondergrondse breuk kunnen leiden tot geïnduceerde bewegingen van het gesteente langs deze breuk. In sommige gevallen kan dit resulteren in een aardbeving. De kans op een aardbeving in een gasveld hangt onder meer af van de hoeveelheid breuken, de drukdaling en de grootte en dikte van het reservoir.

8.2 Historische bevingen in het Middelie veld

Boven het voorkomen Middelie Rotliegend hebben zich in het verleden twee bevingen plaatsgevonden. De zwaarste beving had een magnitude 2,7 en heeft zich plaatsgevonden bij Kwadijk op 1 december 1989. De andere beving had een magnitude van 2,5 en heeft plaatsgevonden bij Warder op 4 juni 2018. Figuur 8-1 geeft dit weer op een kaart.



Figuur 8-1: Historische bevingen boven de Middelie-voorkomens. De getallen naast de markers geven magnitude en datum (in het format dag-maand-jaar).

8.3 Algemeen kader voor Seismische Risico Analyse

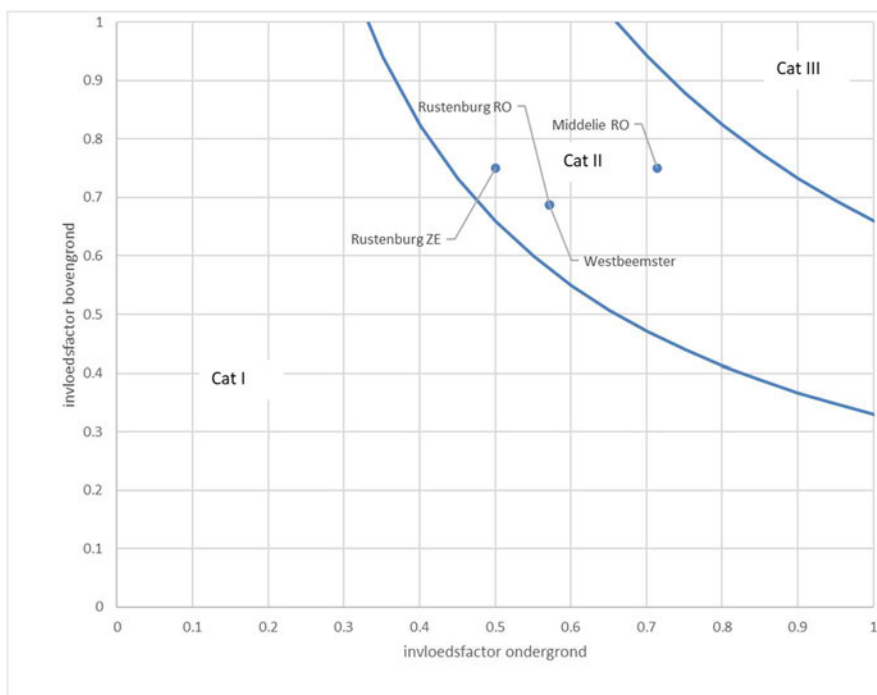
In 2016 heeft SodM een tijdelijke richtlijn voor Seismische Risico Analyse (SRA) gepubliceerd⁷. De SRA gaat uit van het stappenschema zoals getoond in Figuur 12-2. Bij het schema zijn twee parameters belangrijk:

- de kans op een beving ($M \geq 1$) door gaswinning;
- de theoretische 'maximale bevingsmagnitude' (M_{max}) als er een beving zou plaatsvinden.

In deze seismische risicoanalyse wordt uitgegaan van de maximale drukdaling volgens het hoog productiescenario. Meer details over de berekening van deze parameters staan in bijlage B.

Voor het Middelie Zechstein-voorkomen is in de eerste stap bepaald dat deze in de laagste risicocategorie valt en wordt daarom niet meer getoond in de risicomatrix. De overige voorkomens worden getoond in Figuur 8-2. Het Rustenburg Zechstein voorkomen en de Rotliegend-voorkomens van Middelie, Rustenburg en Westbeemster vallen in risicocategorie II.

Het vigerende winningsplan geeft voor het Middelie Zechstein voorkomen een hogere kans op beven dan de huidige inschatting. Dit komt voornamelijk door de kleinere reservoirdikte die nu wordt aangenomen. In het vigerende winningsplan werd de bruto reservoir dikte gebruikt. In de DHAIS berekening wordt echter uitgegaan van een netto reservoir dikte of de gaskolom, waarbij de laagste waarde gekozen wordt. In het geval van Middelie Zechstein is dit de netto dikte van 15m. De DHAIS kans wordt hierdoor verwaarloosbaar.



Figuur 8-2: Seismisch risico voor de Middelie voorkomens volgens de inschatting in stap 2.

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

- duiding van de uitkomst van de risicomatrix analyse (Mbw 34.g en Mbb. 24.1.q);

⁷ methodiek voor risicoanalyse omtrent geïnduceerde bevingen door gaswinning tijdelijke leidraad voor adressering mbb. 24.1.p, versie 1.2, SodM, 1 februari 2016

- monitoring met een minimale cataloguscompleteit in de omgeving van het veld van magnitude 1,5;
- monitoring in de omgeving van het veld aanvullen met accelerometers op de geofoonlocaties;
- implementeren generiek seismisch-risicobeheersplan.

De volgende paragrafen beschrijven de invulling om tegemoet te komen aan deze eisen.

8.4 Mogelijke gevolgen van bevingen ten gevolge van gaswinning uit de Middellie-voorkomens (duiding van het risico)

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

Het KNMI heeft in 1998 beschreven wat de te verwachten intensiteit is bij een geïnduceerde aardbeving volgens de Europese Macroseismische Schaal. Deze analyse toonde (kwalitatief) aan dat er in het ernstigste geval in de nabijheid van het gasvoorkomen lichte, niet-constructieve schade kan optreden aan meerdere gebouwen en er matige schade (bedoeld wordt scheuren in muren tot constructieve schade in het uiterste geval) kan optreden aan enkele gebouwen. Dit laatste wordt bevestigd door de resultaten van de seismische hazard studie van TNO-NITG⁸.

De omvang van het gebied waar mogelijk schade kan optreden wordt bepaald door de magnitude, de diepte en de duur van de beving, de lokale grondsamenstelling en de aard en conditie van de bebouwing. Bij een beving die krachtig genoeg is om schade te veroorzaken is het aantal potentiële schadegevallen binnen dit gebied sterk afhankelijk van de dichtheid van bebouwing, terwijl de mate van schade (geen, lichte, matige) op een bepaalde afstand van het epicentrum in grote mate wordt bepaald door het type bebouwing, de staat van onderhoud en de lokale bodemgesteldheid. Deze afhankelijkheid wordt verder beschreven in een rapport van TNO⁹. Meer duiding over de mogelijke gevolgen van een beving wordt gegeven in het seismisch risicobeheersplan voor kleine velden dat te vinden is op de NAM-website¹⁰.

Onderzoek uitgevoerd naar de mogelijke schade aan buisleidingen door potentiële aardbevingen (Deltares 2010, Schade aan buisleiding door aardbeving) toont aan dat een mogelijke schade door geïnduceerde aardbevingen klein zal zijn (zowel in mogelijk aantal als in ernst). Meer duiding over mogelijke schade wordt gegeven in het risicobeheersplan van NAM¹¹ (zie ook paragraaf 8.8)

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

8.5 Monitoring van bodemtrillingen

Seismische monitoringstations (versnellingsmeters en boorgatstations) zijn geïnstalleerd boven en in de nabijheid van gasvelden en staan online in verbinding met het KNMI. Een boorgatstation bestaat uit een aantal geofoons die op verschillende dieptes *onder het aardoppervlak* zijn aangebracht. Geregistreerde aardbevingen worden automatisch vermeld op de website van KNMI. Na interpretatie van de gegevens door de specialisten van het KNMI kan een kleine aanpassing van de sterkte en/of locatie plaatsvinden.

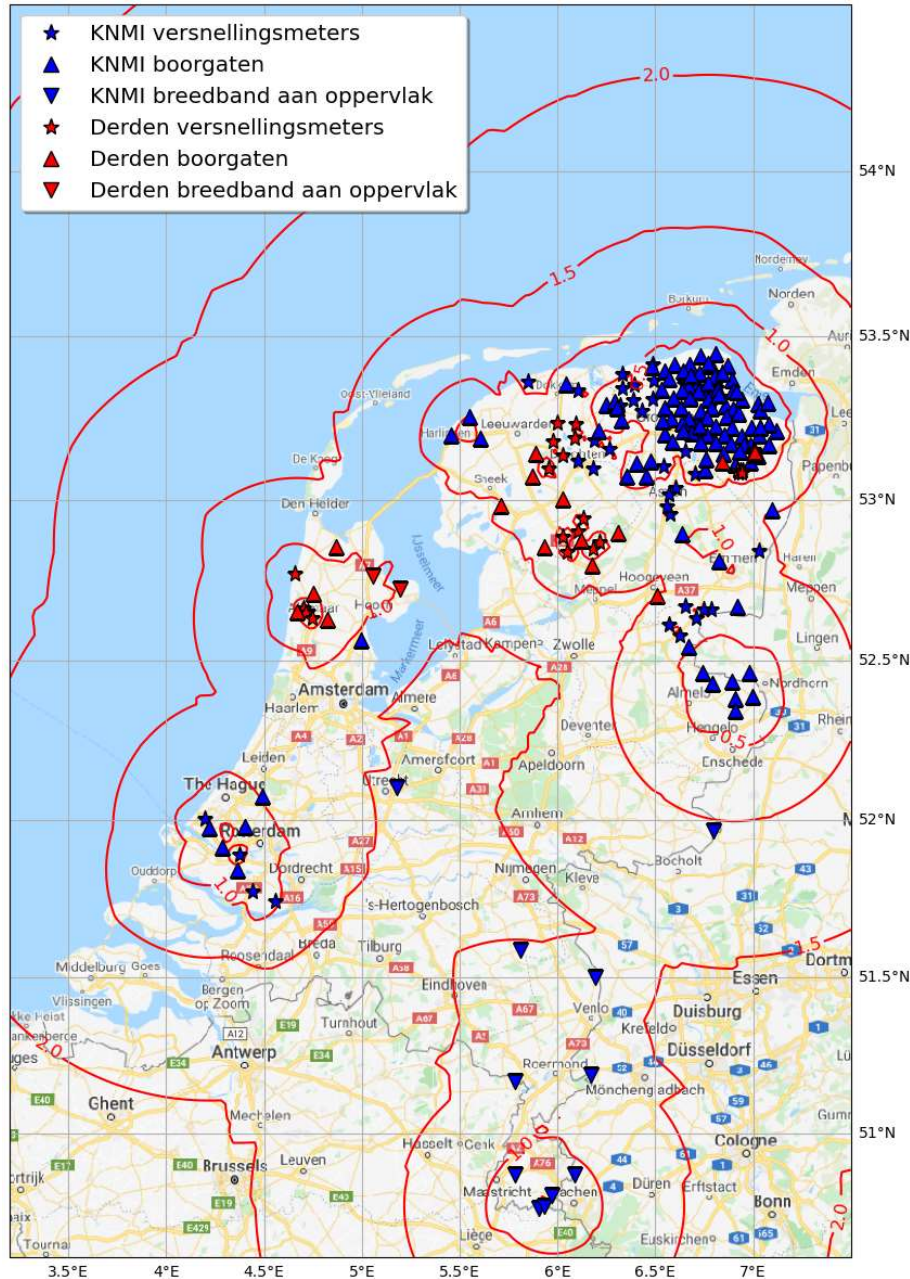
⁸ Wassing en Dost, 2012, TNO 2012 R11139 ([link](#))

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

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

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

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

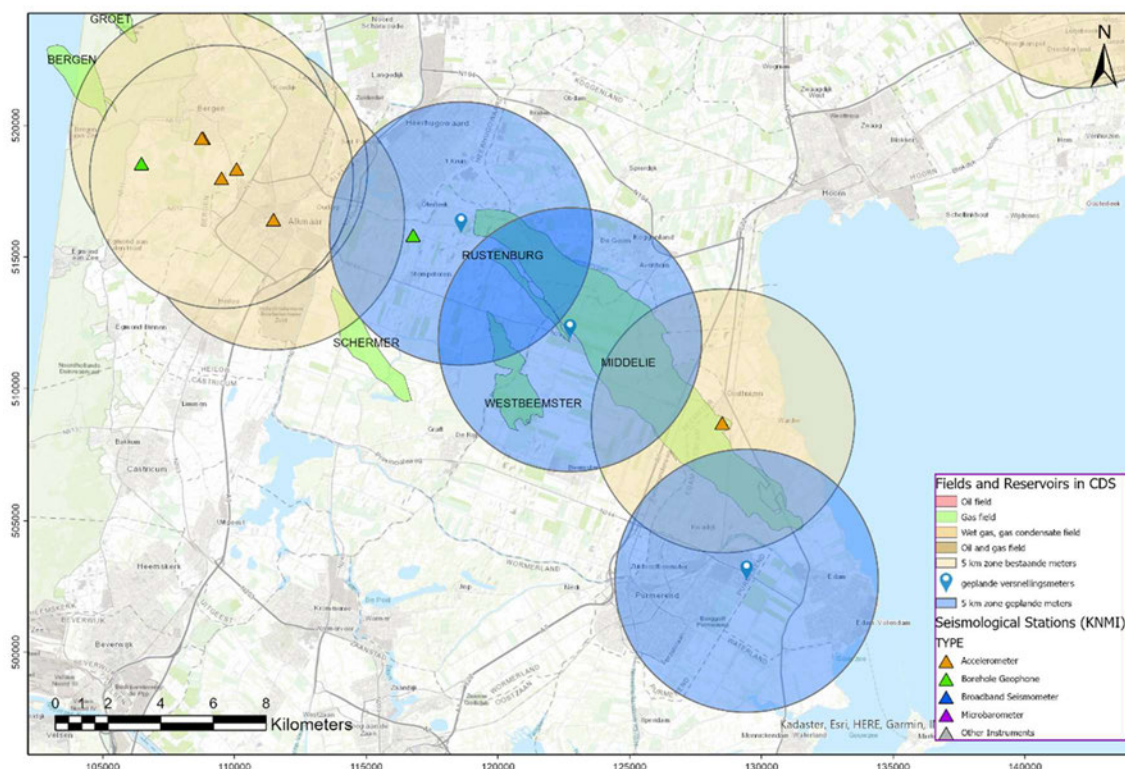


Figuur 8-3: Overzicht van de locatiedrempel in Nederland (status oktober 2021)¹². De driehoeken geven de locaties aan van de boorgatstations en de sterren van de versnellingsmeters. De omgekeerde driehoeken tonen de breedbandstations.

¹² KNMI - Seismische meetstations

8.6 Additionele versnellingsmeters

Er zijn in 2021 drie additionele versnellingsmeters gerealiseerd in het gebied rondom de Middelie. Doel is om alle Middelie-voorkomens te monitoren met versnellingsmeters waarbij voor iedere versnellingsmeter een monitoringsstraal geldt van 5 km. Deze methode is goedgekeurd door het KNMI.



Figuur 8-4: Additionele versnellingsmeters (blauwe cirkels) in het Middelie gebied. De zandkleurige cirkels tonen de bedekking van het bestaande versnellingsmeternetwerk.

8.7 Afhandeling van de schade

Particulieren en micro-ondernemers die denken dat zij schade hebben door mijnbouw kunnen zich bij de Commissie Mijnbouwschade melden. De Commissie Mijnbouwschade helpt de juiste route te volgen bij het melden van deze schades. De Commissie Mijnbouwschade is in 2020 benoemd door de Minister van Economische Zaken en Klimaat, en werkt volgens het instellingsbesluit en het schadeprotocol. Hierin staat dat de commissieleden volledig onafhankelijk zijn en beoordelen op basis van hun deskundigheid.

De website van de Commissie Mijnbouwschade (www.commissiemijnbouwschade.nl) geeft aanvullende informatie.

Het uitgangspunt van de Commissie Mijnbouwschade bij het behandelen van een schademelding is dat dit laagdrempelig, transparant en snel is. Om de schadeafhandeling eenvoudig te maken, nemen ze in de praktijk de bewijslast van de schademelder over. De Commissie Mijnbouwschade doet onderzoek en geeft onafhankelijk en deskundig advies. De mijnbouwonderneming zal dit advies volgen en de toegekende schade die door mijnbouwactiviteiten zijn ontstaan vergoeden.

8.8 Seismisch risicobeheersplan

Het Seismisch Risicobeheersplan voor Kleine Velden is te vinden op de NAM-website¹³ en is van toepassing op de voorkomens beschreven in dit winningsplan. Hierin wordt uitgelegd welke acties er worden genomen indien bevingen worden geobserveerd, waarbij gebruik wordt gemaakt van een “verkeerslichtsysteem”. De meest concrete actie die genoemd wordt is dat het veld wordt ingesloten op het moment er een beving plaatsvindt met een magnitude die groter is dan $M=3$.

Onderstaande afbeelding is een weergave uit het genoemde Seismisch Risicobeheersplan voor Kleine Velden, voor een volledige weergave wordt verwezen naar pagina 28 in dit document (zie voetnoot 13).

4.3.9 Middelie

Het Middelie (Rottlegend) gasveld ligt onder de gemeente Edam-Volendam, Beemster en Purmerend binnen de provincie Noord-Holland. De veiligheidsregio betreft Zaanstreek-Waterland.

Het veld heeft in het verleden twee keer gebeefd (zie figuur rechts, de gele stippen geven voor eerdere bevingen de datum yyyymmdd en magnitude). Het veld valt in Seismische Risicocategorie 2. Dit betekent dat extra seismische monitoring nodig is. De vereiste monitoring is aanwezig, en in 2019 zal boven het veld nog een extra seismisch station worden geplaatst om een eventuele beving beter te kunnen lokaliseren.

Lokale aspecten die besproken worden met de Veiligheidsregio:

- Industriële inrichting: Alleen de gasproductie en behandelingslocatie van de NAM bevindt zich boven het veld. Voorlopige resultaten van studies in Groningen geven aan dat het risico van uittreding van gevaarlijke stoffen door een beving laag is.
- Speciale gebouwen en vitale infrastructuur: Het Waterlandziekenhuis in Purmerend, Westfriesgasthuis in Hoorn en Behandelcentrum Waterland in Volendam bevinden zich op meerdere kilometers afstand van het gasveld. Overige infrastructuur zoals klinieken, scholen, tehuizen en/of publieke gebouwen (zwembaden, sporthallen, buurthuizen, horecagelegenheden, kerken/gebedshuizen) bevinden zich hoogstens aan de rand of buiten de directe omvang van het veld. In Groningen analyses wordt het risico van ketenschade door dit soort gebouwen en infrastructuur verwaarloosbaar geacht.
- Dijken: Er zijn een aantal secundaire dijken rond o.a. de Beemstervaart die boven het gasveld liggen. De primaire dijken langs het Markermeer liggen op 2 tot 5 kilometer afstand van het gasveld. Studies in Groningen hebben aangetoond dat het risico voor schade aan dijken door een beving verwaarloosbaar is.



Bij een beving boven het Middelie veld wordt het volgende Risicobeheerssysteem gevolgd:

Magnitude	Escalatie	NAM		Externe partijen		
		Acties	NAM communicatie (afhankelijk van lokale factoren en publieke reacties)	SodM	Gemeente Edam-Volendam, Beemster, Purmerend	Veiligheidsregio(s) (meldkamer) Zaanstreek-Waterland
$M \leq 1.5$ Veld heeft gebeefd	Normaal werkgebied	Maandelijkse evaluatie van eventuele ontwikkelingen in het patroon van seismische waarnemingen.	NAM volgt actief nieuws en communiceert wanneer noodzakelijk of gewenst externe partijen		NAM neemt contact op (binnen 48 uur)	
$1.5 < M \leq 2.0$	Seismische activiteit Kans dat beving gevolgd is	De plaats van de aardbeving wordt vergeleken met het geologische model, de locatie van putten en breuken. Waar nodig worden aanbevelingen geformuleerd.	NAM plaatst informatie op de website	NAM belt z.s.m. (binnen 12 uur)	NAM belt z.s.m. (binnen 12 uur)	
$2.0 < M \leq 3.0$	Verhoogde seismische activiteit Kans op lichte, niet-constructieve schade	NAM overlegt met toezichthouder (SodM) over eventuele productiemaatregelen. Waar nodig activeert NAM extra capaciteit om meldingen van schade goed af te handelen (zolang landelijke afhandeling nog niet bestaat).	NAM plaatst een bericht op de website	NAM belt z.s.m. (binnen 12 uur) NAM zal analyse en eventuele productiemaatregelen met SodM delen (binnen 1 week)	NAM belt z.s.m. (binnen 12 uur) - schadeafhandeling - afspraken rond communicatie (incl extern) Bespreken voorgenomen maatregelen (binnen 1 week)	KNMI informeert de veiligheidsregio. Bij $M \geq 2.5$ of bij sociale onrust zal het NAM Crisis Management Team (CMT) in werking treden. Het CMT belt z.s.m.
$M > 3.0$	Hoge seismische activiteit Verhoogde kans op schade	NAM stopt productie van het veld NAM zal productie alleen hervatten na overleg met de toezichthouder (SodM) en in overeenstemming met gemeente en veiligheidsregio NAM activeert extra capaciteit om meldingen van schade goed af te handelen (zolang landelijke afhandeling nog niet bestaat).	NAM plaatst een bericht op de website	NAM belt z.s.m. (binnen 12 uur) NAM zal analyse en productiemaatregelen met SodM delen (binnen 48 uur)	NAM belt z.s.m. (binnen 12 uur) - schadeafhandeling - afspraken rond communicatie (incl extern) Bespreken voorgenomen maatregelen (binnen 1 week)	KNMI informeert de veiligheidsregio. Tevens belt het NAM Crisis Management Team z.s.m.

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

9 OVERIGE OMGEVINGSASPECTEN

9.1 Algemeen

De winning van aardgas kan bodembeweging tot gevolg hebben die zich kan uiten als bodemdaling aan het aardoppervlak of bodemtrillingen. Daarnaast kunnen activiteiten op mijnbouwlocaties, zoals boringen of putonderhoud, leiden tot lichtuitstraling, geluidemissies en emissies naar de atmosfeer. De mogelijke gevolgen worden beoordeeld door het bevoegd gezag in het kader van andere vergunningen dan dit winningsplan, zoals onderstaand in grote lijnen is weergegeven.

Een overzicht van de algemene mogelijke gevolgen en in welke vergunningprocedure(s) deze worden behandeld, staat in de volgende tabel:

Gevolgen met betrekking tot:	Besluit waarin aan de orde:
Bodembeweging	Winningsplan
Bodem-/grondwaterverontreiniging	Omgevingsvergunning milieu
Luchtverontreiniging (emissies)	Omgevingsvergunning milieu
Oppervlaktewaterverontreiniging	Omgevingsvergunning milieu evt. watervergunning
Externe veiligheid	Omgevingsvergunning milieu
Natuur	Wet natuurbescherming

De Staatssecretaris Mijnbouw bevordert op grond van artikel 34 lid 7 Mijnbouwwet een doelmatige en samenhangende besluitvorming ten aanzien van het besluit omtrent instemming met het winningsplan en een aantal overige besluiten, waaronder de besluiten zoals genoemd in bovenstaande tabel (coördinatieregeling).

9.2 Vergunningen

De Wet algemene bepalingen omgevingsrecht (Wabo) regelt de omgevingsvergunning waarbij sinds 2010 de Wm-vergunning (Wet milieubeheer) vervangen is door de omgevingsvergunning. De volgende vergunningen zijn verleend ten behoeve van de uitvoering van het winningsplan ingediend in 2014 en het nieuwe winningsplan:

LOCATIES	WESTBEEMSTER-1	MIDDELIE-300
Vergunning	Wabo	Wabo
Verleend	d.d. 13 augustus 2012 (revisie; ingebruikname van nieuwe productieput, plaatsen gasproductie-eenheid, methanolinjectie-eenheid)	d.d. 31 augustus 2015 (revisie; plaatsen van twee gasproductie-eenheden, methanolinjectie-eenheid, waterbak e.d.)
Bodem/grondwater	✓	✓
Emissies	✓	✓
Oppervlaktewater	✓	✓
Externe Veiligheid	✓	✓
Natuur		

LOCATIES	MIDDELIE-300		
Vergunning	Wabo	Wabo	Wabo
Verleend	d.d. 30 juni 2016 (milieuneutraal veranderen: plaatsen van anticorrosie- vloestofinjectie-eenheid)	d.d. 28 mei 2020 (milieuneutraal veranderen: vervangen gasflessen)	d.d. 18 september 2020 (verandering: plaatsen compressor)
Bodem/grondwater	✓	✓	✓
Emissies	✓	✓	✓
Oppervlaktewater	✓	✓	✓
Externe Veiligheid	✓	✓	✓
Natuur			

In het geval van de Middelie-Beemster-300 en Westbeemster-1 locaties zijn de benodigde vergunningen al verleend zodat coördinatie met dit aangepast winningsplan niet meer aan de orde is. De bovengenoemde mogelijke gevolgen zijn al meegenomen in de respectievelijke vergunningsprocedures.

Voor eventuele toekomstige boringen van een nieuwe put zal een separate omgevingsvergunning worden aangevraagd.

Met betrekking tot bovenstaande tabel wordt hieronder aangegeven wat NAM doet om genoemde gevolgen op de natuur te voorkomen, dan wel de effecten hiervan te beperken.

9.3 Effecten op natuur en milieu - algemeen

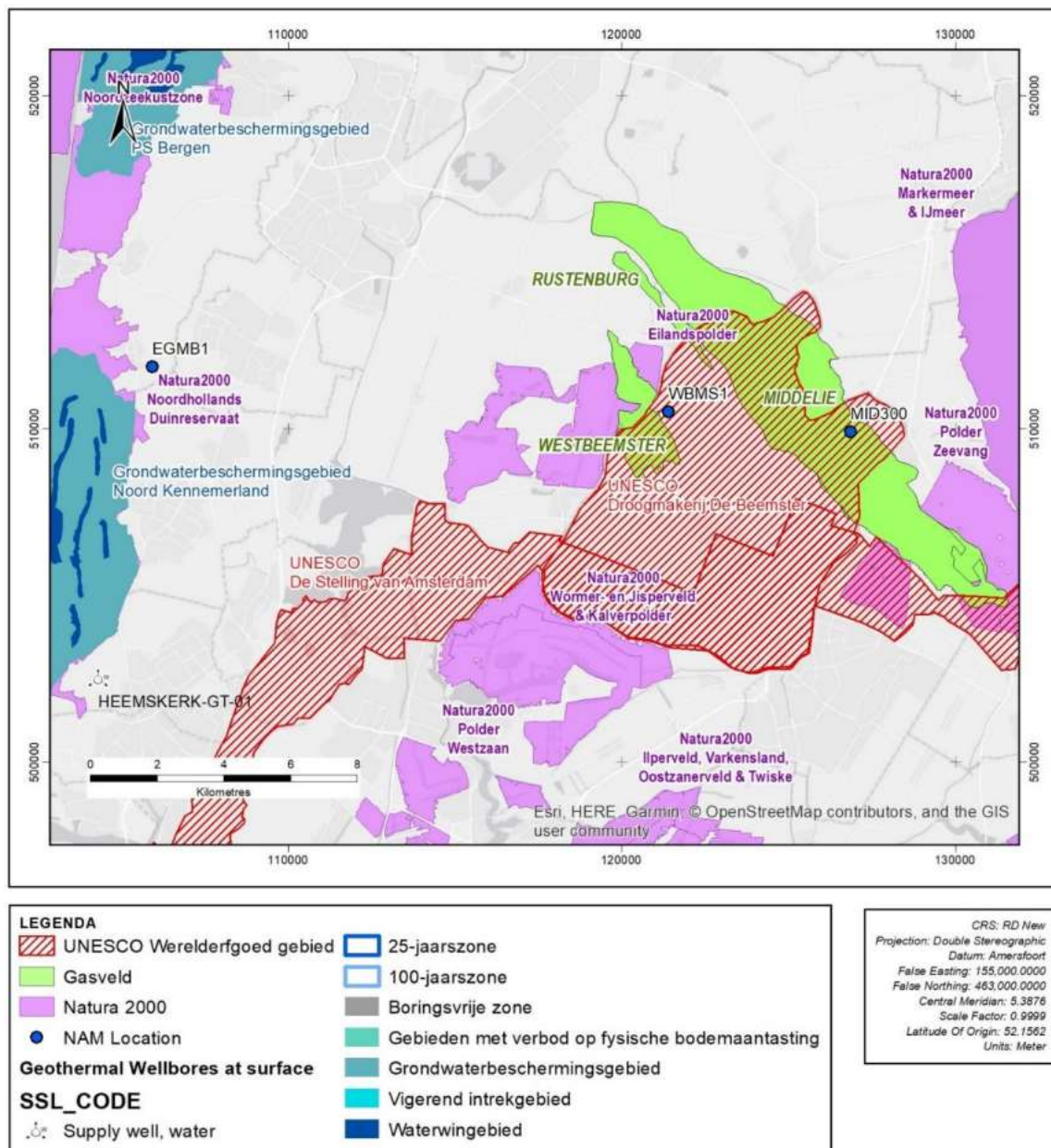
Voor natuur geldt een zorgplicht vanuit de Wet natuurbescherming. Beschermde en aangewezen natuurwaarden mogen niet nadelig worden beïnvloed. Indien nadelige effecten van mijnbouwactiviteiten niet op voorhand uitgesloten kunnen worden, dienen deze 'Passend Beoordeeld' te worden en dient er een vergunning in het kader van de Wet natuurbescherming te worden aangevraagd.

De Wet natuurbescherming regelt in Nederland de bescherming van aangewezen natuurgebieden. In deze paragraaf wordt een overzicht gegeven van de beschermde natuurgebieden in de nabije omgeving van de mijnbouwlocaties Middelie-Beemster-300 en Westbeemster-1 en de voorkomens Middelie Rotliegend, Middelie Zechstein, Westbeemster Rotliegend, Rustenburg Rotliegend en Rustenburg Zechstein (zie Figuur 9-1). Toegelicht zal worden hoe mijnbouwactiviteiten kunnen doorwerken op beschermde natuurwaarden.

Voor bodembeweging als gevolg van gasproductie zal beoordeeld worden in hoeverre nadelige effecten op voorhand kunnen worden uitgesloten. Directe effecten van bodemdaling op beschermde natuur is niet aan de orde omdat de activiteit plaatsvindt in de ondergrond. Wel kan de gaswinning en de bijkomende bodemdaling indirecte gevolgen hebben voor beschermde natuurwaarden doordat eventuele bodemdaling de waterhuishouding aan het aardoppervlak kan beïnvloeden.

Overige mogelijke effecten op de beschermde natuurwaarden en op het UNESCO-werelderfgoedgebied, als gevolg van de in dit winningsplan voorgenomen bovengrondse activiteiten, zijn al beschouwd in het Wabo-vergunningentraject en worden daarom in dit hoofdstuk buiten beschouwing gelaten.

De formele beoordeling van deze effecten in het kader van de Wet Natuurbescherming vindt plaats voorafgaand aan de uitvoering van deze activiteiten, zodat rekening kan worden gehouden met seizoeninvloed e.d. op de migratie van beschermde soorten en de invloed van bijvoorbeeld stikstofdepositie.



Figuur 9-1: Regiokaart met plangebied winningsplan Middellie, inclusief dichtbijzijnde Natura 2000-gebieden (paars), waterwingebied (blauw) en UNESCO werelderfgoed-gebieden (rood gearceerd). Omringende gasvelden zijn niet getoond.

Gebiedsbeschrijving

In het gebied liggen meerdere Natura 2000-gebieden (zie Figuur 9-1). Het Natura 2000-gebied Polder Zeevang ligt in het zuidoosten van de gasvoorkomens Middellie Rotliegend en Middellie Zechstein. Polder Zeevang is een kenmerkend open veenweidegebied met veel open water. Het is een typisch agrarische veenpolder waar intensieve en matig intensieve graslanden elkaar afwisselen. De meeste graslanden bestaan uit soortenarme gemeenschappen, maar op de extensief beheerde graslanden komen nog kruidenrijke begroeiingen voor.

Het Natura 2000-gebied Eilandspolder ligt in het midden van het gasvoorkomen Westbeemster Rotliegend. Dit gebied is een oude polder met grasland, natuurlijk ontstane meertjes en verlandingsvegetaties. Het grootste oppervlakte in het gebied wordt ingenomen door graslanden op veen, die op een aantal plekken worden begrensd door lintvormige verlandingsvegetatie. Het gebied is van belang voor de noordse

woelmuis en is van belang als vogelgebied. Het gebied is ook van belang als broedgebied voor broedvogels in rietmoeras en rietruigte.

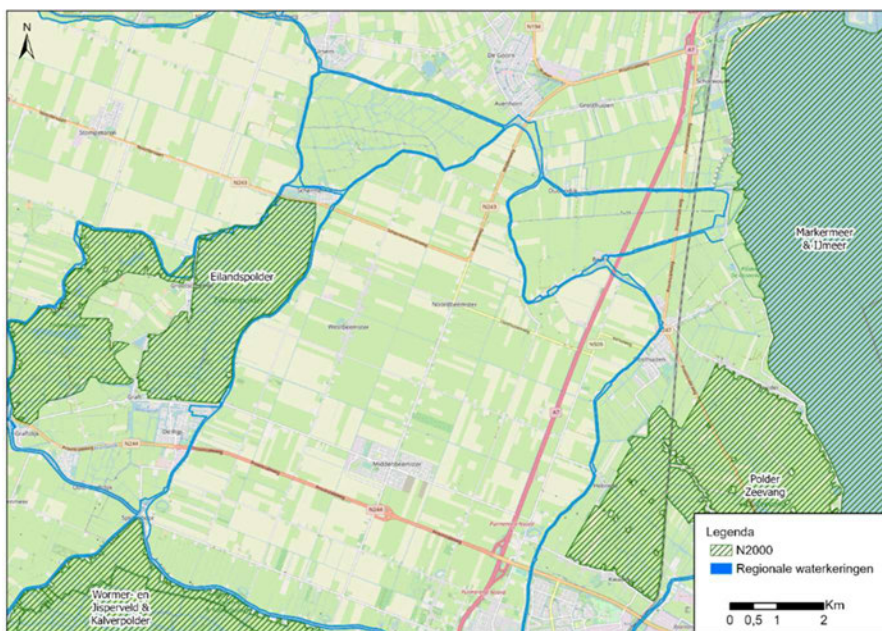
In het gebied liggen verder twee UNESCO-werelderfgoedgebieden: De Beemster Polder en De Stelling van Amsterdam (verdedigingslinie). Het doel hiervan is om deze gebieden te beschermen omdat ze van groot cultureel of natuurlijk belang voor het menselijk erfgoed zijn.

De dichtbijzijnde grondwater-beschermingsgebieden liggen in de duinen ten westen van het plangebied en raken niet aan de gasvoorkomens.

Waterhuishouding

Hoogheemraadschap Holland Noorderkwartier is het beherende waterschap in het gebied. De peilen in het gebied zijn vastgelegd in Peilbesluit Eilandspolder, Mijzen en Kamerhop en Peilbesluit Beemster. Het is een gereguleerd systeem wat betekent dat de waterpeilen in de waterlopen worden geregeld via meerdere kunstwerken (stuwen en gemalen). Het is een waterrijk gebied en het Hoogheemraadschap onderscheidt primaire, secundaire en tertiaire waterlopen. Er worden verschillende waterpeilen beheerd, afhankelijk van de functie. Er ligt een groot aantal stuwen, gemalen en sluizen in het watersysteem.

Er ligt een aantal primaire en secundaire waterkeringen in het gebied (zie Figuur 9-2). De primaire kering ligt langs het Markermeer. De secundaire waterkering in de nabije omgeving van de gasvoorkomens is de Beemsterringvaart, deze loopt tussen de dorpen Middenbeemster en Middelie en ten noorden van het dorp Noordbeemster. De Beemsterringvaart heeft een lengte van ongeveer 30 km. In het zuiden van het gebied, noordwestelijk van Purmerend, is de Beemsterringvaart met het Noordhollandsch Kanaal verbonden.



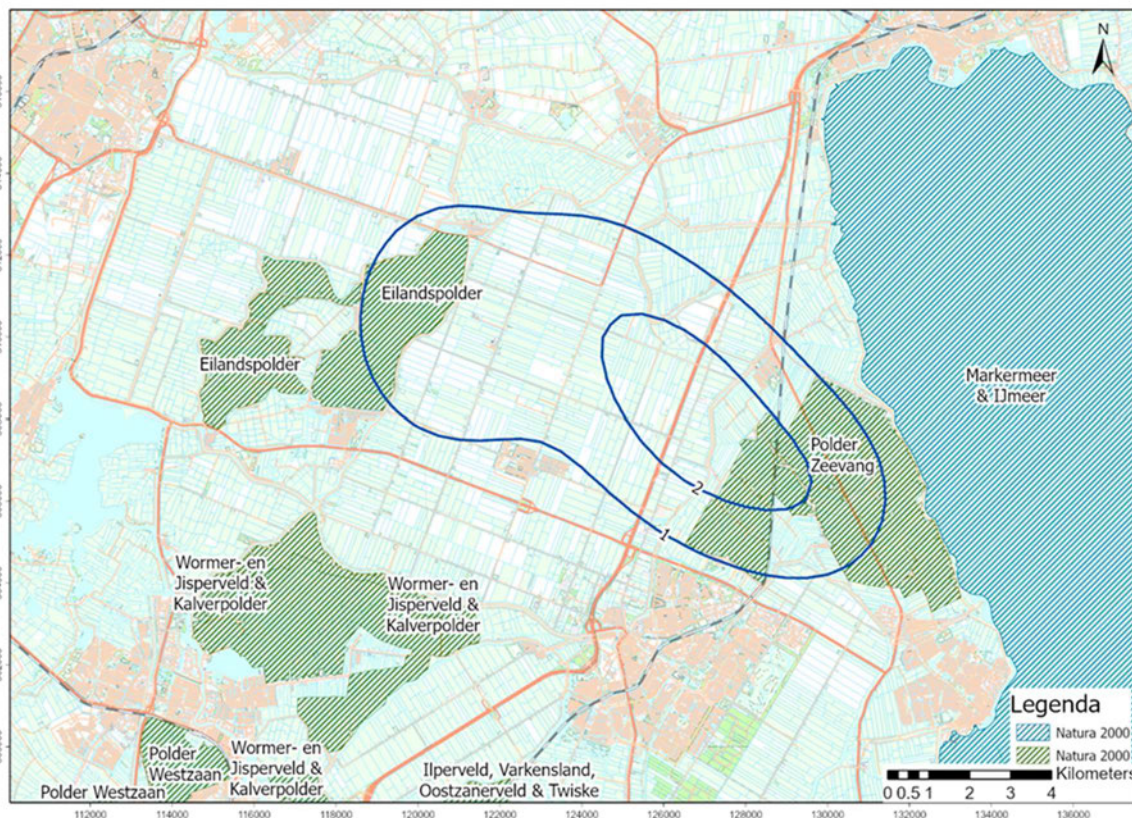
Figuur 9-2: Regionale waterkeringen (Bron: Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier).

9.4 Effecten toekomstige bodemdaling op natuur en milieu

Bodemdaling in plangebied

De totale bodemdaling door gaswinning vanaf start tot einde productie uit de verschillende gasvoorkomens (Middelie Rotliegend, Middelie Zechstein, Rustenburg Rotliegend, Rustenburg Zechstein en Westbeemster Rotliegend) is te zien in Figuur 7-6, deze laat zien dat de prognose voor de totale bodemdaling door gaswinning voor de periode 1974 tot 2050 maximaal 8 cm bedraagt. De prognose voor toekomstige

bodemdaling door gaswinning vanaf het jaar 2020 tot 2050 is te zien in Figuur 7-5 en bedraagt 2 tot maximaal 4 cm. In Figuur 9-3 is deze toekomstige bodemdaling te zien ten opzichte van de ligging van de Natura 2000-gebieden. De effecten van deze toekomstige bodemdaling vanaf 2020 tot 2050 worden in de volgende paragrafen beschreven. In de beoordeling worden effecten beschreven voor de aspecten landbouw, bebouwing, waterveiligheid en natuur.



Figuur 9-3 : Toekomstige bodemdaling in cm vanaf 2020 tot einde productie. In dit figuur zijn de contouren om de 1 cm getoond. Dit betekent dat de maximale nog te verwachten bodemdaling in het midden van de bodemdalingssom minder dan 3 cm bedraagt.

Beoordelingsmethodiek

Drooglegging is het verschil tussen het waterpeil en het maaiveld. In principe leidt de bodemdaling als gevolg van de gaswinning niet direct tot een afname van de drooglegging. Immers, het peilregulerende kunstwerk daalt gelijkmatig met het maaiveld, waardoor het verschil tussen peil en maaiveld ongewijzigd blijft. Op het moment dat er sprake is van een bodemdalingsverschil binnen een peilgebied (of een deel van het peilgebied) kan er zowel sprake zijn van vernatting als verdroging.

Vernatting treedt op als het peilregulerend kunstwerk binnen het peilvak minder zakt dan een deel van het maaiveld binnen het peilgebied. Voor verdroging geldt het omgekeerde. Deze situaties doen zich veelal voor bij peilgebieden van een aanmerkelijke omvang en/of steile bodemdalingscontouren (>5 cm binnen één peilgebied). In de beoordeling is als uitgangspunt gehanteerd dat er sprake is van negatieve effecten op de waterhuishouding in het bebouwd- en landbouwgebied bij een bodemdalingsverschil binnen een peilvak van 5 cm of meer, of bij een afname van de drooglegging van meer dan 5 cm. Dit uitgangspunt is overgenomen van de methodiek schadebepaling die de Commissie Bodemdaling Aardgaswinning Fryslân hanteert¹⁴. De effectbeoordeling op de Natura 2000-gebieden wordt gedaan op basis van beschikbare informatie over de instandhoudingsdoelstellingen en op basis van expert judgement.

¹⁴ www.bodemdalingfryslan.nl en Bodemdaling statusrapport 2020 – Drenthe Overijssel Friesland

Effect op landbouw, bebouwing en waterveiligheid

In gebieden waar bodemdaling optreedt kan de vermindering van drooglegging in (delen van) peilvakken gevolgen hebben voor de landbouw, bebouwing of waterveiligheid. In landbouwgebieden speelt vernatting van percelen door verminderde drooglegging. In bebouwd gebied heeft een verandering van drooglegging mogelijke gevolgen door zetting van de ondergrond ten opzichte van de fundering, ongelijkmatige zetting op gebouwniveau of verandering van verhang van riolering. Tevens kan de (kerende) hoogte van keringen (dijken), de opvoerhoogte van gemalen en de doorvaarhoogte van vaste bruggen verminderen. Tot slot leidt een relatieve stijging van het grondwaterpeil tot een afname in de capaciteit van de grondwaterberging.

In het landbouwgebied wordt een bodemdaling voorzien van 2 tot maximaal 4 cm over een tijdspanne van circa 35 jaar. Dit betekent dat het bodemdalingsverschil per peilvak minder is dan 5 cm, waardoor er geen negatieve effecten worden verwacht voor landbouwgronden.

Voor de bebouwing in het gebied geldt een toekomstige bodemdaling van 2 tot 4 cm tot einde gaswinning, over een periode van 35 jaar. Dit betekent dat het bodemdalingsverschil per peilvak minder is dan 5 cm, waardoor er geen negatieve effecten worden verwacht voor de bebouwing. De diepe bodem zakt hier integraal naar beneden met de fundering en de kunstwerken die de drooglegging bepalen.

De drooglegging verandert hierdoor niet en er is geen sprake van zetting van de ondergrond ten opzichte van de fundering of ongelijkmatige zetting op gebouwniveau. Hierdoor ontstaan geen schadelijke gevolgen door het optreden van zetting. Dit leidt niet tot negatieve effecten.

Effect op grondwaterberging

De relatieve stijging van het grondwaterpeil leidt in principe tot een afname in de capaciteit van de grondwaterberging. Het bovengenoemde effect treedt niet op zolang Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier de huidige peilen conform peilbesluit handhaaft. Gezien de bodemdaling van nog maximaal 4 cm over een tijdspanne van 35 jaar is dit effect verwaarloosbaar.

Waterveiligheid – Verandering van opvoerhoogte gemalen en hoogte keringen

In het gebied waar bodemdaling optreedt liggen regionale waterkeringen. Circa 11 km langs de Beemsterringvaart (waarvan circa 6 km oostelijk tussen Oosthuizen en Purmerend en 5 km westelijk tussen De Rijk en Schermerhorn) krijgt te maken met toekomstige bodemdaling vanuit gasvoorkomens Middellie Rotliegend, Middellie Zechstein, Westbeemster Rotliegend Rustenburg Rotliegend en Rustenburg Zechstein en omgeving.

In een situatie waar bodemdaling voorkomt en het waterpeil gelijk wordt gehouden ten opzichte van NAP, kan dit een verandering in de kerende hoogte tot gevolg hebben. Ter plaatse van de kering gaat het nog om een bodemdaling van 2 tot 4 cm tot einde productie. Indien de kering opgehoogd dient te worden om toekomstige bodemdaling te compenseren zal over een lengte van ca. 11 km aan twee zijden van de Beemsterringvaart een extra hoogte van 2 tot 4 cm moeten worden aangebracht.

Effectbeoordeling Natura 2000-gebieden Eilandspolder en Polder Zeevang

De Wet natuurbescherming beschrijft dat beschermde en aangewezen natuurwaarden niet nadelig mogen worden beïnvloed. Indien nadelige effecten niet op voorhand kunnen worden uitgesloten, moeten die nader worden onderzocht. Hieronder is het effect van vernatting en/of verdroging als gevolg van gaswinning beoordeeld op beide polders:

- Eilandspolder
In het oosten van de Eilandspolder daalt de bodem nog circa 1 cm. Om te beoordelen of er sprake is van verdroging of vernatting door bodemdaling is gekeken naar de relatieve verandering van de grondwaterstand ter plaatse van de grondwaterstandafhankelijke habitattypen. In het zuidoosten van het gebied ligt zeer lokaal grondwaterstandafhankelijke vegetatie.

Het effect op deze habitattypen is bepaald door het bodemdalingsverschil per peilvak te analyseren. De Eilandspolder kent een seizoensgebonden dynamisch peil van -2,33 / -2,35 m NAP. Dit peil geldt voor de gehele Eilandspolder. Het peil in de waterrijke polder wordt beheerd met meerdere gemalen, inlaten en stuwen. Over dit peilvak loopt de 1 cm bodemdalingscontour. Dit betekent dat er in het oosten van het peilvak ongeveer 1 cm bodemdaling optreedt en in het westen van het peilvak geen bodemdaling, wat resulteert in ongeveer 1 cm bodemdalingsverschil. De bodemdaling leidt tot een vermindering van de drooglegging van circa 1 cm in het oostelijke deel van het peilvak, mits het Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier de huidige peilen conform peilbesluit handhaaft. Dit leidt theoretisch tot een vernatting van het grondwater van circa 1 cm. Dit effect is zeer beperkt maar wel positief voor de natuurdoeltypen. Opgemerkt wordt dat deze bodemdaling en dus eventuele vernatting treedt op over een periode van ongeveer 35 jaar.

- Polder Zeevang
In de Polder Zeevang daalt de bodem nog 1 tot maximaal 3 cm. De polder kent enkel niet-broedvogelsoorten, er zijn geen grondwaterstandsafhankelijke habitattypen. Derhalve zijn er geen negatieve effecten te verwachten vanuit de waterhuishouding op het Natura 2000-gebied als gevolg van bodemdaling.

9.5 Effecten bodemtrilling op natuur en milieu

Uit de Seismische Risico Analyse die is uitgevoerd voor de voorkomens in dit Winningsplan Middelie, volgt dat een aantal van die voorkomens zijn ingedeeld in risicocategorie 2. Voor deze voorkomens zijn extra monitoringsmaatregelen nodig.

Op basis van dezelfde analyse is vastgesteld dat de kans op bevingen met significante schade klein is. Negatieve gevolgen voor natuur en milieu door bodemtrillingen zijn dan ook niet te verwachten. Effecten van bodemtrilling op natuur worden daarom niet nader beschouwd. De kans op nadelige meetbare effecten van bodemtrilling op de Natura 2000- gebieden worden, gezien de aard van de trillingen, als verwaarloosbaar geacht.

9.6 Overige aspecten in relatie tot natuur en milieu

Bodem- / grondwaterverontreiniging

NAM bouwt, onderhoudt en beheert haar installaties en locaties zodanig dat het risico op bodem- en/of grondwaterverontreiniging gering is. Het Activiteitenbesluit en de omgevingsvergunning bevatten de regels hieromtrent die door NAM worden nageleefd. Staatstoezicht op de Mijnen (SodM) ziet toe op naleving. Indien door een incident toch een bodem- en/of grondwaterverontreiniging ontstaat, dan saneert NAM deze verontreiniging in het kader van de Wet bodembescherming. Gedeputeerde Staten van de provincie zijn hiervoor bevoegd gezag. NAM en de toezichthouders hanteren een strikt controlebeleid waardoor de kans op bodemverontreiniging zeer gering is. Gevaar voor de volksgezondheid door het optreden van incidenten is niet te verwachten.

Nieuwe activiteiten

In dit winningsplan wordt naast verlenging en uitbreiding van de bestaande productie ook de mogelijkheid van eventuele nieuwe putten beschreven (alleen van toepassing in het hoog scenario). Eventuele effecten op (beschermde) natuurwaarden als gevolg van activiteiten zoals het boren van een nieuwe put, worden beschouwd in de daarvoor relevante vergunningtrajecten zoals die in het kader van de Wet algemene bepalingen omgevingsrecht (Wabo). Deze zijn daarom in dit hoofdstuk buiten beschouwing gelaten.

10 VERKLARENDE WOORDENLIJST

Aquifer	Ondergronds, watervoerend deel van het reservoir. Dat kan naast en/of onder het gasvoerende deel gelegen zijn.
Cm	Uniaxiale compactie-coëfficiënt; mate van samendrukbaarheid van het gesteente
Compactie	Het samendrukken van het reservoirgesteente wanneer door productie de druk van de vloeistof in de poriën daalt, en onvoldoende tegenwicht geeft aan het gewicht van bovenliggende gesteenten.
Compressibiliteit	Samendrukbaarheid
Depletie	Drukdaling door het onttrekken van gas (of olie of water) uit reservoirgesteente
EZK	Ministerie van Economische Zaken en Klimaat
GIIP	Volume gas initieel aanwezig in het voorkomen (in Nm ³)
GPS	Global Positioning System: systeem voor plaats- en hoogtebepaling met behulp van satellieten
GWC	Gas-water contact diepte (verticaal in meter onder NAP)
FWL	Diepte waarop water de dominante vloeistof is (verticaal in meter onder NAP)
Kern	Gesteente uit de ondergrond verkregen bij het boren van een put
KNMI	Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut
m RT	Diepte gemeten in m langs het boortraject, vanaf de boortafel (RT)
Mb	Mijnbouwbesluit
MER	Milieu-Effect-Rapportage
Mw	Mijnbouwwet
NAM	Nederlandse Aardolie Maatschappij
Nm ³	Gasvolume in kubieke meter bij 0 °C en 1.01325 bara
Permeabiliteit	De mate waarin een (poreuze) vaste stof een andere stof (gas of vloeistof) doorlaat. Indien een materiaal een andere stof niet doorlaat heet het materiaal voor die stof impermeabel.
Porositeit	Verhouding tussen het poriënvolume en het totale volume van het gesteente.
RD coördinaat	Coördinaten in het topografische kaartmateriaal zijn vermeld in het stelsel van de Rijksdriehoeksmeting (RD). De auteursrechten en databankrechten zijn voorbehouden aan de Topografische Dienst Kadaster, Emmen, 2006
SodM	Staatstoezicht op de Mijnen
sm ³	Olievolume in kubieke meter bij 15 °C en 1.01325 bara
SRA	Seismische Risico Analyse
TCBB	Technische Commissie Bodembeweging
TNO	Nederlandse Organisatie voor Toegepast-Natuurwetenschappelijk Onderzoek

11 BIJLAGE A: BODEMDALING: DETAILS EN ACHTERGRONDEN

Om een inschatting te maken van de onzekerheid over de toekomstige bodemdaling voor de vijf voorkomens in dit winningsplan is de onzekerheid in de C_m (compressibiliteit) gecombineerd met de verschillende depletiewaarden (DP) die volgen uit de scenario's voor de productievoorspellingen.

De C_m onzekerheid bevat meerdere componenten: onzekerheid over het compactiegedrag, onzekerheid over de depleterende dikte en onzekerheid over de compressibiliteit op basis van coreplug metingen. Niet al deze onzekerheden zijn kwantitatief te bepalen en daarom wordt er voor een inschatting ervaring uit het verleden gebruikt.

Voor een nieuw voorkomen op land wordt deze onzekerheid geschat op 75% op basis van ervaring uit het verleden. Na één of meerdere bodemdalingmetingen is meer kennis beschikbaar gekomen over de combinatie van de depleterende dikte en compressibiliteit waarmee de onzekerheid geschat wordt op 25%. De onzekerheid voor de DP volgt uit de reservoirmodellen voor het "laag-midden-hoog" scenario. De vermenigvuldiging van de C_m met de DP geeft een maat voor de compactie. Wanneer een hoge C_m met een hoge DP wordt vermenigvuldigd geeft dit een maximum scenario voor de onzekerheid. Een combinatie van lage waarden geeft een minimum. Een vertaling van compactie naar bodemdaling kan worden gemaakt mbv van de Geertsma formule:

$$H_{max} = 2 C_m (1 - \nu) \Delta P H \left(1 - \frac{D/R}{\sqrt{1 + (D/R)^2}} \right)$$

Waarbij:

- D : Diepte veld [m]
- H : Depleterende reservoir dikte [m], in deze analyse constant gehouden om dat de onzekerheid over de depleterende dikte verdisconteerd is in de C_m onzekerheid.
- ΔP : reservoir depletie (huidige druk – eind druk) [bar]
- ν : Poisson's ratio [-]
- R : straal van het veld [km], waarbij de straal wordt gekozen op basis van een vergelijking met de contouren zoals getoond in Figuur 7-5.

Het compactiemodel dat in deze studies wordt gebruikt is het *Rate Type Compaction Model* (RTiCM), waarbij de i staat voor isotachen, van TNO¹⁵. Dit model is geïntroduceerd in de long term subsidence studie voor het Ameland-veld, welke is goedgekeurd door SodM. Tevens wordt dit model ook door NAM toegepast in het Statusrapport 2020¹⁶ voor alle gasvelden in Noord-Nederland.

¹⁵ Pruiksma, J.P. & Breunese, J.N. & Thienen-Visser, Karin & De Waal, Hans. (2015). Isotach formulation of the rate type compaction model for sandstone. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*. 78. 127-132. 10.1016/j.ijrmms.2015.06.002.

¹⁶ NAM (2020) Bodemdaling door Aardgaswinning, NAM-gasvelden in Groningen, Friesland en het noorden van Drenthe. EP202011201629. <https://nam-onderzoeksrapporten.data-app.nl/reports/download/bodemdaling/nl/aa0e05c7-704a-4f9f-a02c-ea7ece904905>

Boven het Ameland-veld, maar ook boven andere velden, wordt waargenomen dat de bodemdaling langzaam begint maar ook na-ijlt wanneer de productie stopt. Dit tijdseffect kan goed met het RTCiM model beschreven worden. Hieronder wordt meer uitleg wordt gegeven over de drie belangrijkste parameters van dit model. In het begin van de winning, wanneer de compactie achterblijft bij de drukdaling en de bodemdaling langzaam verloopt, wordt de compactie beschreven door de lage C_m factor (C_{md}). Na verloop van tijd, waarbij die tijd bepaald wordt door de b parameter verloopt de daling sneller en volgt de hogere C_m factor (C_{mref}). Deze overgang gaat echter geleidelijk. Na het einde van de productie kan de bodemdaling nog jaren doorgaan, wederom afhankelijk van diezelfde b factor.

De gebruikte parameterwaarden voor de Rotliegend velden zijn gelijk aan de waarden die worden beschreven in het statusrapport 2020 voor Noord-Nederland. De Zechstein parameterwaarden volgen uit het winningsplan Schoonebeek (gas) dat in voorbereiding is.

De waarden die gebruikt zijn in de bepaling van de onder- en bovengrens voor de toekomstige bodemdaling worden in Tabel 11-1 weergegeven.

De op deze manier berekende bodemdalingsonzekerheid is opgenomen in onderstaande tabel. De onzekerheid in de compressibiliteit is met het RTCiM model berekend door C_{mref} en C_{md} met 25% te verhogen. De B factor is in deze berekening niet veranderd omdat de B factor alleen het tijdseffect verandert.

Tabel 11-1: Onzekerheid van de bodemdalingsprognose in het diepste punt voor de verschillende productiescenario's.

	TE VERWACHTEN			COMPRESSIBILITEIT						
	DRUKDALING [BAR]									
Voorkomen	Midden productie scenario	Laag productie scenario [bar]	Hoog productie scenario [bar]	C_{mref} (10^{-5} bar^{-1})	C_{md} (10^{-5} bar^{-1})	B [-]	Onzekerheid compressibiliteit	Nog te verwachten bodemdaling in diepste punt	Ondergrens voor de nog te verwachten bodemdaling in diepste	Bovengrens voor de nog te verwachten bodemdaling in diepste
Middelie RO	42	29	65	0,89	0,42	0,02 1	25%	<2	<2	4
Rustenburg RO	61	40	131	0,83	0,39	0,02 1	25%	<2	<2	<2
Rustenburg ZE	0	0	111	1,28	0,28	0,04 6	25%	<2	<2	<2
Westbeemster	85	60	102	0,73	0,35	0,02 1	25%	<2	<2	2
Middelie ZE	31	20	67	1,28	0,28	0,04 6	25%	<2	<2	<2

Tabel 11-2: Overzicht van input parameters gebruikt voor bodemdalingsprognose.

Voorkomen	Diepte veld [m]	Gemiddelde depleterende dikte [m]	Initiële druk [bar]	Huidige druk [bar]	Eind druk mid case productie scenario [bar]	Rigid basement [m]	Poissons ratio [-]
Middelie RO	2360	190	266	158	116	4000	0,2
Rustenburg RO	2230	70	241	143	82	4000	0,2
Rustenburg ZE	2060	15	244	244	244	3500	0,2
Westbeemster	2500	180	280	125	40	4000	0,2
Middelie ZE	2050	15	245	178	147	3500	0,2

12 BIJLAGE B: SEISMISCHE RISICO ANALYSE: DETAILS EN ACHTERGRONDEN

De winning van aardgas gaat gepaard met een daling van de druk in de ondergrond met als gevolg een verandering van de gesteentespanningen. Deze verandering van spanning kan leiden tot plotselinge bewegingen langs bestaande breuken, waardoor mogelijk een lichte aardbeving kan plaatsvinden.

In Nederland is/wordt door NAM uit ongeveer 80 olie- en gasvelden op het vasteland geproduceerd. Boven vijf van deze velden zijn bevingen geregistreerd die ook duidelijk aan het oppervlak voelbaar waren (magnitude meer dan 2,0 op de schaal van Richter).

In 2016 heeft SodM een tijdelijke richtlijn voor Seismische Risico Analyse (SRA) gepubliceerd¹⁷. De SRA gaat uit van het stappenschema zoals getoond in Figuur 12-2. Bij het schema zijn twee parameters belangrijk:

- de kans op een beving ($M \geq 1$) door gaswinning;
- de theoretische 'maximale bevingsmagnitude' ($M_{\max}$) als er een beving zou plaatsvinden.

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

Theoretisch kader seismische risicoanalyse volgens de leidraad:

Stap 1:

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

- voorkomens die niet meer produceren;
- én voorkomens die niet seismisch actief zijn geweest en waarvoor de kans verwaarloosbaar is dat ze in de toekomst seismisch actief kunnen worden of waarvoor $M_{\max}$ laag uitvalt ($M_{\max} < 2,5$);
- voorkomens die niet aan deze criteria voldoen schuiven door naar stap 2.

Stap 2:

In deze stap worden alle producerende voorkomens bekeken die:

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

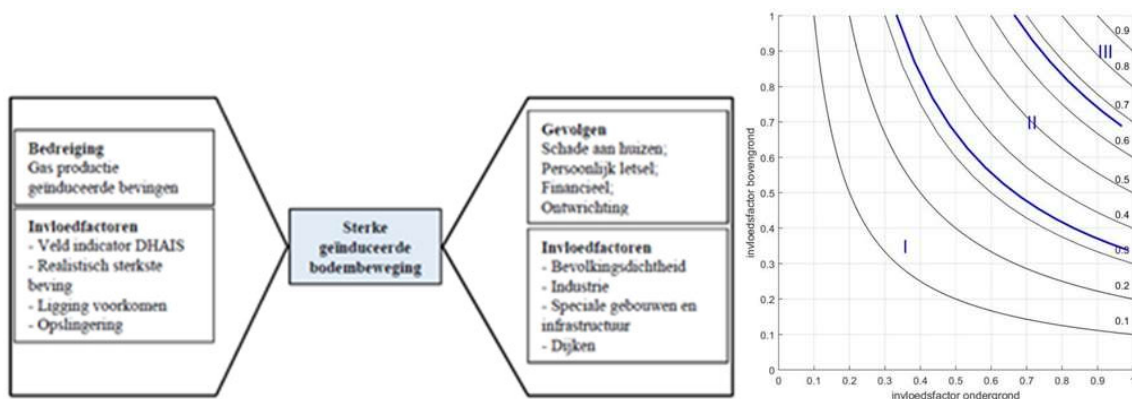
Stap 3:

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

In stap 2 wordt op basis van een risicomatrix het risico van geïnduceerde aardbevingen verder gekwalificeerd.

Figuur 12-1 geeft een schematische weergave van de verschillende factoren die bepalen of een geïnduceerde beving kan resulteren in een sterke groundbeweging (de 'invloedfactoren ondergrond') en de verschillende factoren die invloed hebben op de grootte van de mogelijke gevolgen (de 'invloedfactoren bovengrond').

¹⁷ Methodiek voor risicoanalyse omtrent geïnduceerde bevingen door gaswinning tijdelijke leidraad voor adressering mbb. 24.1.p, versie 1.2, SodM, 1 februari 2016



Figuur 12-1: Links: Schematische weergave van de bedreigingen en gevolgen van geïnduceerde bevingen en de verschillende invloedsfactoren die daarbij een rol spelen (SodM, 2016). Rechts: De risicomatrix. De zwarte lijnen zijn lijnen van gelijk genormaliseerd risico. De verdeling in categorieën is gedaan op basis van 1/3 en 2/3 van het genormaliseerde risico (SodM, 2016).

In de risicomatrix-analyse worden de verschillende factoren zoveel mogelijk kwantitatief geanalyseerd en op basis van de uitkomst wordt per factor een score bepaald. De scores van de individuele factoren worden vervolgens opgeteld, zodat een totaalscore voor de invloedsfactoren ondergrond en voor de invloedsfactoren bovengrond wordt verkregen. Deze scores worden genormaliseerd met het maximaal te behalen aantal punten voor ondergrond c.q. bovengrond en in de risicomatrix tegen elkaar uitgezet waarmee kwalitatief een risicocategorie wordt bepaald (Figuur 12-1, afbeelding rechts).

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

Veld indicator (DHAIS)

Deze methode beschrijft hoe de kans op het mogelijk optreden van een beving in een voorkomen kan worden berekend aan de hand van ondergrondse kenmerken. Deze kans moet gezien worden als een indicatie van de kans op een beving¹⁸ gedurende de productietijd van het veld en die bepaald is op basis van alle observaties van bevingen boven alle gasvelden in Nederland.

Realistisch sterkste beving (Mmax)

Voor een theoretische inschatting van de sterkste beving zijn twee verschillende benaderingen genomen:

- een bepaling van de compactie-energie die beschikbaar is in een producerend gasveld en kan leiden tot een beving;
- een maat voor de mogelijke bevingsmagnitude als de langste breuk in het producerende veld in zijn geheel in één keer in beweging zou komen.

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

Ligging van het voorkomen.

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

¹⁸ De magnitude van een mogelijke beving ligt tussen de 1,5 en de magnitude voor de realistische sterkste beving, waarbij de kans logaritmisch afneemt met de magnitude.

Opslingering

De ondiepe ondergrond kan een opslinging veroorzaken van de seismische golven en wordt daarom boven het veld gekarakteriseerd. Voor relatief slappe ondergrond (veen, klei) is dit effect groter dan voor relatief stevige ondergrond (zand).

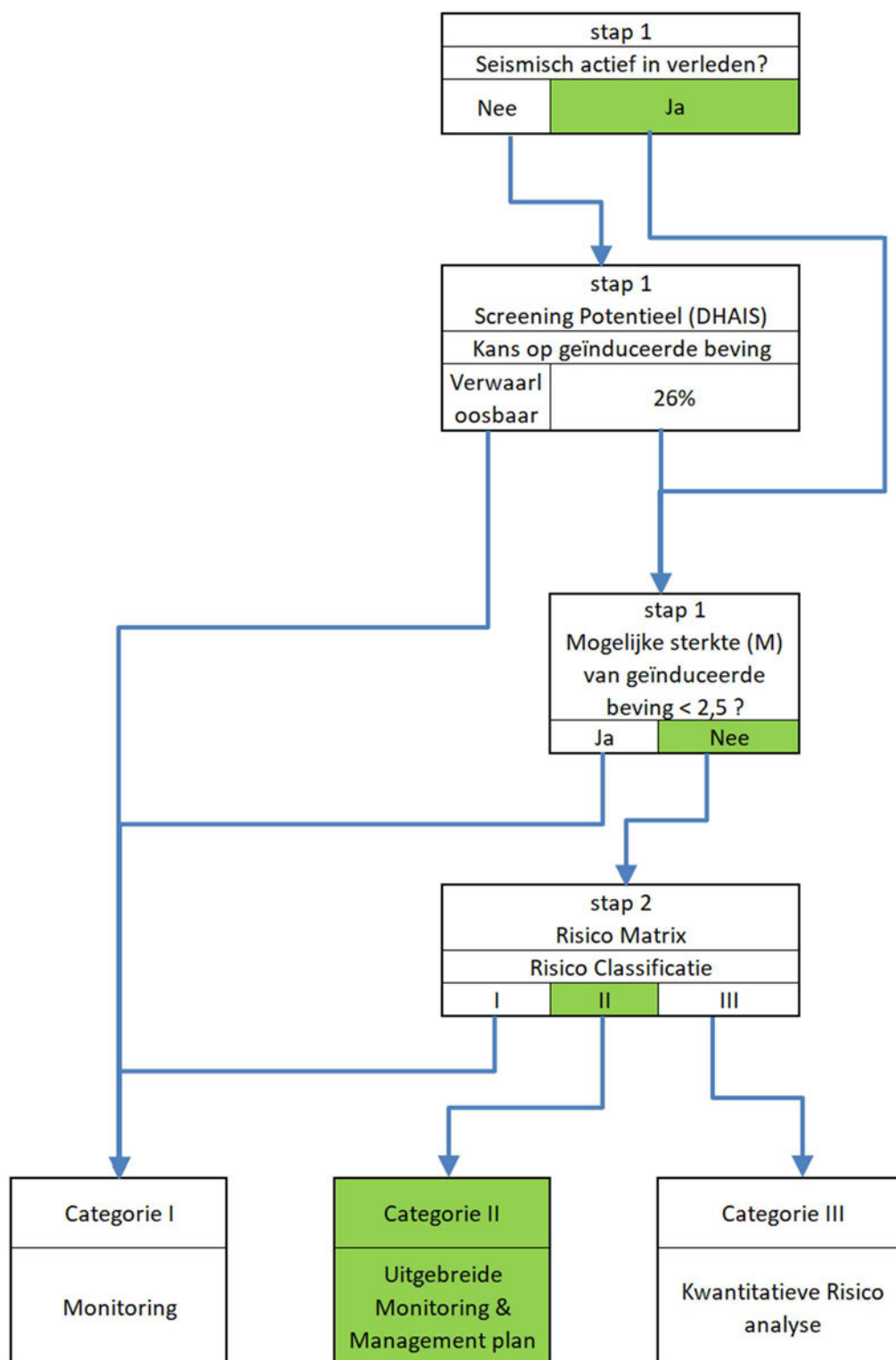
Het mogelijke gevolg van een beving volgt uit een analyse en score van de invloedfactoren bovengrond: bevolkingsdichtheid, industrie, speciale gebouwen, vitale infrastructuur en de aanwezigheid van dijken. Voor de bepaling van de bevolkingsdichtheid wordt de CBS Statline data gebruikt; hierbij krijgt de categorie flats/appartementencomplexen extra aandacht in de uiteindelijke score. Industriële inrichtingen, speciale gebouwen en vitale infrastructuur en dijken worden in kaart gebracht m.b.v. de risicokaart. (<http://www.risicokaart.nl>)

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

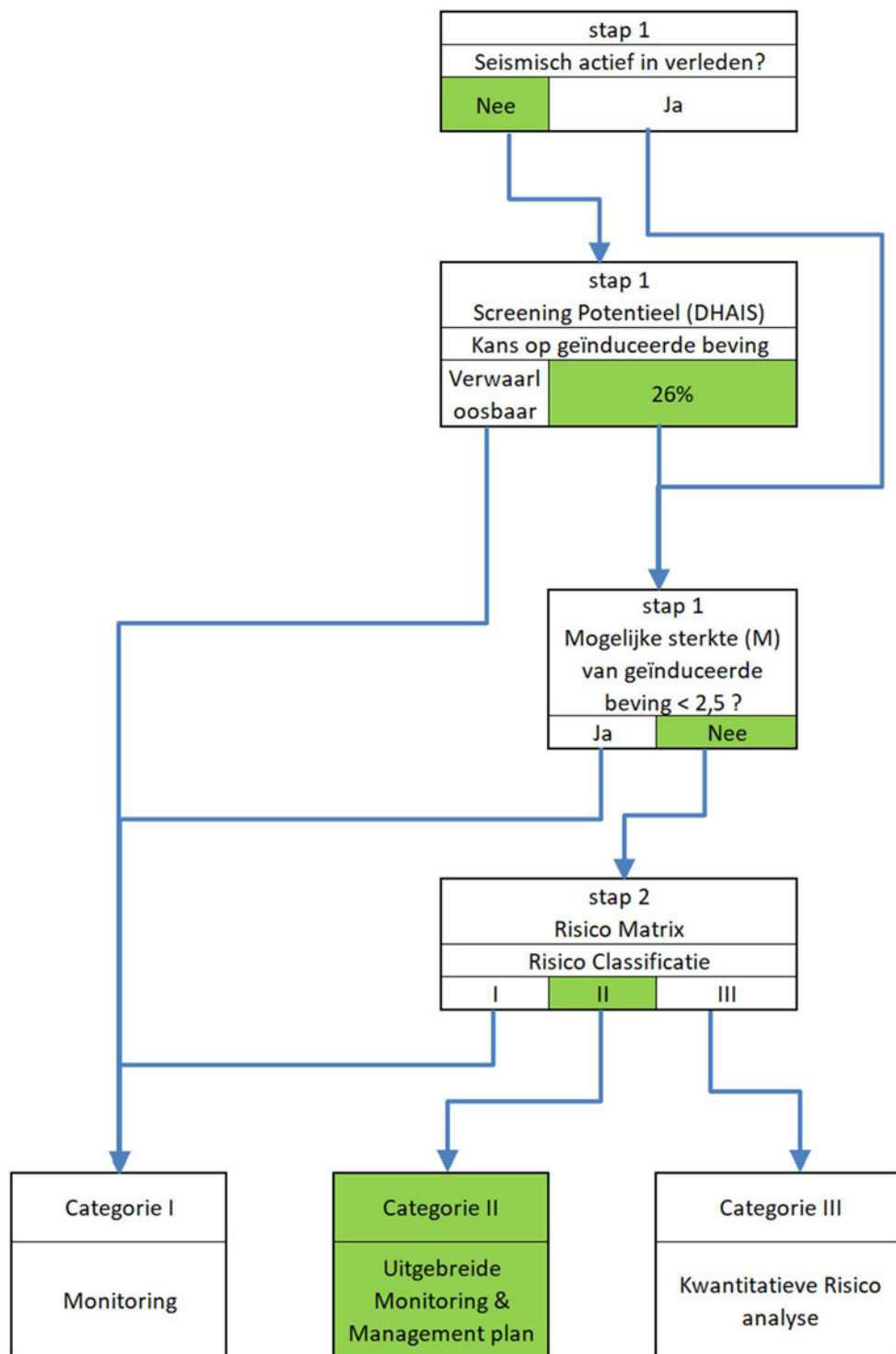
12.1 Seismische Risico Analyse voor de Middelie voorkomens

In stap 1 van de risicoanalyse wordt gekeken of het veld al gebeefd heeft of wat de kans op een mogelijke beving is gedurende de levensduur van het veld. Daarnaast wordt een inschatting gemaakt van de maximale magnitude. In Figuur 12-2 staan voor de voorkomens van het winningsplan Middelie de uitkomsten in groen voor de verschillende stappen. Details van de berekening staan in bijlage B.

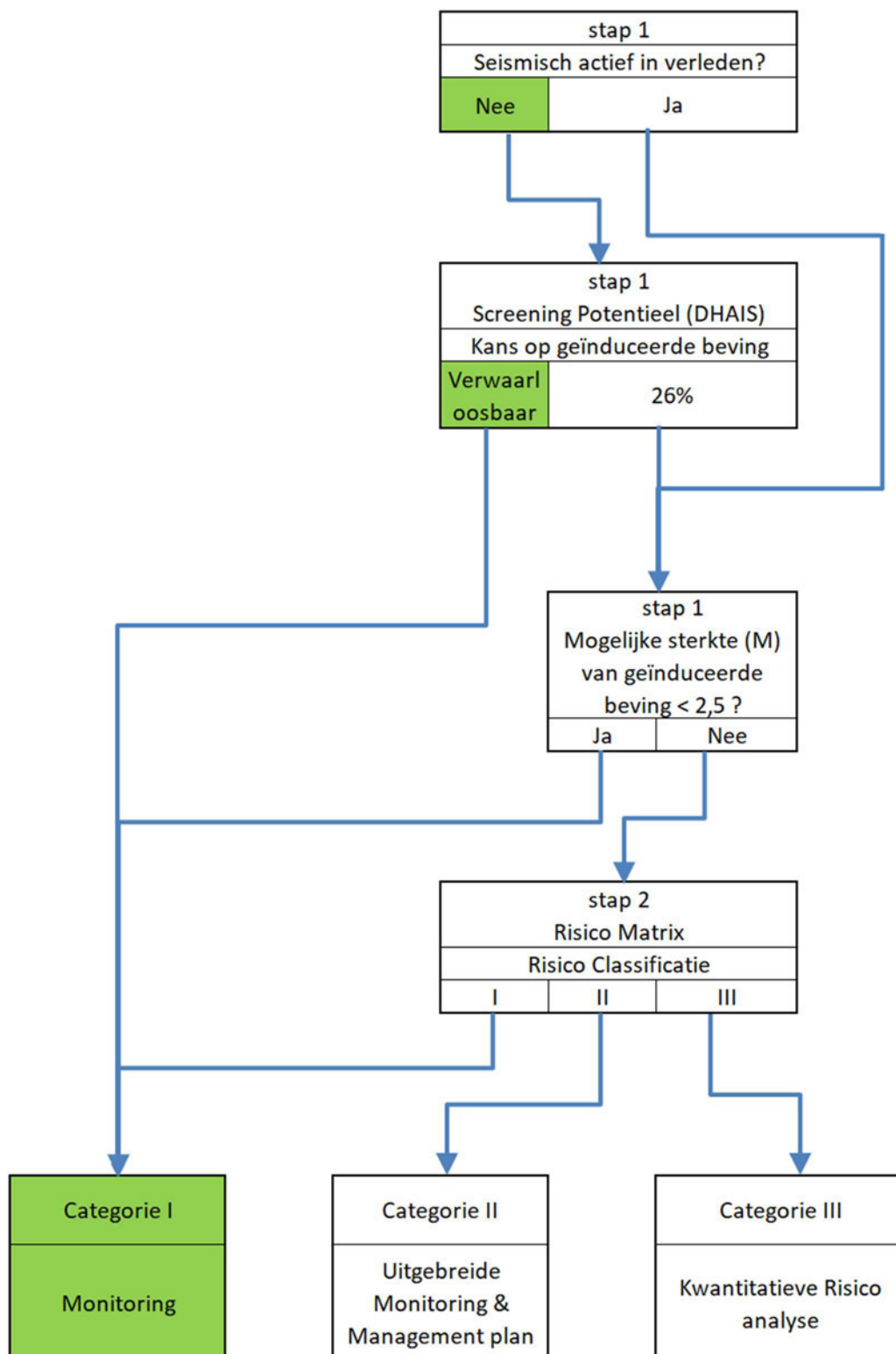
- Boven het *Middelie Rotliegend*-voorkomen hebben al bevingen plaatsgevonden en wordt de maximale beving op $\geq 2,5$ ingeschat (Figuur 12-2). Daarom wordt in 'Stap 2' de positie van Middelie Rotliegend in de risicomatrix bepaald.
- Voor *Rustenburg* en *Westbeemster Rotliegend* geldt dat de kans op een beving niet verwaarloosbaar is, en daarom wordt voor dit voorkomen ook stap 2 uitgevoerd (Figuur 12-3).
- Voor de *Zechstein* voorkomens van Middelie en *Rustenburg* geldt dat de kans op een beving verwaarloosbaar is (Figuur 12-4). Deze verwaarloosbare kans is het gevolg van de kleine depleterende dikte van de Zechstein laag (15 m).



Figuur 12-2: De verschillende stappen die doorlopen zijn voor Middelle Rotliegend om de risicocategorie te bepalen.



Figuur 12-3: De verschillende stappen die doorlopen zijn voor Rustenburg Rotliegend, Rustenburg Zechstein en Westbeemster Rotliegend om de risicocategorie te bepalen.



Figuur 12-4: De verschillende stappen die doorlopen zijn voor Middellie Zechstein om de risicocategorie te bepalen.

Stap 1: Inschatten risicopotentieel voor de Middelie-voorkomens.

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

De kans op beven van een olie- of gasvoorkomen

In de studie 'Deterministische Hazard Analyse voor Geïnduceerde Seismiciteit (DHAIS)¹⁹ is onderzocht welke eigenschappen (geologische, productietechnische en geomechanische eigenschappen) van olie- en gasvoorkomens invloed hebben op het wel of niet optreden van aardbevingen. In 2022 is deze studie geactualiseerd met de data tot en met 1 maart 2021²⁰. Deze actualisatie van de DHAIS studie heeft ook invloed op de score van de kans op beven in de SodM leidraad. TNO heeft hiervoor een advies uitgebracht²¹ welke gevolgd is in dit winningsplan.

Aan de hand van de volgende parameters van een olie- of gasvoorkomen wordt de kans op beven van dat voorkomen bepaald:

- DP/Pini: de ratio van drukval (DP) en initiële druk (Pini) in het reservoir;
- E : de verhouding tussen de Young's moduli (stijfheidsmoduli) van de afsluitende laag ('seal') en het reservoirgesteente;

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

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

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

Waarbij:

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

De combinatie van de parameterwaarden geven een kans op beven voor een bepaald voorkomen gedurende de productietijd.

¹⁹ TNO-rapport NITG 04-171-C. Van Eijs, 2004. Deterministische hazard analyse voor geïnduceerde seismiciteit.

²⁰ TNO-rapport 2021 R10977, Roholl et al. Deterministische hazard analyse voor geïnduceerde seismiciteit (DHAIS), actualisatie 2021

²¹ Advies TNO DHAIS update 2021 en invloed op de leidraad SRA ([link](#))

Reeds bevende voorkomens	
$DP/P_{ini} \geq 20\%$	$B \geq 0,84$ en $E \geq 1,07$: Kans op beven
	$B < 0,84$ en/of $E < 1,07$: Verwaarloosbare kans
$DP/P_{ini} < 20\%$	Verwaarloosbare kans

De waarden die zijn gebruikt in de bepaling van de DHAIS kans zijn gegeven in Figuur 12-1.

Tabel 12-1: Invoergegevens voor de bepaling van de DHAIS en de DHAIS-kansen.

Voorkomen	Reservoir dikte / gaskolom (m) ²²	Initiële druk (bar)	Totale drukdaling volgens productie-scenario hoog	Totale breuk-lengte (km)	Reservoir oppervlakte (km ²)	Maximale waargenomen aardbeving	Aantal aardbevingen per jaar	DHAIS E^{23}	DHAIS B	DHAIS kans
Middelie RO	140	266	173	19,7	8,6	2,7	< 5 p.j.	2,82	3,82	bevend veld
Rustenburg RO	70	241	229	9,1	1,2	geen	geen	2,82	5,83	26%
Westbeemster	108	280	257	13,3	3,9	geen	geen	2,82	4,04	26%
Middelie ZE	15	245	134	33,0	31,8	geen	geen	1,21	0,73	verwaarloosbaar
Rustenburg ZE	15	244	111	15,0	8,2	geen	geen	1,21	0,87	26%

Realistisch sterkste beving

Naast de kans op beven, wordt ook een theoretische waarde voor de 'realistisch sterkste beving' (M_{max}) bepaald. Er worden daarvoor twee methoden gebruikt om de M_{max} waarde te bepalen: op basis van breukgeometrie en op basis van energiebalans. In de Seismisch Risico Analyse leidraad worden beide methoden gebruikt.

Voor de berekeningen van de M_{max} is uitgegaan van de standaardwaarden voor de 'stress drop' en 'partitie coëfficiënt' die gegeven zijn in de leidraad (respectievelijk 5 MPa en 0,01). De veldspecifieke waarden die benodigd zijn voor de berekeningen en de uitkomsten voor de M_{max} staan hieronder vermeld in Tabel 12-2.

²² Voor de DHAIS berekening wordt zowel de hoogte van de gaskolom als de totale reservoirdikte beschouwd. Het minimum van deze twee wordt gekozen voor de berekening van de "B" waarde zoals voorgeschreven door de DHAIS methodiek.

²³ Young's moduli ratio volgens TNO rapport: Deterministische hazard analyse voor geïnduceerde Seismiciteit, NITG 04-171-C. Voor nieuwe velden wordt de ratio van een analoog veld met dezelfde reservoir seal combinatie gebruikt.

Tabel 12-2: Invoergegevens voor de bepaling van de Mmax, en de Mmax waarden volgens de twee methoden.

Voorkomen	Langste breuklengte (km) ²⁴	Poisson's ratio ²⁵	Breukhoogte (m)	Mmax energiebalans	Mmax breukslip
Middelie RO	4,8	0,2	140	3,1	3,8
Rustenburg RO	4,5	0,2	70	2,4	3,3
Westbeemster	2,0	0,2	108	2,9	3,4
Rustenburg ZE	9,4	0,2	15	2,3	2,7

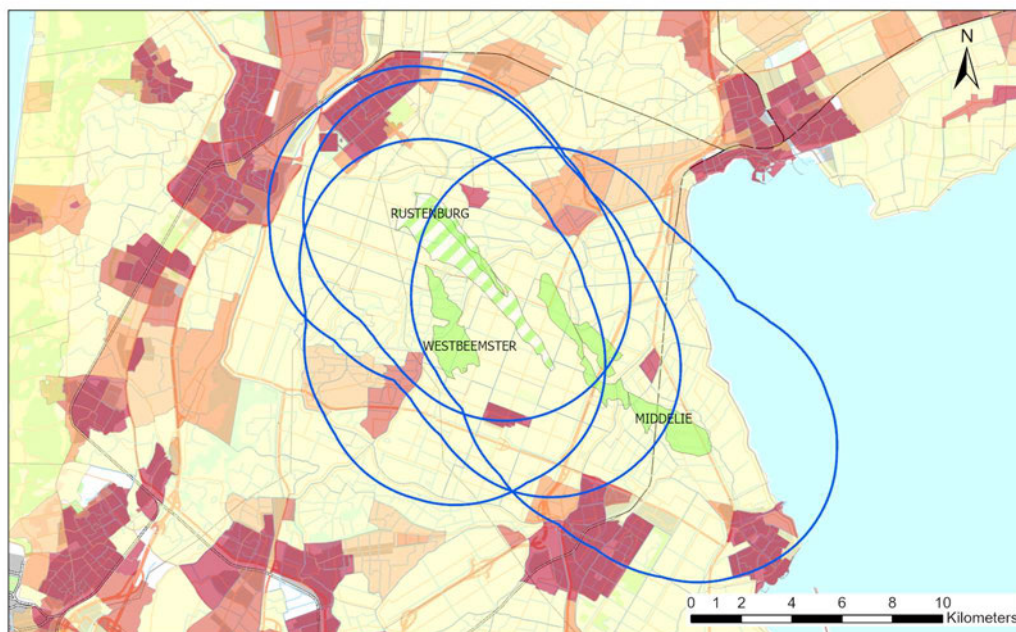
Stap 2: Risico matrix

Voor de voorkomens in Tabel 12-2 is het nodig gebleken om de risicomatrix te gebruiken ('Stap 2 van de SRA). Voor elke factor die bepaald is voor de onder- en bovengrond wordt een score gegeven waarbij de som van de scores een positie geeft in de risicomatrix. In dit deel van de bijlage worden de figuren en tabellen getoond die gebruikt zijn om tot een risicobeoordeling te komen. In deze kaarten is het Rustenburg Zechstein voorkomen groen-wit gestreept aangegeven. Het volledig groene veld erboven is het Rustenburg Rotliegend voorkomen.

- Figuur 12-5, Figuur 12-6 en Figuur 12-7 tonen de situaties voor respectievelijk 'Bevolkingsdichtheid', 'Industriële inrichtingen', 'Speciale gebouwen en vitale infrastructuur' en 'Dijken'. Voor de bepaling van de bevolkingsdichtheid is zowel de informatie over de dichtheid per gemeente als de dichtheid per buurt gebruikt. De hoogste waarde die volgt uit beide analyses is gebruikt in de SRA beoordeling. Tevens is aangenomen dat er appartementen complexen aanwezig zijn binnen een straal van 5 km.
- Figuur 12-8 toont de kaart van de grondsoorten in de ondiepe ondergrond kaart om de mate van opslinging te bepalen.
- Tabel 12-3 A en B tonen de evaluatie en scores voor de invloedfactoren. De risicomatrix is afgebeeld in Figuur 8-2.

²⁴ Langste breuklengte is aangegeven op de kaart in bijlage C met blauwe pijl

²⁵ Poisson's ratio gebaseerd op gemiddelde waarde voor gecementeerde zandsteen op basis van kernplug metingen



Legenda

Olie- en gasvelden

- Olieveld
- Gasveld
- Nat gas/gas condensaat veld
- Olie en- gasveld

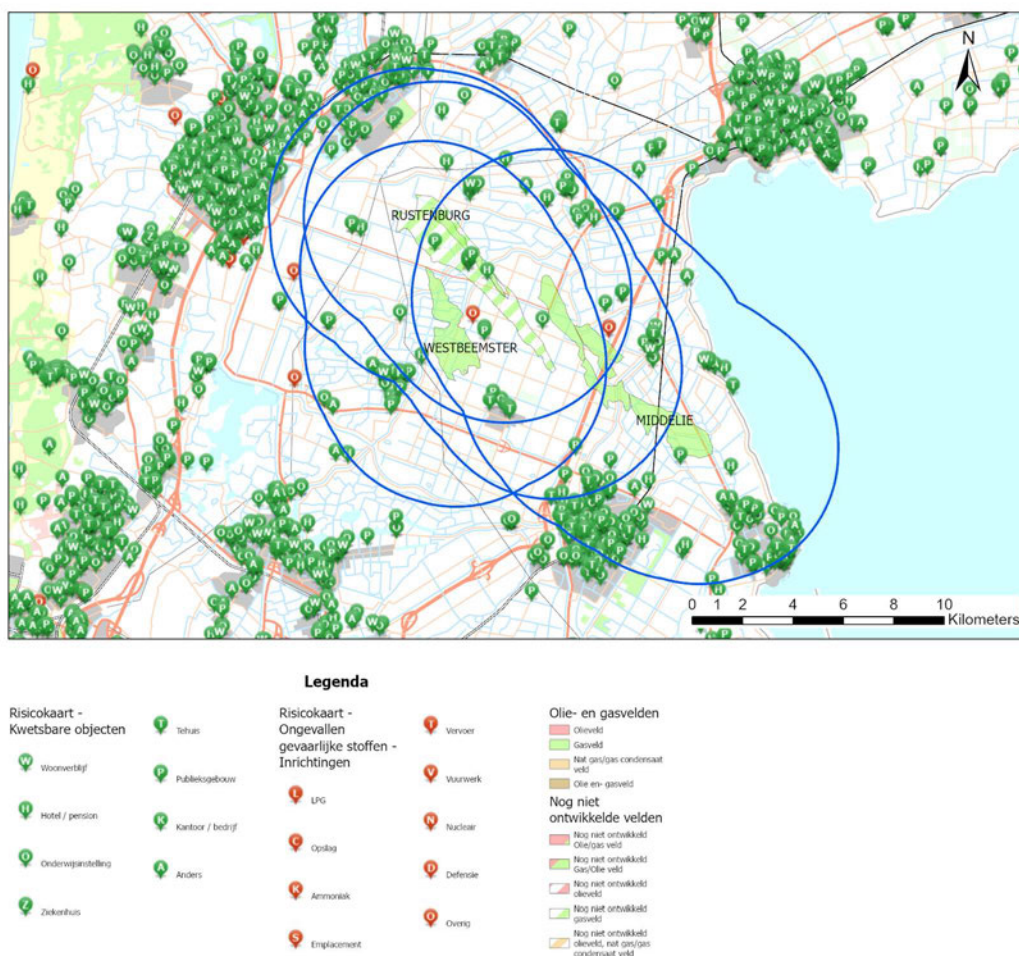
Nog niet ontwikkelde velden

- Nog niet ontwikkeld Olie/gas veld
- Nog niet ontwikkeld Gas/Olie veld
- Nog niet ontwikkeld olieveld
- Nog niet ontwikkeld gasveld
- Nog niet ontwikkeld olieveld, nat gas/gas condensaat veld

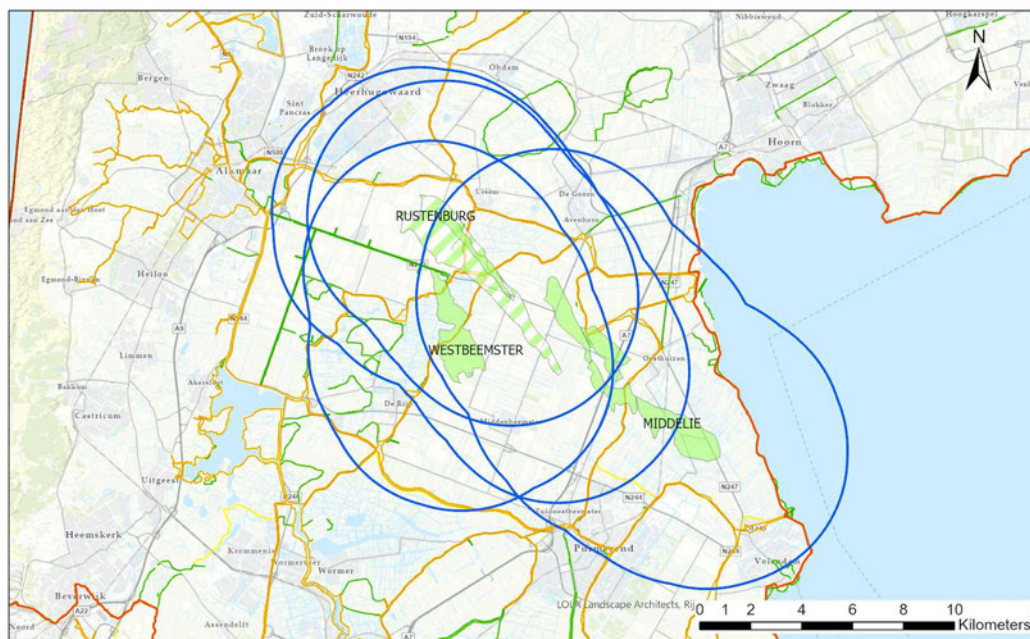
Buurtten

- #### Bevolkingsdichtheid
- ≤ 250 inwoners per km²
 - 250 - 500 inwoners per km²
 - 500- 1000 inwoners per km²
 - 1000- 2500 inwoners per km²
 - Meer dan 2500 inwoners per km²

Figuur 12-5: Overzicht van de bevolkingsdichtheid boven de Westbeemster, Rustenburg Rotliegend, Rustenburg Zechstein en Middelie Rotliegend velden. De blauwe omtrek geeft de 5 km straal rond het deze velden die relevant is voor de SRA.



Figuur 12-6: Overzicht van industriële inrichtingen (rode 'punten') kwetsbare objecten (groene 'punten') boven de Westbeemster, Rustenburg Rotliegend, Rustenburg Zechstein en Middelie Rotliegend-velden. De blauwe omtrek geeft de 5 km straal rond deze velden die relevant is voor de Seismische Risico Analyse.



Legenda

Olie- en gasvelden

- Olieveld
- Gasveld
- Nat gas/gas condensaat veld
- Olie en- gasveld

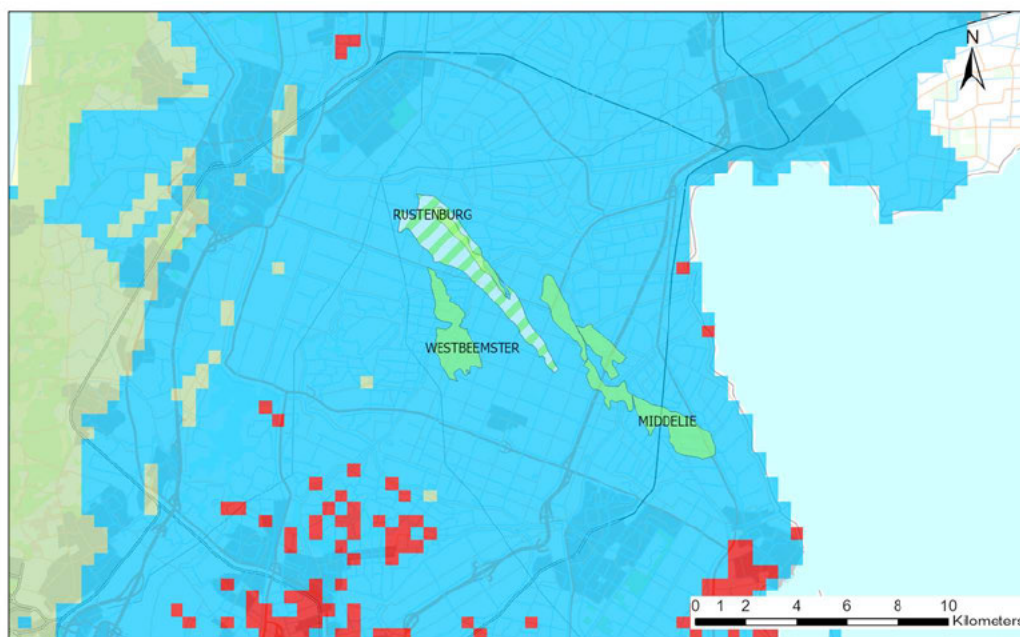
Nog niet ontwikkelde velden

- Nog niet ontwikkeld Olie/gas veld
- Nog niet ontwikkeld Gas/Olie veld
- Nog niet ontwikkeld olieveld
- Nog niet ontwikkeld gasveld
- Nog niet ontwikkeld olieveld, nat gas/gas condensaat veld

Dijkenkaart

- Primaire waterkerende dijken
- Primaire dammen en stormvloedkeringen
- Duinen
- Regionale waterkerende dijken
- Overige dijken
- Liniedijken

Figuur 12-7: Overzicht van de dijken boven de Westbeemster, Rustenburg Rotliegend, Rustenburg Zechstein en Middelie Rotliegend-velden. De blauwe omtrek geeft de 5 km straal rond deze velden die relevant is voor de Seismische Risico Analyse.



Legenda

Olie- en gasvelden	Nog niet ontwikkelde velden	site_response VALUE
■ Olieveld	■ Nog niet ontwikkeld Olie/gas veld	■ klasse 'special study soils'
■ Gasveld	■ Nog niet ontwikkeld Gas/Olie veld	■ klasse 'stijve grond'
■ Nat gas/gas condensaat veld	■ Nog niet ontwikkeld olieveld	■ klasse 'slappe grond'
■ Olie en- gasveld	■ Nog niet ontwikkeld gasveld	
	■ Nog niet ontwikkeld olieveld, nat gas/gas condensaat veld	

Figuur 12-8: Overzicht van de grondsoorten in de ondiepe ondergrond om de mate van opslinging te bepalen

Uit de analyse op basis van bovenstaande figuren volgen de scores voor de verschillende factoren. Deze zijn weergegeven in Tabel 12-3, inclusief onderbouwing en uitkomst.

Tabel 12-3: Kwantitatieve evaluaties en daaruit voortkomende scores (C) voor de invloedfactoren ondergrond (A) en bovengrond (B).

M= Middelie-RO, W= Westbeemster, R= Rustenburg-RO, RZ=Rustenburg-ZE

A

SCORE	DHAIS	Mmax	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		

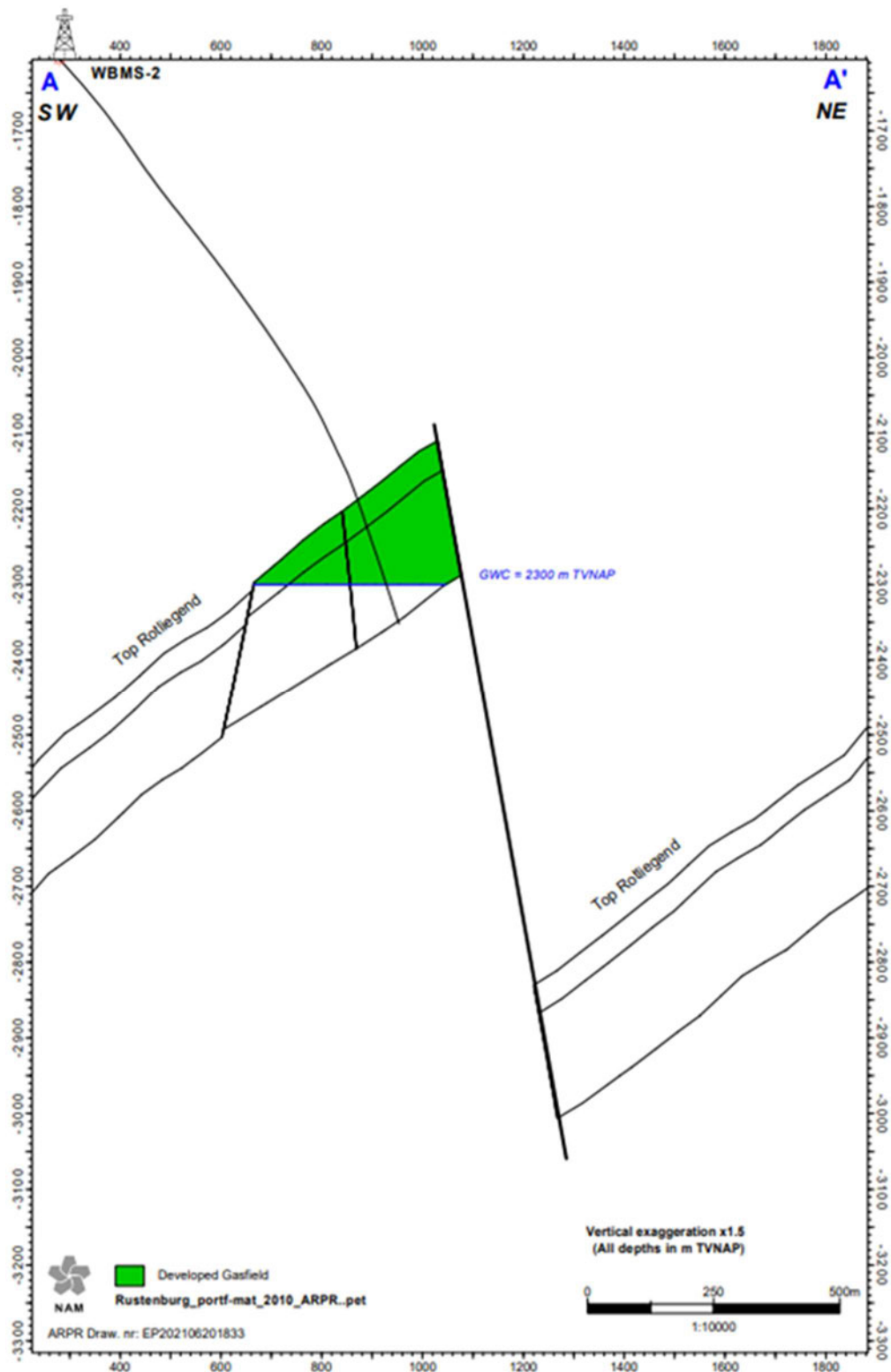
3	Bevend veld < 5 bevingen per jaar van $M \geq 1,5$ M	1 methode 4,1 – 4,5 én/of alle methodes 3,6 – 4,0		>60% slappe grond ($V_{s,30} \leq 200\text{m/s}$) en/of >30% grondsoort die extra gevoelig zijn voor amplificatie, zoals veenlagen dikker dan 3m en slappe veenlagen met een dikte van 1m-3m gelegen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

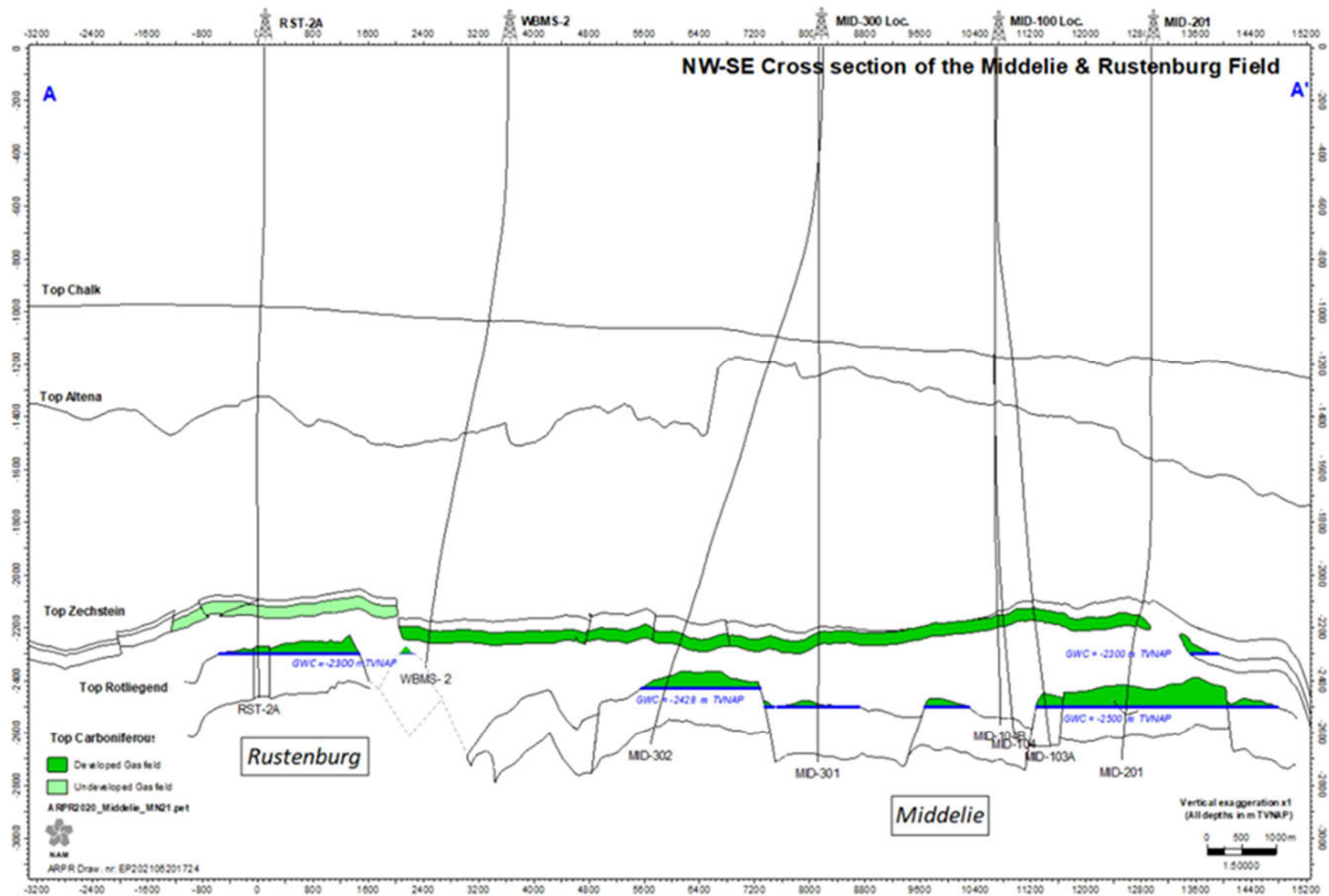
B

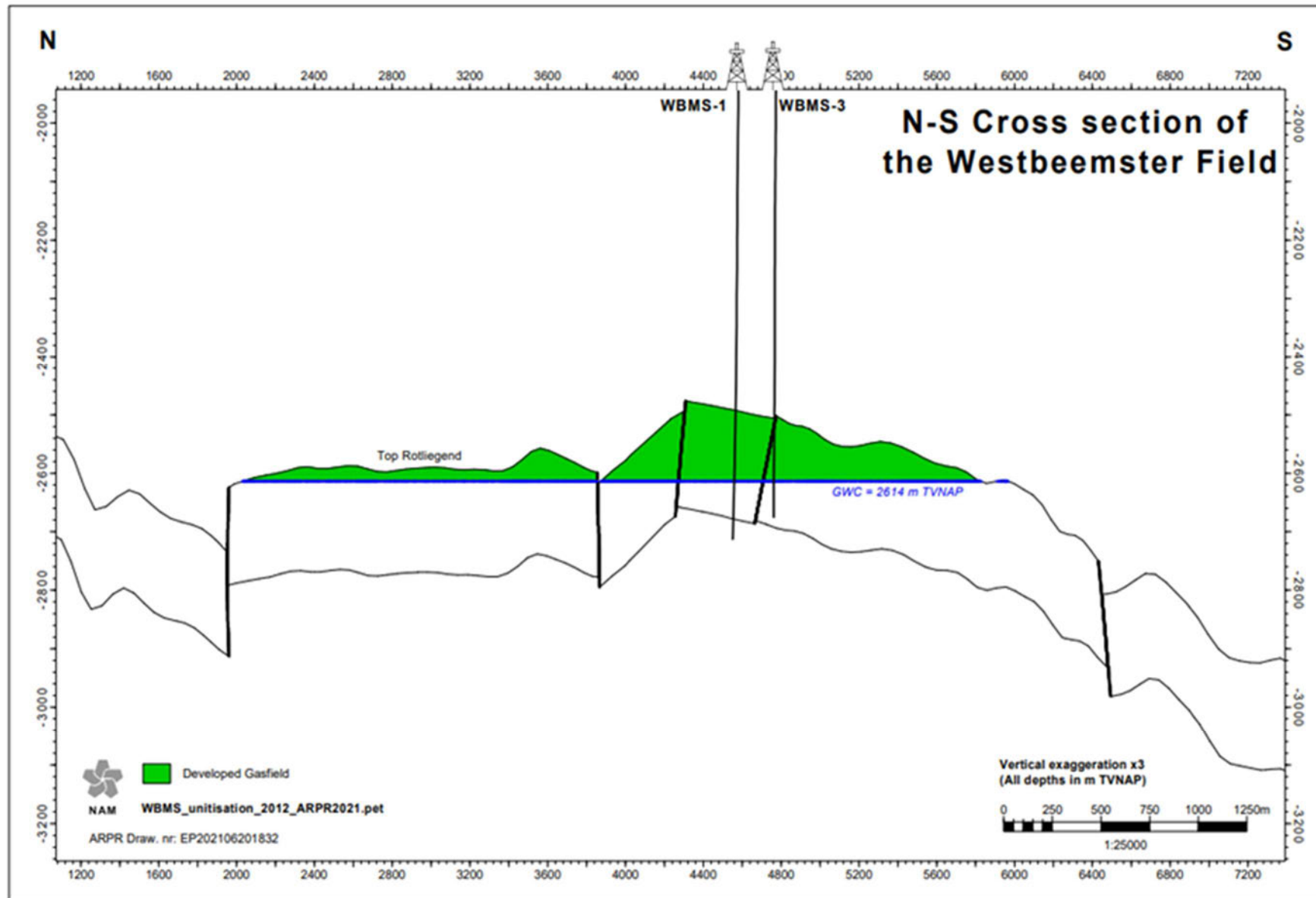
SCORE	BEVOLKINGSDICHTHEID (AANTAL INWONERS PER KM ²)	INDUSTRIËLE INRICHTINGEN	SPECIALE GEBOUWEN EN VITALE INFRASTRUCTUUR	DIJKEN
4	> 2.500	Meerdere direct boven het veld.	Meerder ziekenhuizen en/of energievoorzieningen direct boven het veld.	Primaire dijken boven het veld.
3	1.000-2.500 en/of 500- 1.000 met wijken bestaande uit flats en/of appartementencomplexen binnen 5 km rond het veld. M, R, W, RZ	1 boven het veld en/of meerdere binnen 5 km rond het veld. M, R, W, RZ	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. M, RZ	Primaire dijken binnen 5 km rond het veld en/of secundaire dijken boven het veld. M, R, W, RZ
2	500-1.000 en/of 250-500 met wijken bestaande uit flats en/of 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. R, W	Secundaire dijken binnen 5 km rond het veld.
1	250-500 en/of <250 met wijken bestaande uit flats en/of 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.

Voorkomen	Kans op beven of waargenomen bevingen	Magnitude	Ligging voorkomen	Opslingering	Genormaliseerde totaalscore ondergrond	Bevolkingsdichtheid	Industriële inrichtingen	Speciale gebouwen en vitale infrastructuur	Dijken	Genormaliseerde totaalscore bovengrond	Categorie
Middelie RO	3	2	2	3	0,71	3	3	3	3	0,75	II
Rustenburg RO	2	1	2	3	0,57	3	3	2	3	0,69	II
Westbeemster	2	1	2	3	0,57	3	3	2	3	0,69	II
Rustenburg ZE	2	0	2	3	0,5	3	3	3	3	0,75	II

13 BIJLAGE C: GEOLOGISCHE KAARTEN VOOR DE VOORKOMENS

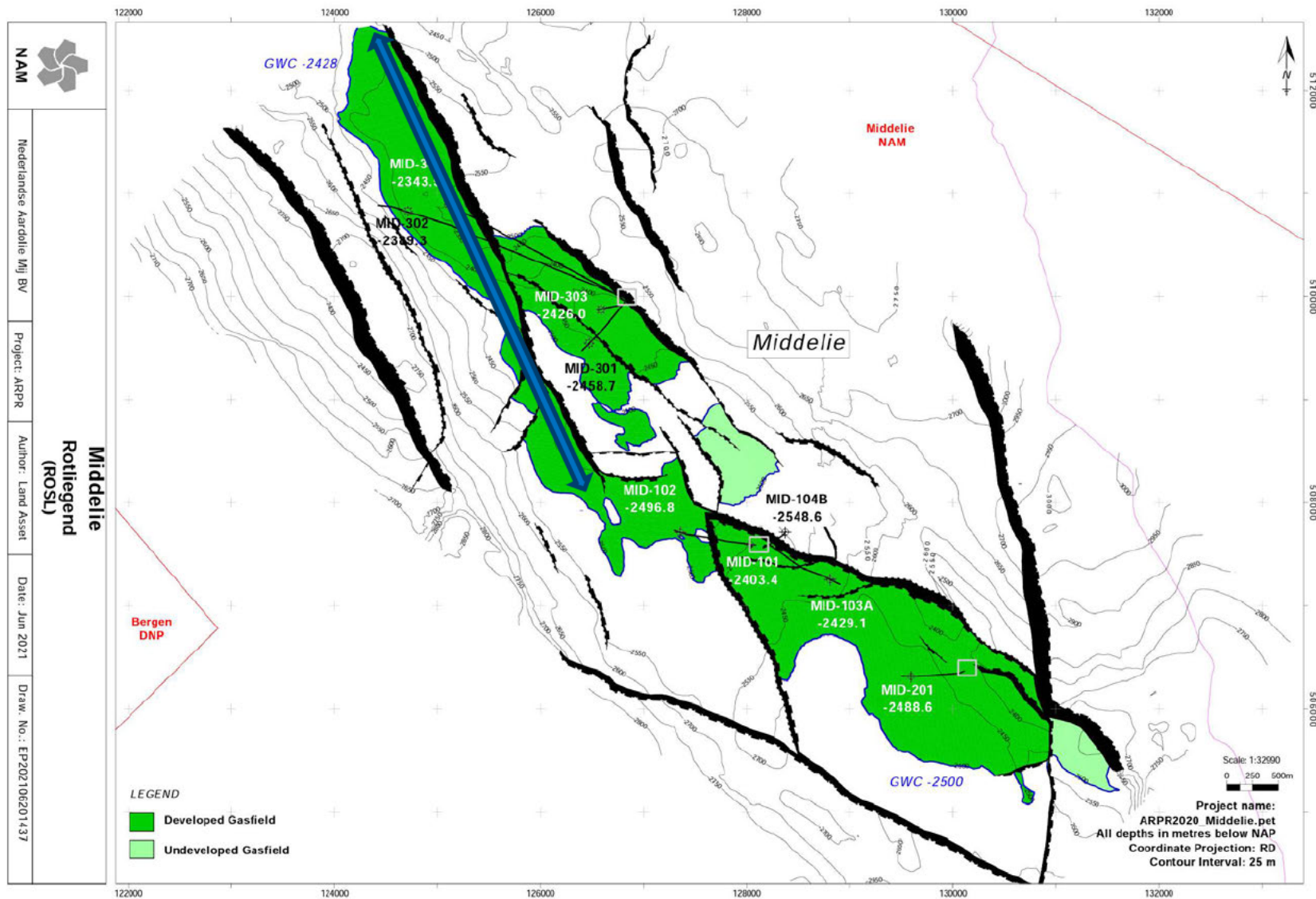




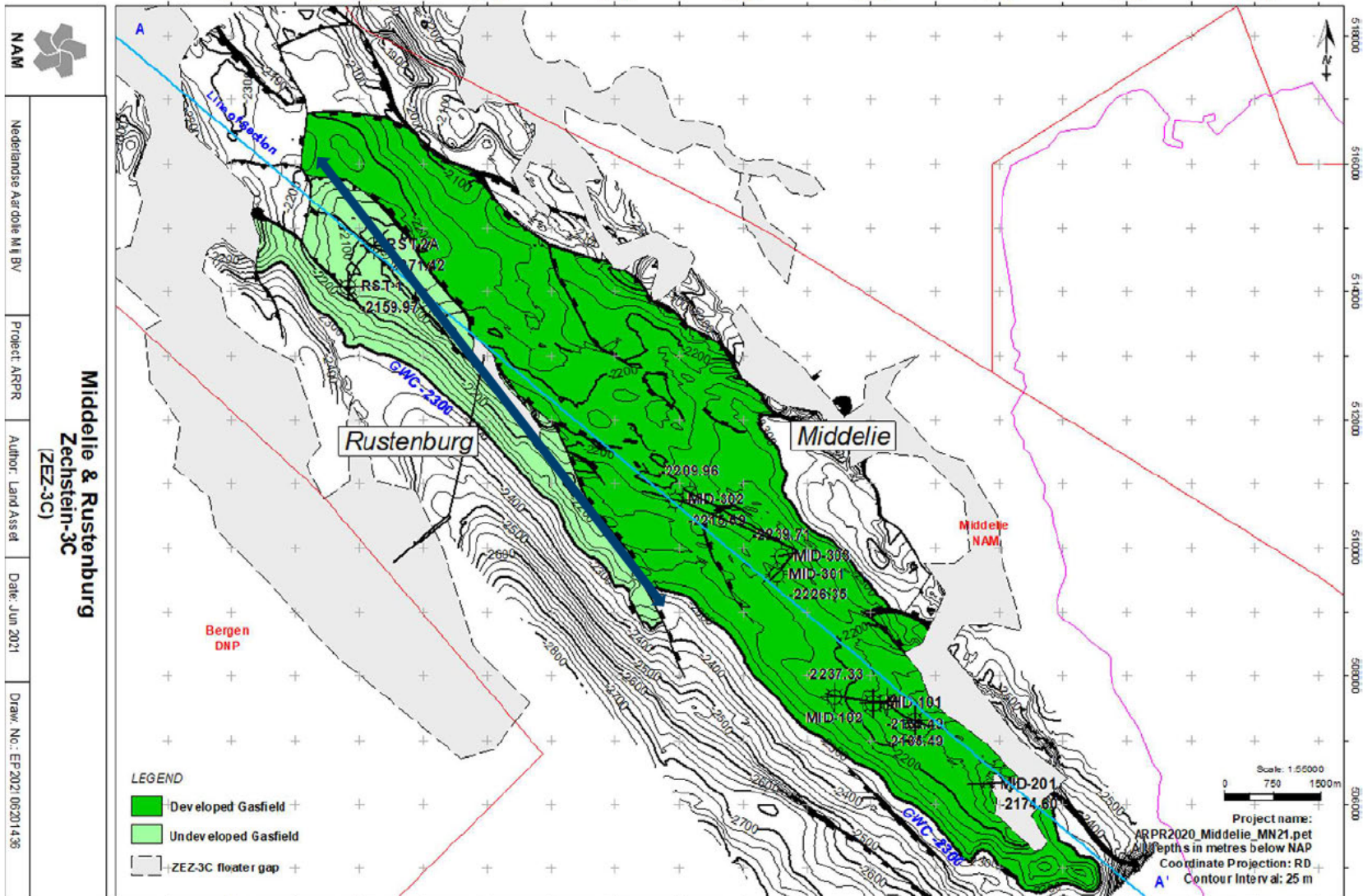


MIDDELIE

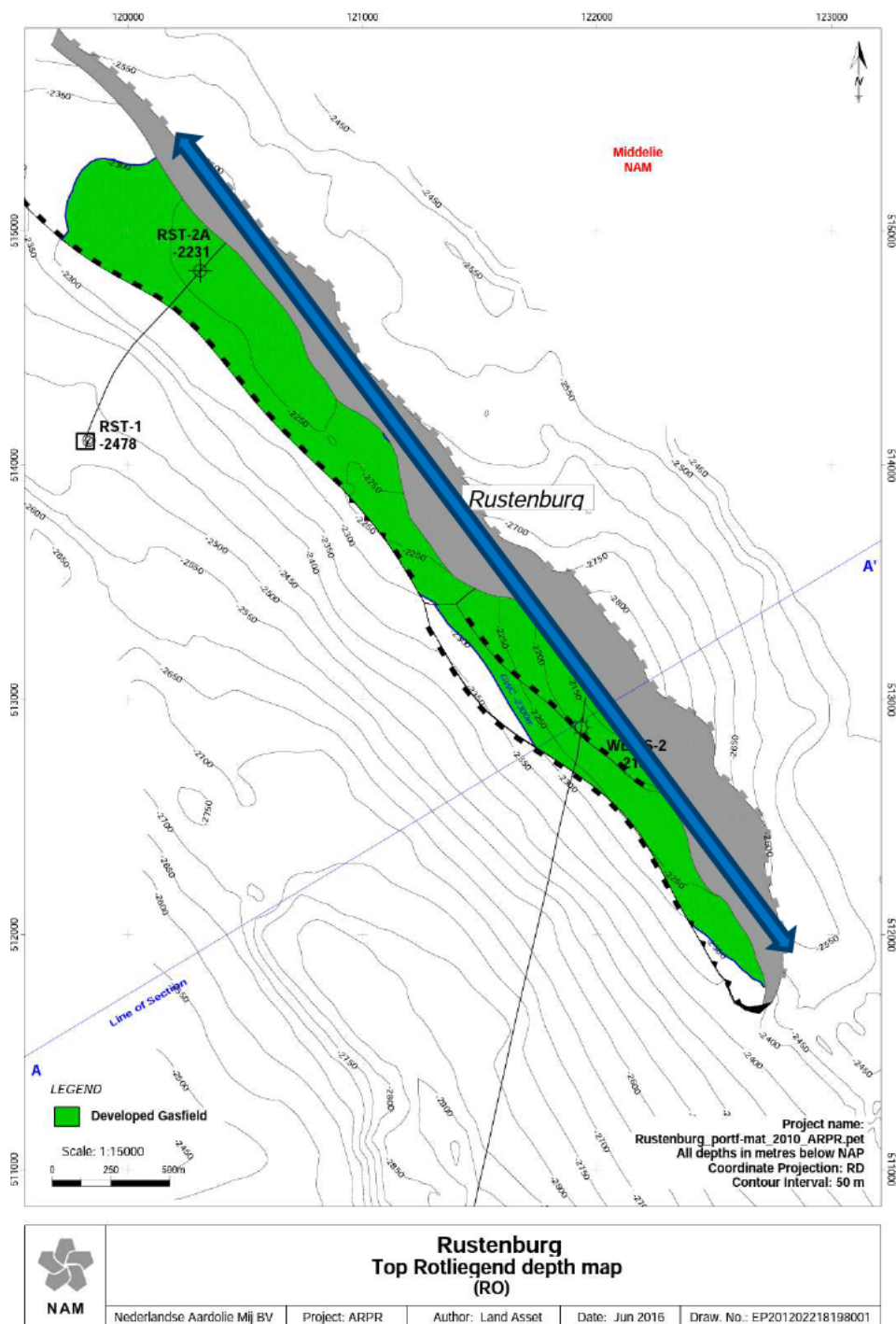
Augustus 2022



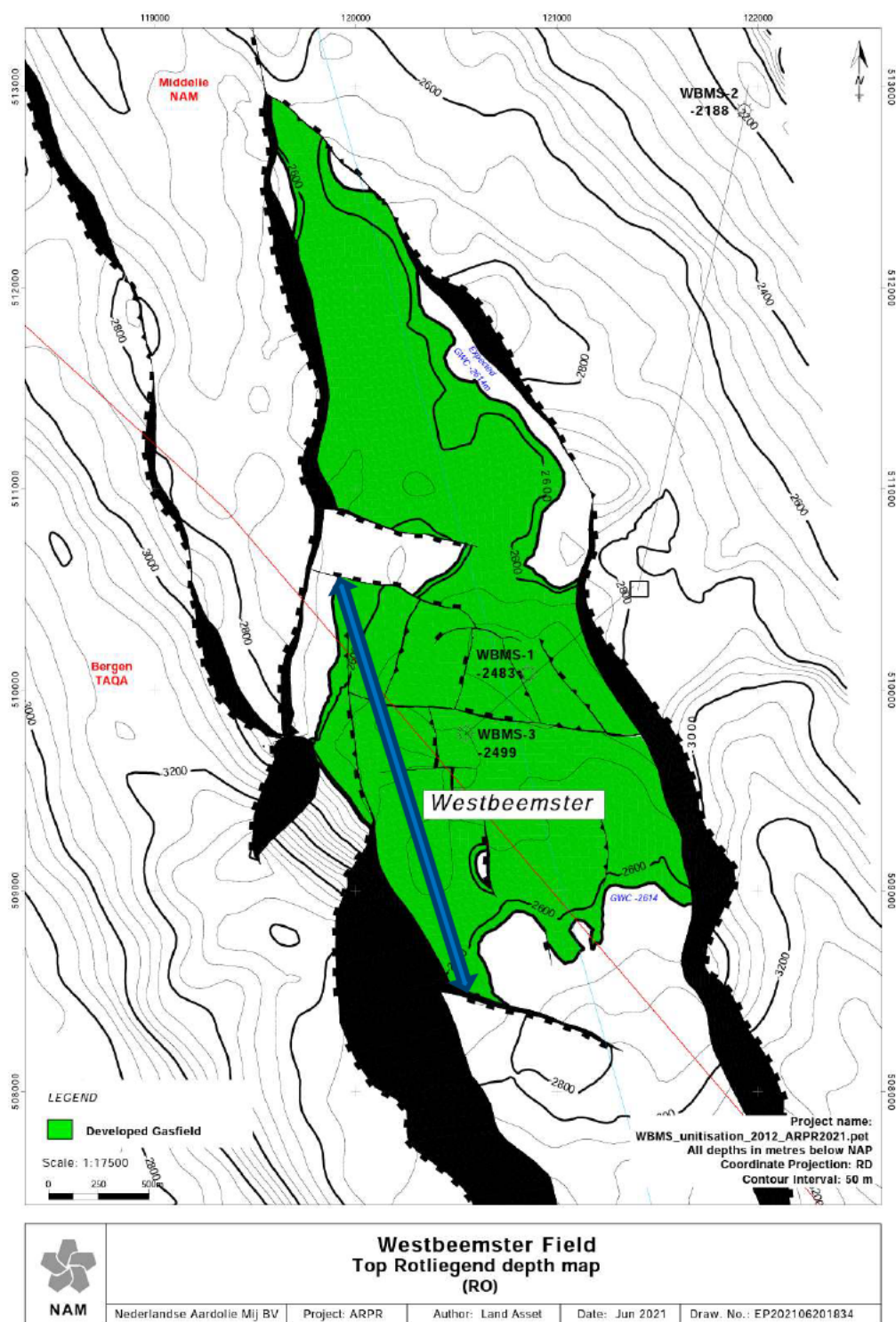
Kaart van het Middelie Rotliegend voorkomen, de blauwe pijl geeft de langste breuk aan zoals gebruikt in de Seismisch Risico Analyse



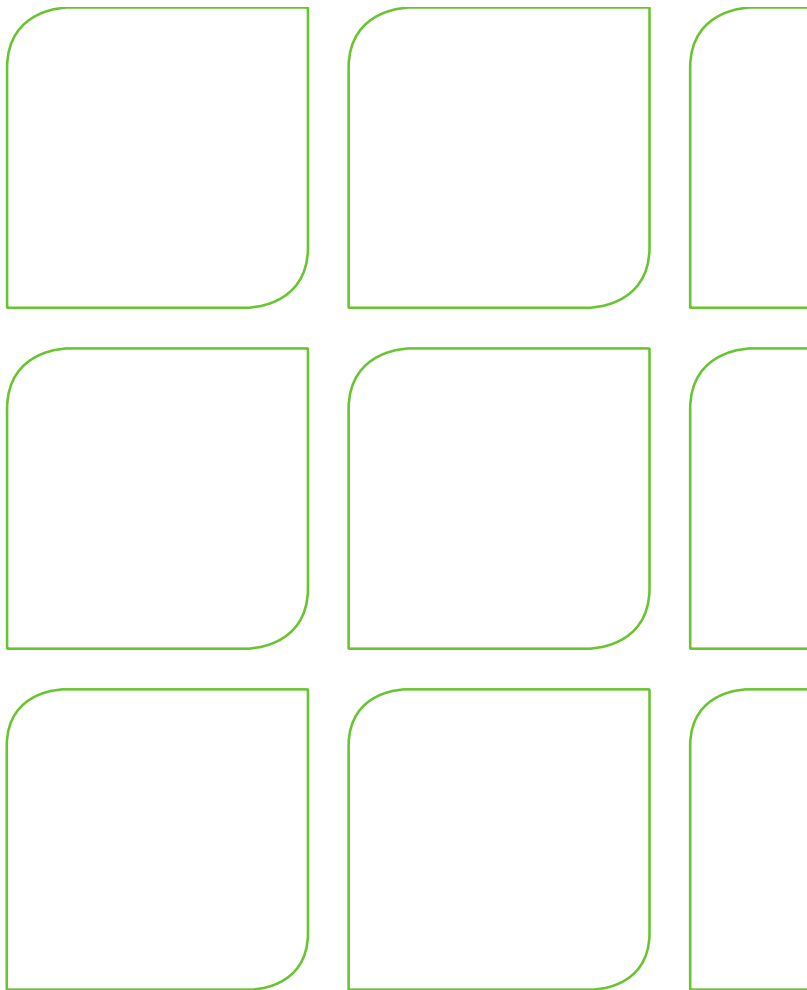
Kaart van het Middellie Zechstein en Rustenburg Zechstein voorkomen, de blauwe pijl geeft de langste breuk van Rustenburg Zechstein aan zoals gebruikt in de Seismisch Risico Analyse



Kaart van het Rustenburg Rotliegend voorkomen, de blauwe pijl geeft de langste breuk aan zoals gebruikt in de Seismisch Risico Analyse.



Kaart van het Westbeemster Rotliegend voorkomen, de blauwe pijl geeft de langste breuk aan zoals gebruikt in de Seismisch Risico Analyse.



BRON VAN ONZE ENERGIE