



TAQA Onshore B.V.

Winningsplan Bergen II actualisatie 2020

20 augustus 2020

Inhoud

Inhoud	2
Samenvatting	3
Formulier aanvraag instemming winningsplan.....	4
1 Inleiding	5
1.1 Doel van deze actualisatie van het Winningsplan.....	5
2 Ontwikkelingsvooruitzichten	6
2.1 Inleiding	6
2.2 Historische productie en productiegedrag	6
2.3 Onzekerheden.....	7
2.4 Vooruitzichten voor winningssnelheid (hoeveelheden per voorkomen/per jaar)	7
3 Bodemdaling en Bodemtrilling	9
3.1 Seismische Risico Analyse	9
3.2 Bodemdaling	10
3.3 Afhandeling van eventuele schade	11
4 Overige Omgevingsaspecten.....	11
5 Conclusie.....	13
6 Verklarende woordenlijst.....	14
7 Bijlagen.....	15

Samenvatting

Dit document betreft een actualisatie van het winningsplan 'Bergen II'. TAQA Onshore B.V. ("TAQA") heeft een bijgestelde verwachting van de productie per veld voor de jaren 2020 tot en met 2023.

TAQA hoopt tot maximaal 302 miljoen Nm³ aardgas (high case) te winnen over de periode 2020-2023 uit de Bergen, Groet en Schermer voorkomens tezamen.

Er zijn sinds de laatste actualisatie geen veranderingen in de manier waarop het gas gewonnen wordt, de geologie en de eigenschappen van de ondergrondse gasvoorkomens. Daarom bevat dit document slechts de actueel voorspelde productiehoeveelheden tot en met einde van de winning, verwacht in 2023, met de bijbehorende mate van bodemdaling en het risico op bodemtrillingen. De uitkomsten van de nieuwe berekeningen voor het risico op bodemtrilling ten opzichten van de studie uit 2016 zijn niet significant veranderd, daarom kunnen de conclusies uit de 2016 studie ongewijzigd worden overgenomen. Voor alle drie de voorkomens is er geen verandering in de risicocategorie. De voorkomens Bergen en Groet vallen in risicocategorie I en het voorkomen Schermer valt in risicocategorie II.

Uit de studie van 2017 volgt dat de verwachte bodemdaling na 2016 tot eind productie van de voorkomens boven het voorkomen Groet het grootst zal zijn en ca. 2 cm bedraagt. Voor het voorkomen Bergen zal de bodemdaling in deze periode naar verwachting maximaal 2 cm bedragen en voor het voorkomen Schermer wordt geen bodemdaling meer verwacht. In de bodembewegingsanalyse is aangegeven dat de totale onzekerheid van de bodemdalingsprognose 15 tot 25% is. Aangezien geen nieuwe gemeten data beschikbaar is en de onderliggende aannames voor de uiteindelijke drukval slechts minimaal verschillen met de studie uit 2017, valt de bodembeweging nog binnen de onzekerheid van de in 2017 uitgevoerde analyse.

Effecten op de omgeving, milieu, natuur, infrastructuur en risico's voor omwonenden veranderen ten opzichte van de eerdere actualisatie niet. De effecten blijven als eerder beschreven: verwaarloosbaar, afwezig of uitgesloten.

Formulier aanvraag instemming winningsplan**Artikel 34 lid 1 Mijnbouwwet (Mw) en artikel 24 Mijnbouwbesluit (Mb)****Elektronisch in te dienen bij:****De Minister van Economische Zaken & Klimaat****Directoraat-Generaal Klimaat & Energie****Directie Warmte en Ondergrond - Mijnbouwvergunningen****@minezk.nl**

Artikel 1)	Onderwerp	Beschrijving
Mw 34 lid 1	Verzoek om instemming voor een actualisatie van het winningsplan Bergen II	☐ 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 actualisatie van de seismische risico analyse, productie- en bodemdalings-voorspellingen.
	A) Algemene gegevens	
	A1.1) Naam indiener	TAQA Onshore B.V.
	A1.2) Adres	Kruseman van Eltenweg 1 1800 NV Alkmaar The Netherlands
	A1.3) Contactpersoon	
	A1.4) E-mail	
	A1.5) Telefoon	
Mw 34 lid 2 en Mw 22	A1.6) Indiener	☐ is houder van de vergunning ☒ is uitvoerder cf artikel 22 Mw
	A2) Winningsvergunninggebied(en)	Bergen II (KB 14 d.d. 1 mei 1969. Laatst gewijzigd bij besluit van 9 januari 2019 DGKE-WO / 19003033)
Mw 34 lid 1 Mb 24 lid 1a	A2.1) Voorkomen(s) koolwaterstoffen	Bergen Rotliegend Groet Rotliegend Schermer Platten
Mb 24 lid 1a	A2.2) Soort koolwaterstof die wordt gewonnen	☐ olie ☒ hoog calorisch gas ☐ Groningen kwaliteit gas ☐ laag calorisch gas ☐ zwavelhoudend gas ☒ aardgascondensaat
Mr 1.2.1 lid 3	A3) Bestaande of nieuwe winning	☒ winningsplan voor reeds bestaande winning (inclusief voorziene uitbreiding) ☐ winningsplan voor nieuwe winning
	A4) Samenloop vergunningen Wet algemene omgevingsrecht bepalingen	☒ nee, productie vindt plaats op bestaande mijnbouwlocatie ☐ ja: te weten:

Ondertekening:  Naam:  Functie: Technical Manager	Datum: __ Augustus 2020 Plaats: Alkmaar	
---	--	--

1 Inleiding

1.1 Doel van deze actualisatie van het Winningsplan

Deze aanvraag is een actualisatie van het vigerende Winningsplan Bergen II d.d. 22 Februari 2016 (gewijzigd bij instemmingsbesluit d.d. 9 januari 2019) t.a.v. onderdeel B5, C en D1. TAQA heeft een nieuwe inschatting gemaakt van de jaarlijks te produceren volumes voor een aantal voorkomens op basis van de meest recente productie gegevens.

De voortzetting van de winning vereist tevens een actualisatie van bodemdalingsvoorspellingen en een nieuwe seismische risico analyse. Zoals hieronder zal blijken zijn er t.a.v. die onderwerpen geen significante wijzigingen te verwachten t.o.v. de actualisatie uit 2016. De niet in deze actualisatie genoemde elementen van het winningsplan blijven ongewijzigd.

Datum	Omschrijving
Mei 1969	Eerste Winningsvergunning Bergen (destijds nog Concessie geheten)
23-Nov-2006	Splitsing Winningsvergunning Bergen in Bergen II, Alkmaar en Bergermeer
9-Jan-2019	Actualisatie Winningsplan Bergen II (aanvraag 22-Feb-2016, aangevuld met nieuwe informatie op 25-Sep-2017)
[xx]-2020	Dit verzoek tot actualisatie

Tabel 1-1 Geschiedenis Winningsplan Bergen II

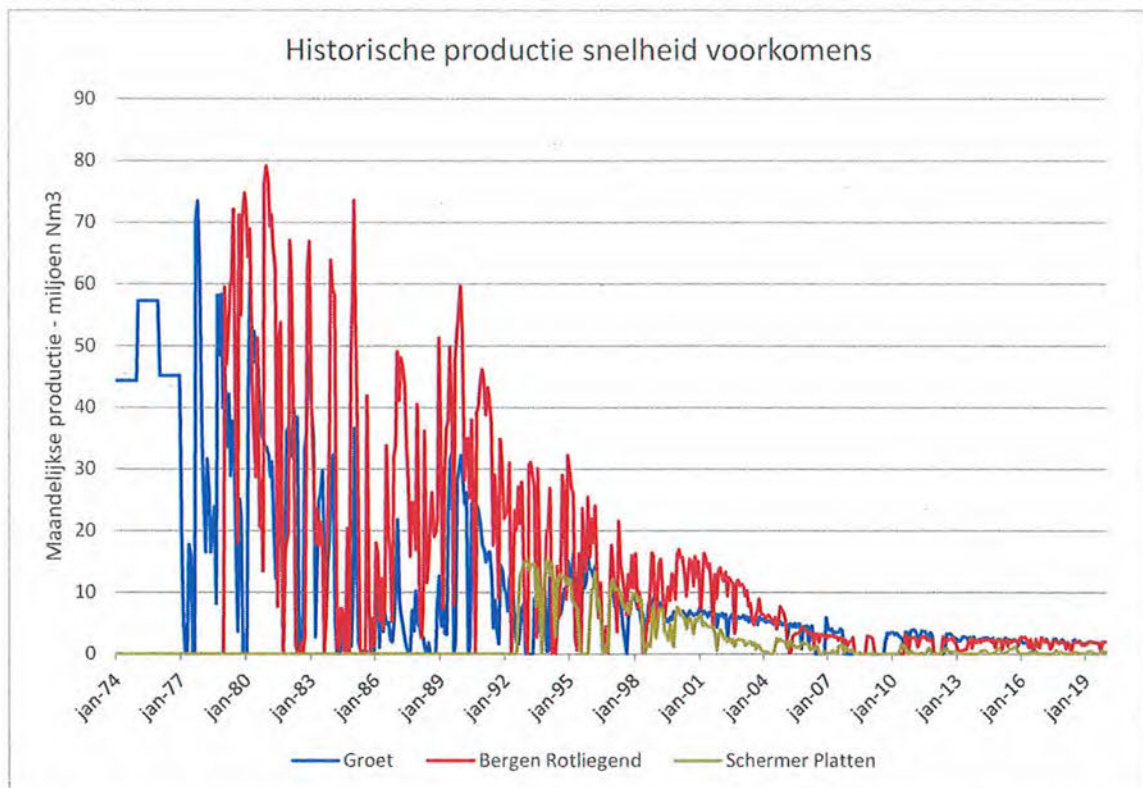
2 Ontwikkelingsvooruitzichten

2.1 Inleiding

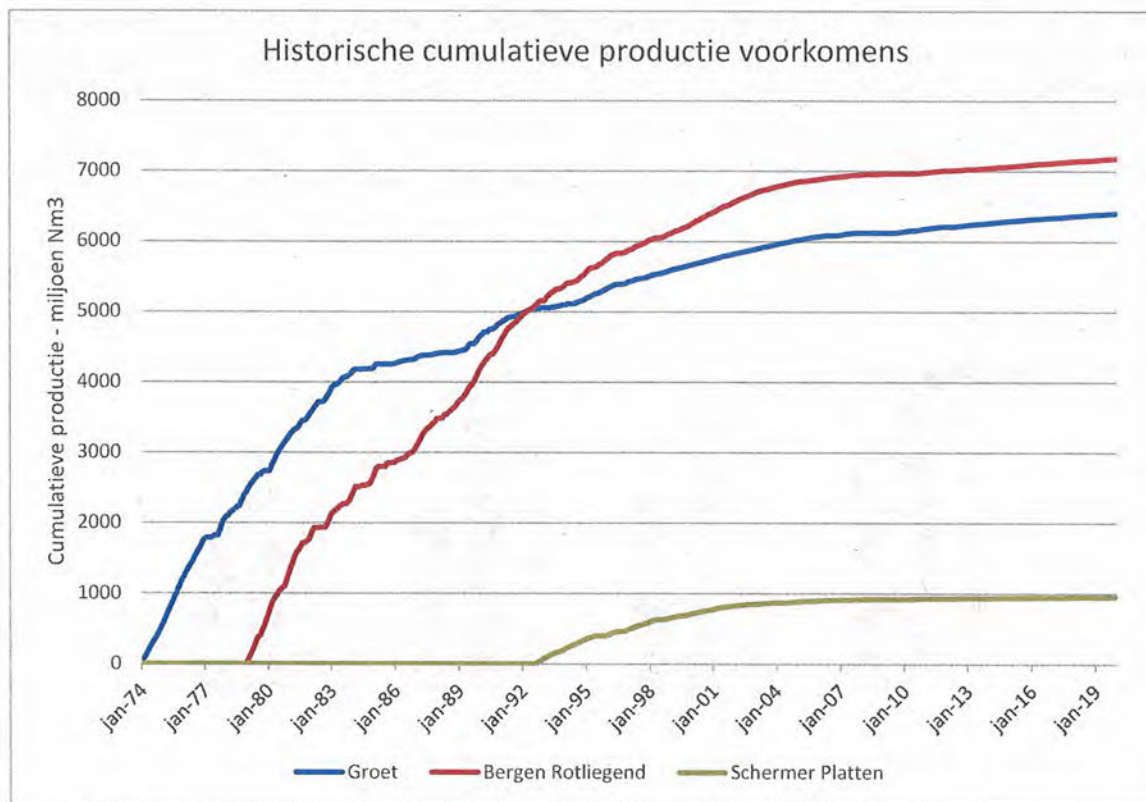
De voorkomens in de Bergen II Winningsvergunning zijn reeds in verregaande mate leeg geproduceerd. Daarom is de productiestrategie gericht op het op een veilige en verantwoorde wijze optimaliseren van winning en beheersing van kosten. De centrale Bergen Drying Facility gasbehandelingsinstallatie wordt als een geïntegreerd productiesysteem beschouwd voor de verschillende voorkomens in het gebied. Productie uit een put eindigt als een put is uitgewaterd. Het moment waarop een put ophoudt te produceren als gevolg van uitwateren is moeilijk exact modelmatig te bepalen. In eerdere winningsstadia vond productie plaats op basis van de natuurlijke stroming van gas. Door de afnemende reservoirdruk wordt momenteel compressie gebruikt om aan de vereiste afleverdruk van het transportnetwerk te voldoen.

2.2 Historische productie en productiegedrag

- Gasproductie uit het Groet voorkomen vindt plaats sinds 1974. Tot 1 januari 2020 is 6396 miljoen Nm³ gas geproduceerd. In het beginstadium lag de productiesnelheid rond de 60 miljoen Nm³ per maand, inmiddels is de productie door drukafname in het voorkomen afgenomen tot 2 miljoen Nm³ per maand.
- Gasproductie uit het Bergen voorkomen vindt plaats sinds 1979. Tot 1 januari 2020 is 7175 miljoen Nm³ gas geproduceerd. In het beginstadium lag de productiesnelheid rond de 70 miljoen Nm³ per maand, inmiddels is de productie door drukafname in het voorkomen afgenomen tot 2 miljoen Nm³ per maand.
- Gasproductie uit het Schermer voorkomen vindt plaats sinds 1992. Tot 1 januari 2020 is 952 miljoen Nm³ gas geproduceerd. In het beginstadium lag de productiesnelheid rond de 15 miljoen Nm³ per maand, inmiddels is de productie door drukafname in het voorkomen en uitwatering afgenomen tot 0,5 miljoen Nm³ per maand.



Figuur 2-1: Productiesnelheid historie gasvoorkomens.



Figuur 2-2: Cumulatieve gasproductie historie gasvoorkomens.

Voorkomen	GIIP (Miljard Nm ³)	Initiële reservoir druk (Bara)	Cumulatieve productie 1 jan 2020 (Miljoen Nm ³)	Winnings- factor 1 jan 2020 (procent)	Additionele productie 2020-2023 high case (Miljoen Nm ³)	Winnings- factor 1 jan 2024 (procent)
Groet Rotliegend	7.00	229.4	6396	91	128	92
Bergen Rotliegend	7.43	218.1	7175	97	101	99
Schermer Platten	1.22	220.6	952	78	74	82

Tabel 2-1: Omvang historische en additionele winning

2.3 Onzekerheden

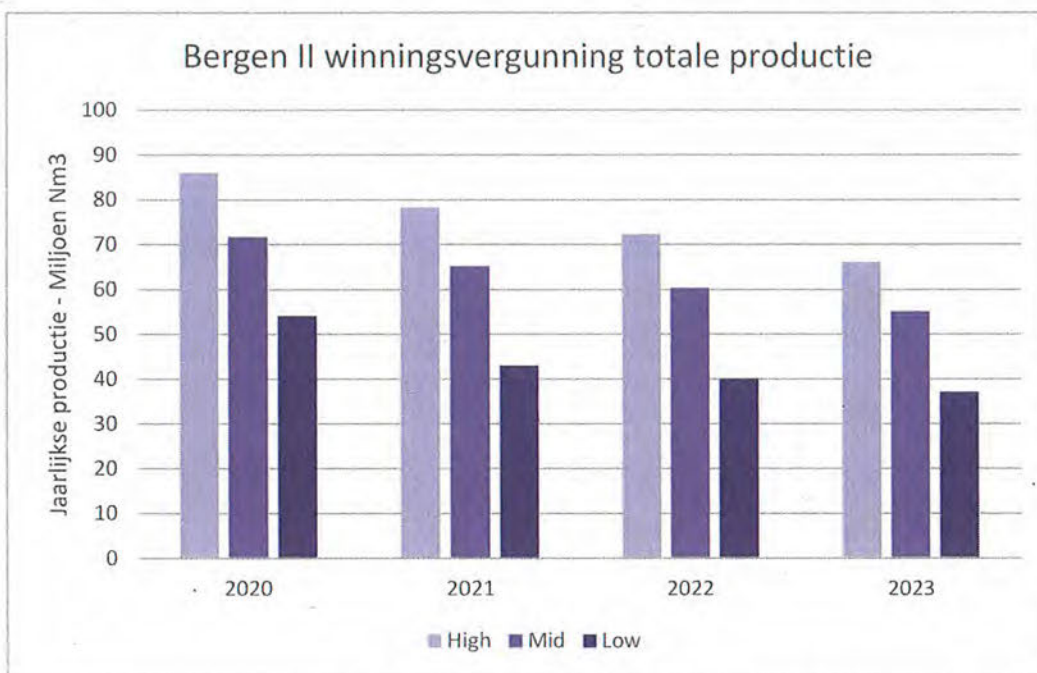
Ondanks het feit dat er nu bijna vijftig jaar gas geproduceerd is uit het Bergen en Groet voorkomen zijn er nog steeds onzekere factoren die snelheid en het winningspercentage beïnvloeden:

1. Drukverloop in het veld door bijdragen van een aquifer of uit laag permeabele intervallen;
2. De mate waarin waterproductie de gasproductie zal hinderen of uiteindelijk stoppen;
3. Fasering van projecten en economische omstandigheden.

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

Het productiegedrag van de voorkomens in de periode 2016 tot en met 2019 is beter geweest dan voorzien ten tijde van de actualisatie in 2016. Het drukverloop is langzamer en de waterproductie is lager dan voorzien. Daarom is wederom een actualisatie gemaakt van de te verwachten productieprofielen van het Bergen, Groet en Schermer voorkomen. Deze zijn hieronder weergegeven. Er zijn drie productieprofielen gegeven (Laag, Midden, Hoog) om de toekomstige onzekerheid in tijd en

volume aan te geven. De werkelijk gerealiseerde productie zal niet precies overeenkomen met (één van) de hieronder geschetste profielen, deze zijn dus indicatief. Opgemerkt dient te worden dat de gegeven getallen jaargemiddelden zijn. Op dagelijkse basis kunnen dus andere waarden voorkomen.



Figuur 2-3: Productievoorstellen voor de voorkomens gezamenlijk per jaar in miljoen Nm³.

		2020	2021	2022	2023	Totaal
Bergen	Low	21	13	12	12	58
	Mid	22	22	20	20	84
	High	27	26	24	24	101
Groet	Low	22	22	21	20	85
	Mid	28	28	26	25	106
	High	33	33	32	30	128
Schermer	Low	11	8	7	5	31
	Mid	22	16	14	10	62
	High	26	19	17	12	74
Totaal	Low	54	43	40	37	174
	Mid	72	65	60	55	252
	High	86	78	72	66	302

Tabel 2-3 Voorspelde productiegetallen per voorkomen per jaar in miljoen Nm³

3 Bodemdaling en Bodemtrilling

TAQA heeft onderzocht in hoeverre deze actualisatie van het winningsplan invloed heeft op de eerdere conclusies ten aanzien van bodemdaling en bodemtrilling. In de huidige aannames met betrekking tot bodemdaling en bodemtrilling voor het produceren van de voorkomens verschilt alleen de totale drukval (ΔP) met de aannames in de actualisatie uit 2016. Na analyse van de drukval die nu wordt verwacht ten opzichte van initiële condities aan het begin van de winning blijven de conclusies echter hetzelfde als ten tijde van de toetsing door TNO voor SodM, voor zowel bodembeweging als seismisch risico (zie advies SodM actualisatie winningsplan Bergen II, 2016, kenmerk 17157737). Hieronder volgt een toelichting.

3.1 Seismische Risico Analyse

In de SRA wordt bij de classificering van de invloedfactoren naar de ondergrond en bovengrond gekeken. De gebruikte methode is ontwikkeld in het Technisch Platform Aardbevingen waarin zowel de mijnbouwondernemingen als kennisinstellingen zijn vertegenwoordigd. De methode is ontwikkeld op basis van internationale inzichten en literatuur, en bedoeld om het seismisch risico van producerende gasvoorkomens inzichtelijk te maken. De methode is opgenomen in de tijdelijke leidraad van Staatstoezicht op de Mijnen.¹

Wat betreft de ondergrond is alleen de verwachte uiteindelijke drukval (marginaal) veranderd ten opzichte van de vorige actualisatie van dit winningsplan. De effecten hiervan zijn opnieuw berekend en resulteren in dezelfde resultaten als eerder door TAQA gedeeld (Bijlage C3 van de actualisatie Winningsplan Bergen II, 2016). Voor de bepaling van de realistisch sterkste beving (M_0) worden op basis van de methode twee berekeningswijzen gehanteerd. De eerste heeft betrekking op de breukgeometrie, waarin drukval geen rol speelt. Bij de tweede berekeningswijze (de energiebalans) is de drukval wel van belang.

Voorkomen	ΔP (MPa) SRA 2016 ²	ΔP (MPa) 2020 actualisatie
Schermer	16.2	17.2
Bergen	21.3	21.1
Groet	20.3	21.7

Tabel 3-1: Uiteindelijke drukval per voorkomen gebruikt in 2016 SRA en in de 2020 actualisatie

Voorkomen	Classificering M (2020) (gebaseerd op methode 1 & 2)	Classificering M (2016) (gebaseerd op methode 1 & 2)
Schermer	0	0
Bergen	2	2
Groet	2	2

Tabel 3-2: Bepaling realistisch sterkste beving per voorkomen in classificering van M volgens de tijdelijke leidraad.

Wat betreft de bovengrond is er niets veranderd ten opzichte van eerdere de conclusies van TNO (ten tijde van de vorige actualisatie). De bebouwing van de bovengrond en de bevolkingsdichtheid rondom de Bergen II Winningsvergunning zijn niet (substantieel) gewijzigd. Hieronder is een overzicht gegeven van de meest recente bevolkingsdichtheid in de gemeenten Alkmaar (voor het Schermer voorkomen) en in Bergen (voor de Bergen en Groet voorkomens).

¹ SodM, "METHODIEK VOOR RISICOANALYSE OMTRENT GEÏNDUCEERDE BEVINGEN DOOR GASWINNING TIJDELIJKE LEIDRAAD VOOR ADRESSERING MBB. 24.1.P, VERSIE 1.2," 2016.

² De SRA 2016 is onderdeel van de actualisatie van het winningsplan van 2016, Bijlage C3.

Regio's T	Perioden T	Bevolking			Bouwen en wonen			Lokalisering		
		Bevolkingsamenstelling op 1 januari		Bevolkingsdichtheid	Woningvoorraad		Landbouw	Lokaliseringen van gemeenten		
		Totale bevolking			Woningen naar eigendom	Grassdieren		Landsdelen	code	Naam Gemeenten
		aantal		aantal inwoners per km²	Woningen naar eigendom	Rundvee	Schapen			
Alkmaar	2016		107 615	974	57,7	11 210	5 916	LD03	West-Nederland	
	2017		108 373	981	57,4	10 551	6 498	LD03	West-Nederland	
	2018		108 470	982	58,0	10 209	7 628	LD03	West-Nederland	
	2019		108 558	983	58,8	9 704	7 764	LD03	West-Nederland	
	2020		109 444					LD03	West-Nederland	
Bergen (NH)	2016		29 943	308	65,3	4 137	3 376	LD03	West-Nederland	
	2017		29 844	307	65,4	3 866	3 654	LD03	West-Nederland	
	2018		29 941	303	67,0	3 438	3 748	LD03	West-Nederland	
	2019		29 974	303	67,6	3 082	3 828	LD03	West-Nederland	
	2020		29 844					LD03	West-Nederland	

Figuur 3-1: Bevolkingsdichtheid in de gemeenten Alkmaar en Bergen (website cbs; opendata.cbs.nl)

De conclusie is gelijk aan die in het vorige besluit voor Bergen II: de voorkomens Bergen en Groet vallen in risico categorie I en het Schermer voorkomen in risico categorie II. Categorie I betekent dat de kans op het genereren van geïnduceerde bevingen sterker dan $M=2.5$ verwaarloosbaar is. Categorie II betekent dat deze kans middelmatig is, daarbij moet overigens wel de kanttekening geplaatst worden dat Schermer net in categorie II valt.

In de SRA wordt een bufferzone van 5 km aangehouden vanaf de randen van de gasvelden. Buiten de bufferzone worden geïnduceerde bevingen onwaarschijnlijk geacht. De reactor in Petten ligt op een afstand van meer dan 5 km van het gasveld Groet. Op die afstand kunnen geen significante groundbewegingen worden veroorzaakt door de gaswinning uit de Bergen II Winningsvergunning. Daarnaast voldoet de reactor in Petten volgens de in 2012 uitgevoerde stresstest aan de ontwerp eis voor aardbevingen, hetgeen betekent dat deze aantoonbaar bestand is tegen de sterkst aannemelijke natuurlijke en geïnduceerde beving.

3.2 Bodemdaling

De door TAQA uitgevoerde bodemdalingsstudie uit 2017³ is gekalibreerd op de meest recente beschikbare data (i.e. vijfjaarlijkse waterpas meetcampagnes en GPS stations, Antea). Deze data zijn nog goed bruikbaar aangezien de verwachte uiteindelijke drukval voor de drie voorkomens aan het eind van de winning minimaal verschillen van de gemodelleerde drukval in 2017.

Voorkomen	ΔP (MPa) 2016 Bodembewegingsanalyse	ΔP (MPa) 2020 actualisatie
Groet	21.9	21.7
Bergen	20.8	21.1
Schermer	16.4	17.2

Tabel 3-3: Aangenomen drukval voor de drie voorkomens in de bodembewegingsanalyse en in de huidige actualisatie.

Voor Groet is de drukval die in 2017 is aangenomen in de bodemdalingsstudie 1.8 bar (0.2 MPa) hoger dan wat nu verwacht wordt op basis van de cumulatieve productie.

Voor Bergen is de geschatte toename van de drukval 3 bar (0.3 MPa). Aangezien de relatie tussen de toename van de drukval en de drukval linear is, is het effect van deze toename minimaal. De verwachte toename valt binnen de foutmarge van 15 - 25% van het model. De conclusies van de bodemdalingsstudie blijven daarom op basis van de huidige inzichten gelijk aan de conclusies uit 2017. Voor Schermer is de verwachte toename van de drukval 8 bar (0.8 MPa). Deze toename van de drukval is weliswaar groter dan die voor Bergen, maar eveneens dusdanig klein dat deze ook valt binnen de

³ Bijlage C2.2 van de actualisatie Winningsplan Bergen II, 2016. Bodembewegingsanalyse, -modellering en -prognose Winningsvergunning Bergen II, Gasopslag Bergermeer en Alkmaar PGI, ECM 187610, juli 2017.

foutmarge van 15 - 25%. Voor Schermer geldt als bijkomende omstandigheid dat de compactiefactor van de Platten, waaruit in Schermer wordt geproduceerd, beduidend lager is dan de Rotliegend. De Platten is een dun en stijf gesteente (zie ook Bijlage C2.2 van de actualisatie Winningsplan Bergen II). Ook voor Schermer blijven de conclusies van de bodemdalingsstudie daarmee gelijk aan de conclusies uit 2017.

De conclusies uit de Bodembewegingsanalyse zijn ongewijzigd ten opzichte van de vorige actualisatie van het winningsplan:

- De grootste cumulatieve bodemdaling wordt boven het Groet gasvoorkomen gemodelleerd en bedraagt 14,5 cm;
- Voor het gasvoorkomen Bergen zal de cumulatieve bodemdaling naar verwachting maximaal 12 cm bedragen;
- Voor het gasvoorkomen Schermer zal de cumulatieve bodemdaling naar verwachting maximaal 9 cm bedragen.

De additionele bodemdaling van 2016 tot eind van de productie is ook weergegeven in Bijlage C2.2 (Figuur 29), op die kaart is te zien dat de meeste bodemdaling van 2 cm boven het Groet voorkomen zal plaatsvinden. Voor het voorkomen Bergen zal de bodemdaling in deze periode naar verwachting maximaal 2 cm bedragen en voor het voorkomen Schermer wordt geen bodemdaling meer verwacht.

In de bodembewegingsanalyse is aangegeven dat de totale onzekerheid van de bodemdalingsprognose 15% tot 25% is. Er is geen aanleiding voor verandering of aanpassing van het model. De additionele depletie is 5% voor Schermer, 1,4% voor Bergen en -1% voor Groet; deze drie getallen vallen ruim binnen de onzekerheidsmarge van het in 2017 gehanteerde model (15-25%). Om deze redenen is de 2017 bodembewegingsanalyse nog accuraat en verandert er niets aan de conclusies.

3.3 Afhandeling van eventuele schade

Zoals volgt uit de SRA en de bodemdalingsstudie is de kans op schade als gevolg van de gaswinning uit de genoemde velden zeer gering. Mocht zich toch schade voordoen dan is TAQA wettelijk aansprakelijk voor vergoeding daarvan. In aanvulling op de bescherming die omwonenden genieten op basis van de wet is sinds 1 juli 2020 de Landelijke Aanpak Afhandeling Mijnbouwschade Kleine Velden van kracht en kan men de schade melden bij de onafhankelijke Commissie Mijnbouwschade via commissiemijnbouwschade.nl. Door mijnbouwondernemingen, waaronder TAQA, is in dat kader een convenant ondertekend met de Minister van Economische Zaken en Klimaat. Afhandeling op deze wijze garandeert een vlotte en transparante afhandeling van eventuele schade, zonder betrokkenheid van de mijnbouwonderneming zelf.

4 Overige Omgevingsaspecten

Algemeen

De opsporing, winning en opslag van aardgas kan mogelijke gevolgen, anders dan bodemdaling en trillingen met zich meebrengen voor de omgeving. Deze mogelijke gevolgen worden beoordeeld door het bevoegd gezag in andere vergunningen dan het winningsplan. Voor alle locaties waar binnen de Bergen II Winningsvergunning gas wordt gewonnen beschikt TAQA over vigerende omgevingsvergunningen. In deze vergunningen zijn voorschriften, op basis van de door TAQA aangeleverde informatie, opgenomen over:

- Op welke manier bodem- en grondwaterverontreiniging wordt voorkomen en hoe dit wordt gemonitord;
- Welke luchtmissies worden veroorzaakt, hoe deze de luchtkwaliteit beïnvloeden en hoe deze worden voorkomen;
- De verschillende afvalwaterstromen en hoe deze worden afgevoerd of verwerkt;
- De geluidsbelasting die de inrichtingen veroorzaken;

- Externe veiligheid en voorzieningen om calamiteiten te voorkomen en te bestrijden.

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

Mijnbouwonderneming en toezichthouders hanteren een strikt controlebeleid op emissies naar de lucht. Gevaar voor de volksgezondheid door het optreden van incidenten met emissies naar de lucht is niet te verwachten. De installaties zijn zo gebouwd dat het risico op oppervlaktewaterverontreiniging verwaarloosbaar klein is. Zowel het plaatsgebonden risico als het groepsrisico voldoet aan de geldende richtlijnen van beleid rond externe veiligheid.

Geluid

De locaties waarvandaan de gaswinning plaatsvindt, betreffen zogenaamde puttenlocaties, zonder behandelings- of compressiefaciliteiten. De geluiduitstraling daarvan is bijzonder laag. In zijn algemeenheid kan worden gesteld dat de 50 dB(A) contour binnen de grenzen van deze inrichtingen liggen. Deze zijn vastgelegd in de omgevingsvergunningen voor deze locaties. Gas wordt behandeld op een behandelingsterrein aan de noordrand van de gemeente Alkmaar (de Bergen Drying Facility). Ook deze locatie beschikt over een vigerende omgevingsvergunning met geluidsvoorschriften. Omdat de productie vanuit de velden op zijn eind loopt en daarom in volume beperkt is, is de geluiduitstraling ruim passend binnen de vergunde geluidscontouren.

Er zijn geen klachten over laag frequent geluid (LFG) bekend die te maken kunnen hebben met de winning van gas uit de genoemde velden. Van de klachten die TAQA in algemene zin ontvangt (niet specifiek in relatie tot de winning uit de Bergen II Winningsvergunning) met betrekking LFG wordt per geval onderzocht of er een relatie kan worden gevonden tussen de waarnemingen van LFG en de operationele condities van TAQA's installaties. Die relatie is tot op heden niet aangetoond.

Natuur

De conclusies ten aanzien van de effecten voor natuur veranderen ten opzichte van de vorige actualisatie niet. Negatieve effecten op de instandhoudingsdoelstellingen van de in de omgeving van de winning uit de Bergen II Winningsvergunning aanwezig Natura 2000 gebieden, te weten de Schoorlse Duinen (Habitatrichtlijn), Abtskolk en de Putten (Vogelrichtlijn) en de Noordzeekustzone (Habitatrichtlijn en Vogelrichtlijn) zijn afwezig, verwaarloosbaar of uitgesloten zoals in de vorige actualisatie is aangetoond. Door de bijgestelde prognose wijzigt dit niet. Ook verbodsovertredingen ten aanzien van beschermde soorten in deze gebieden als gevolg van de bijgestelde prognose is uitgesloten en wijzigt niet ten opzichte van de eerdere actualisatie.

In mei 2019 heeft de Raad van State uitspraak gedaan inzake de Programmatische Aanpak Stikstof (PAS). De diverse winningslocaties binnen de Bergen Winningsvergunningen zijn gesitueerd in, of in de directe nabijheid van Natura 2000 gebieden, die ook deels stikstofgevoelig zijn. Er vindt op deze locaties geen uitstoot van verbrandingsgassen (waaronder NOx) plaats, aangezien het satellietlocaties zijn (alleen putten, gas wordt elders behandeld), anders dan voor het uitvoeren van onderhoud waarvoor incidenteel extra apparatuur of verkeersbewegingen noodzakelijk kunnen zijn.

De locaties dateren van de jaren 60 en 70 van de vorige eeuw, ruim voor de aanwijzing van de bewuste Natura 2000 gebieden. Daarmee vallen deze locaties onder bestaand gebruik. Onderhoud van een bestaande installatie wordt als een onlosmakelijk geheel met het volbrengen van de levenscyclus van een installatie gezien en is en daardoor nooit aan te merken als zelfstandig project in de zin van de Habitatrichtlijn.

Effecten op NNN gebieden kunnen zich voordoen door de bodemdaling. De bodemdaling gaat zeer geleidelijk (enkele millimeters per jaar) en leidt niet tot aantasting van de wezenlijke kenmerken en waarden van de NNN gebieden in de omgeving. Door de bijgestelde prognose wijzigt dit niet.

De conclusies bij de vorige actualisatie ten aanzien van de grondwaterwinning wijzigen niet. De gaswinning wordt gecontinueerd en valt daarmee ofwel in toegestaan gebruik (Bergen) of deze bevindt zich niet in een grondwaterbeschermingsgebied (Groet, Schermer).

5 Conclusie

Dit geactualiseerde winningsplan betreft aanpassingen in het productieprofiel tot eind 2023.

De eerder (ten tijde van vorige actualisatie) getrokken conclusies inzake de beoordeling van:

- de effecten van de wijze van winning alsmede de daarmee verband houdende activiteiten;
- de effecten van bodembeweging ten gevolge van de winning en de maatregelen ter voorkoming van schade door bodembeweging;
- de risico's voor omwonenden, gebouwen of infrastructurele werken of de functionaliteit daarvan en
- de effecten op de omgeving, het milieu en de natuur

wijzigen niet.

TAQA verzoekt de Minister in te stemmen met deze actualisatie van het winningsplan voor Bergen II.

6 Verklarende woordenlijst

Aquifer	Watervoerend deel van het reservoir. Dat kan naast en/of onder het gasvoerende deel gelegen zijn.
Compactie	Het samendrukken van het reservoirgesteente als door productie de druk van de vloeistof in de poriën daalt, en onvoldoende tegenwicht geeft aan het gewicht van bovenliggende gesteenten.
Depletie	Drukdaling door het onttrekken van gas (of olie of water) uit reservoirgesteente
GIIP	Gas Initially in Place: Volume gas initieel aanwezig in het voorkomen (in Nm ³)
GPS	Global Positioning System: systeem voor plaats- en hoogtebepaling met behulp van satellieten
m RT	Diepte gemeten in m langs het boortraject, vanaf de boortafel (RT)
Mb	Mijnbouwbesluit
Mw	Mijnbouwwet
Nm ³	m ³ bij 0 °C en 1.01325 bara (ref. Error! Reference source not found.)
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.
SodM	Staatstoezicht op de Mijnen
SRA	Seismische Risico Analyse
TNO	Nederlandse Organisatie voor Toegepast-Natuurwetenschappelijk Onderzoek

7 Bijlagen

Bijlage C3 van de actualisatie Winningsplan Bergen II, 2016
Bijlage C2.2 van de actualisatie Winningsplan Bergen II, 2016



Bergen Concessie

Seismisch Risico Analyse

januari 2016

	Datum		Datum		Datum
	29-01-2016		29-01-2016		29-01-2016
Sign.		Sign		Sign.	
	Geoloog		Subsurface Manager		Director Oil & Gas
	Author		Reviewed		Approved

Inhoud

1. Introductie	1
1.1. Inleiding en conclusie	1
1.2. Achtergrond	1
2. De gasvoorkomens Bergen, Groet en Schermer	2
3. Seismisch risico analyse	3
3.1. Methode.....	3
3.2. Geschatte sterkte realistisch sterkste beving	4
3.3. Onzekerheden	4
3.3.1. Breukgeometrie.....	4
3.3.2. Energiebalans	5
4. Risicomatrix.....	6
4.1. Methode, algemeen	6
4.2. Invloedfactoren ondergrond	7
4.3. Invloedfactoren bovengrond	8
4.4. Classificering invloedfactoren	9
4.4.1. Bergen	9
4.4.2. Groet.....	9
4.4.3. Schermer	10
4.5. Toepassing risicomatrix	11
4.6. Verdere duiding	12
4.7. Depletie	12
4.8. Beheersmaatregelen	13
4.9. Conclusies	13
Bronnen.....	13

1. Introductie

1.1. Inleiding en conclusie

Dit document bevat een analyse van het seismisch risico van de gasvoorkomens Bergen (ROSL) Groet (ROSL) en Schermer (ZEZ3A). Deze voorkomens zijn gelegen in Noord-Holland in de omgeving van Alkmaar, in het gebied van de Winningsvergunning Bergen II (een concessie onder de Mijnbouwwet, ook bekend als "Bergen Concessie"). Het betreft een risico analyse waarbij aan invloedfactoren ondergrond en invloedfactoren bovengrond een puntenwaarde wordt toegekend. Deze waarde wordt in een risicomatrix weergegeven en leidt dan tot een risico-kwalificatie "laag", "medium" of "hoog". Tot de invloedfactoren hoort ook de sterkte van een realistisch sterkste beving. Deze realistisch sterkste beving is in dit document op twee verschillende manieren berekend.

De in dit document gebruikte methode is ontwikkeld in het Technisch Platform Aardbevingen waarin zowel de mijnbouwondernemingen als kennisinstellingen zijn vertegenwoordigd. De methode is ontwikkeld op basis van internationale inzichten en literatuur, en bedoeld om het seismisch risico van producerende gasvoorkomens inzichtelijk te maken. Staatstoezicht op de Mijnen heeft deze methode in een concept richtlijn ter consultatie aangeboden aan diverse belanghebbenden. Er is op de datum van dit document nog geen definitieve richtlijn vastgesteld.

De uitkomst van deze risicoanalyse is dat de gasvoorkomens Bergen (ROSL), Groet (ROSL) en Schermer (ZEZ3A) een laag seismisch risico hebben.

Het winningsplan van de Winningsvergunning Bergen II beschrijft dat dit lage seismische risico wordt beheerst - kort samengevat - door een meet en monitoringsnetwerk, dat bevingen vanaf M1.5 registreert. Indien seismische activiteit wordt gemeten, zullen, afhankelijk van de aard van de activiteit, beheersmaatregelen worden genomen die kunnen bestaan uit insluiten of vermindering van de productie, en die voor elke geregistreeerde beving zullen bestaan uit verdere studies.

1.2. Achtergrond

De winning van aardgas gaat in het algemeen gepaard met een daling van de druk in de diepe ondergrond. De bijbehorende veranderingen in het spanningsstelsel kunnen leiden tot plotselinge bewegingen langs bestaande breuken in de diepe ondergrond. Afhankelijk van onder meer de intensiteit van deze beweging en de samenstelling van hoger gelegen bodemlagen, kan aan de oppervlakte een bodemtrilling plaatsvinden.

In Nederland vinden zeer regelmatig door gaswinning geïnduceerde trillingen plaats.

Sinds het begin van de jaren negentig hebben verschillende organisaties, waaronder de overheid, kennisinstituten en mijnbouwmaatschappijen, zich met deze problematiek bezig gehouden. Een en ander is in een stroomversnelling gekomen door de aardbevingen in Groningen in 2013.

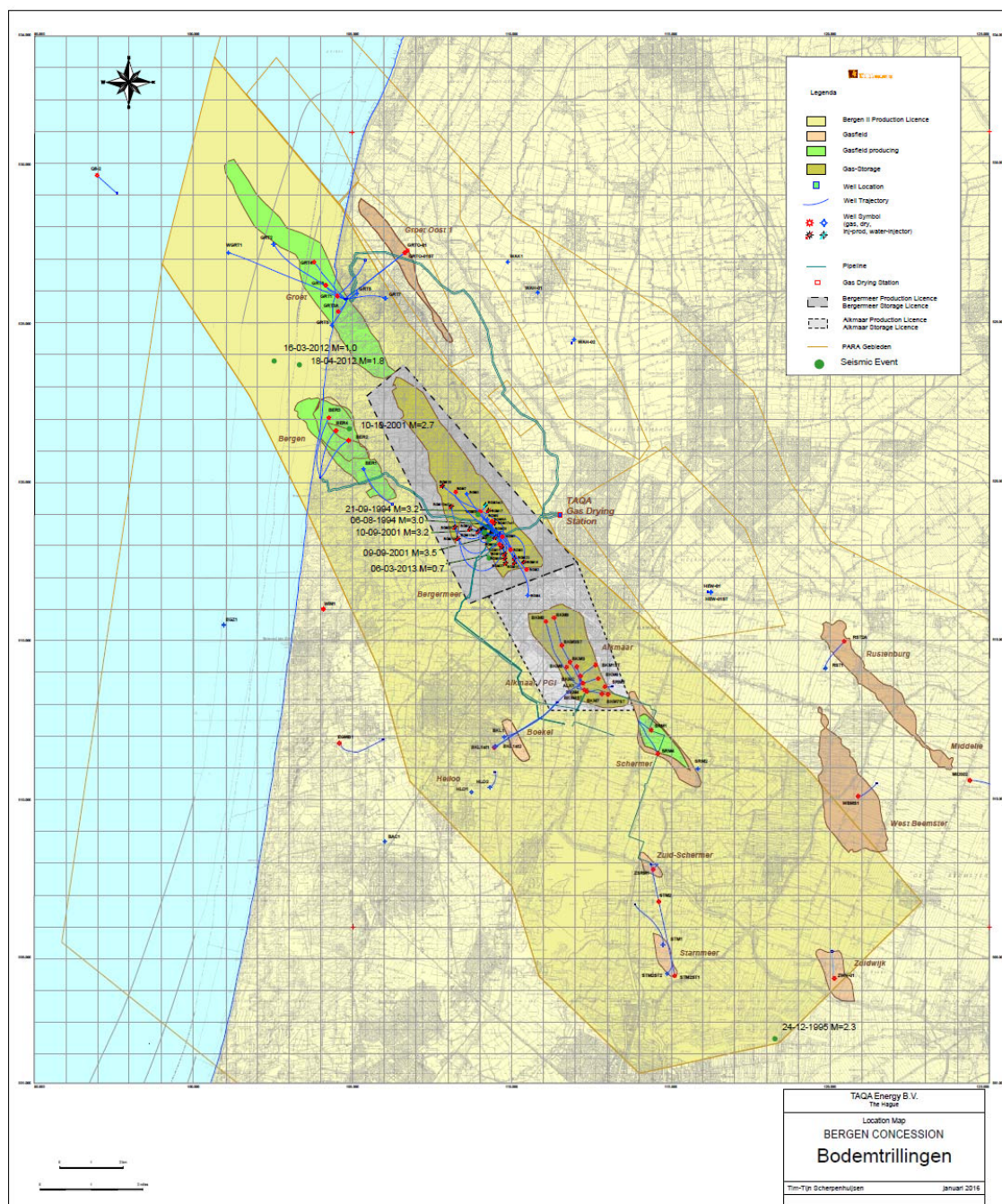
Bevindingen zijn gedocumenteerd in een aantal rapportages zoals in het TNO/KNMI integratie-rapport 'Seismisch hazard van geïnduceerde aardbevingen. Integratie van deelstudies'. [1]

Alle door gaswinning geïnduceerde trillingen worden gepubliceerd door het KNMI.

De meeste trillingen zijn niet waarneembaar zonder meetapparatuur en veroorzaken geen schade. Er wordt veel onderzoek gedaan naar de mogelijkheid om optreden en sterkte van geïnduceerde aardbevingen te voorspellen. Minimum en maximum bandbreedtes zijn voorspelbaar maar er bestaan op dit moment nog geen methodes voor zeer precieze voorspellingen.

2. De gasvoorkomens Bergen, Groet en Schermer

In het gebied van winningsvergunning Bergen II zijn momenteel drie gasvoorkomens in productie, te weten: Bergen, Groet en Schermer. Bergen en Groet produceren uit de Rotliegend Slochteren Formatie (ROSL) en Schermer uit de Zechstein Z3 Carbonate Member (ZEZ3A). Het gasvoorkomen Bergen heeft in 2001 meetbare seismiciteit vertoond met een magnitude van M2.7 en heeft geen schade veroorzaakt [7]. In de Bergen Concessie is in 1995 en 2012 ook meetbare geïnduceerde seismiciteit gemeten met een magnitude M1.0 , M1.8 en M2.3. Deze seismiciteit valt vanwege meetonnauwkeurigheden niet toe te kennen aan specifieke gasvoorkomens. Ook deze bevingen hebben niet tot schade geleid. Het nabij gelegen gasopslagveld Bergermeer is in 1994 en 2001 seismisch actief geweest, dit heeft tot niet-structurele schades aan meerdere woningen en gebouwen geleid. Het Bergermeer veld ligt niet in het gebied van de Winningsvergunning Bergen II.



In de risicomatrix worden de invloedfactoren ondergrond tegen de invloedfactoren bovengrond geplot. Met de risicomatrix wordt kwalitatief een risicocategorie bepaald. In dit document is deze methode toegepast.

3.2. Geschatte sterkte realistisch sterkste beving

In dit document wordt een schatting gemaakt van de sterkte van de realistisch sterkste beving. Dit kan op basis van twee principes:

1. gebruikmakend van de breukgeometrie,
2. gebruikmakend van de energiebalans.

3.3. Onzekerheden

Beide methodes kennen onzekerheden en aannames. Zo wordt bijvoorbeeld voor magnitudes die geschat worden op basis van energiebalans, uitgegaan van een partitie coëfficiënt van 0.01. Deze waarde is gelijk aan de hoogste waarde waargenomen in Nederlandse gasvoorkomens. Voor veel gasvoorkomens is deze partitie coëfficiënt veel lager en daarom zullen de magnitudes die geschat worden op basis van energiebalans aan de hoge kant liggen. Een lagere partitie coëfficiënt van 0.001 resulteert in een afname van $M_{0.7}$ van de berekende sterkte van realistisch sterkste beving. Dezelfde conclusie kan ook worden getrokken voor magnitudes bepaald met de breukgeometrie methode. Bij deze methode wordt bijvoorbeeld uitgegaan van een stress drop van 5MPa. Deze waarde is gebaseerd op weinig observaties en is daarnaast lastig te bepalen. Als uitgegaan wordt van bijvoorbeeld een stress drop van 1MPa dan zal dit resulteren in een afname van de sterkte van realistisch sterkste beving van $M_{0.5}$.

Daarnaast zijn er andere factoren dan het compactievolumen en het breukoppervlak die het seismisch gedrag van een veld in sterke mate bepalen, zoals de initiële tektonische spanningen, de drukverdeling in het reservoir, de geometrie van het reservoir en de breuken, het spanningspad, de deformatiesnelheden en de ontwikkeling van de breuksterkte tijdens een aardbeving. Deze factoren worden niet meegenomen in de bepaling van de sterkte van realistisch sterkste beving volgens de hier gehanteerde methodes.

3.3.1. Breukgeometrie

De grootte van het breukoppervlak dat tijdens een beving beweegt schaalte met de hoeveelheid energie die vrijkomt bij een beving. De grootte van de breuk is dus bepalend. De relatie die het breukoppervlak met de vrijkomende energie heeft wordt weergegeven door [3]:

$$M_0 = \frac{3\pi}{8} \Delta\sigma (w^2 L), \quad (1)$$

waarbij M_0 het seismisch moment is (maat is voor de hoeveelheid energie), $\Delta\sigma$ de spanningsafname, w de hoogte en L de lengte van de breuk. Voor de meeste geïnduceerde bevingen komt de spanningsafname niet boven de 5MPa (50 bar) uit. Voor de bepaling van de sterkte van de realistisch sterkste beving wordt derhalve van deze waarde uitgegaan. Het is moeilijk om vast te stellen hoe

groot het breukoppervlakte is waarover seismische slip kan plaatsvinden. Op basis van verschillende geomechanische modellen is bekend dat de meeste spanningstoename optreedt door drukafname in het reservoir ter plaatse waar het breukoppervlakte grenst aan het reservoir.

De relatie die het seismisch moment heeft met de magnitude M van een beving wordt gegeven door [5]:

$$M = \frac{2}{3}(\log_{10}(M_0) - 9.1) \quad (2)$$

	$\Delta\sigma$ (MPa)	w (m)	L (m)
Schermer	16.2	40	3020
Bergen	21.3	200	3100
Groet	20.9	200	4840

Tabel 1 Input parameters

3.3.2. Energiebalans

De tweede methode die gebruikt wordt om de sterkte van de realistisch sterkste beving te bepalen is op basis van de energiebalans. De energie die vrij komt bij een geïnduceerde beving is een fractie van de energie die opgebouwd wordt tijdens gasonttrekking uit het reservoir. Voor het Groningen gasveld is deze relatie empirisch afgeleid [6,7]:

$$M_{0,T}(t) \cong \frac{4\mu}{3}\alpha|\Delta V(t)| \quad (3)$$

Met $M_{0,T}(t)$ is het seismisch moment, μ de schuifmodulus, α de partitie coëfficiënt en $\Delta V(t)$ de volume verandering in het reservoir ten gevolg van gasonttrekking. Aangezien dit de enige relatie is die bekend is voor de onshore gasvoorkomens in Nederland, zal deze voor de Bergen Concessie worden toegepast.

De schuifspanning wordt gegeven door:

$$\mu = \frac{E}{2(1+\nu)} \quad (4)$$

waarin E de Young's Modulus is en ν de Poisson Ratio.

$\Delta V(t)$, de volume verandering in het reservoir ter gevolg van gasonttrekking wordt gegeven door:

$$\Delta V(t) = H_{res}C_m\Delta P A_{res} \quad (5)$$

Met H_{res} is de reservoir hoogte, ΔP de drukafname in het reservoir, A_{res} is de reservoir grote en C_m de uniaxiale compactie coefficient, gegeven door:

$$C_m = \left(\frac{1+\nu}{1-\nu}\right)\left(\frac{1-2\nu}{E}\right) \quad (6)$$

De partitie coëfficiënt α is empirisch bepaald voor de gasvoorkomens in Nederland en aangenomen wordt dat die 0.01 bedraagt. Deze waarde komt overeen met de grootste waarde die geobserveerd is voor enkele velden in Noord-Nederland.

Substitutie van vergelijking (4), (5) en (6) in vergelijking (3), waarbij $\alpha = 0.01$, resulteert in:

$$M_{0,T}(t) \cong \frac{2(1-2\nu)}{3(1-\nu)}0.01H_{res}\Delta P A_{res} \quad (7)$$

Door de logaritmische relatie (vergelijking (2)) tussen magnitude en seismisch moment gaat de sterkte van de realistisch sterkste beving gepaard met de helft van het seismisch moment en geeft substitutie van vergelijking (7) in vergelijking (2) de volgende uitdrukking voor de magnitude M :

$$M = \frac{2}{3} \left(\log_{10} \left(\frac{(1-2\nu)}{3(1-\nu)} 0.01 H_{res} \Delta P A_{res} \right) - 9.1 \right) \quad (8)$$

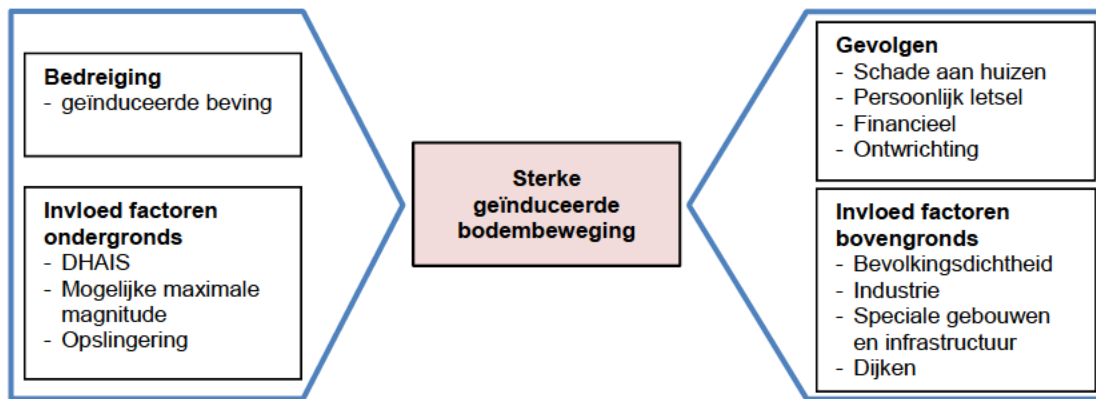
	ν (-)	H_{res} (m)	ΔP (MPa)	A_{res} (m ²)
Schermer	0.25	40	16.2	$1.3 \cdot 10^6$
Bergen	0.2	200	21.3	$5.7 \cdot 10^6$
Groet	0.2	200	20.3	$2.8 \cdot 10^6$

Tabel 2 Input parameters

4. Risicomatrix

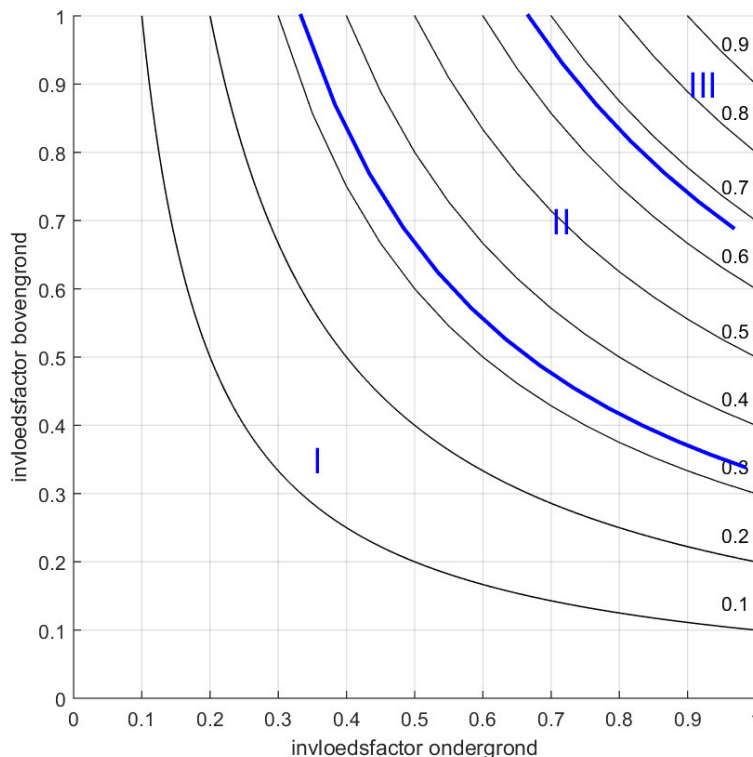
4.1. Methode, algemeen

Op basis van een risicomatrix benadering kan het risico van geïnduceerde aardbevingen verder worden gekwalificeerd. Daarbij wordt rekening gehouden met de in onderstaande figuur weergegeven bedreigingen en gevolgen van geïnduceerde bevingen, en de verschillende bovengrondse en ondergrondse invloedfactoren die daarbij een rol spelen.



Figuur 2 Weergave van bedreiging en gevolgen van een geïnduceerde beving

De risicomatrix geeft de relatie weer tussen invloedfactoren ondergrond en invloedfactoren bovengrond. Deze factoren zijn gekwantificeerd door aan verschillende factoren waarden toe te kennen. De som van de waarden voor invloedfactoren bovengrond en invloedfactoren ondergrond worden genormaliseerd naar de totaal toe te kennen waarden en geplot in de risicomatrix van figuur 3. De locatie van de punten in de grafiek geeft de kwalificering van de velden aan. Deze risikokwalificering heeft implicaties voor monitoring, beheersmaatregelen en verder onderzoek.



Figuur 3 Rismicomatrix

4.2. Invloedfactoren ondergrond

- Kans op het induceren van bevingen: in de SRA voor de Bergen concessie wordt de kans op beven bepaald door de DHAIS analyse [1]. Resultaten van deze studie zijn in dit document toegepast.
- De sterkste beving waar realistisch rekening mee moet worden gehouden: resultaten hiervan worden gebruikt in de risicomatrix. In hoofdstuk 3 zijn de methodes voor het bepalen van de sterkte van de sterkste beving waar realistisch rekening mee moet worden gehouden besproken.
- In het noorden van Nederland (inclusief Noord-Holland) ligt een dikke laag Zechstein zout wat vaak de afsluitende laag is van de aanwezige gas voorkomens. Zout op een diepte van ~3km gedraagt zich vloeibaar en zal stromen om de spanningen in het zout te relaxeren. Hierdoor wordt extra spanning opgebouwd net boven en onder een dikke laag zout. Het is in Nederland nooit voorgekomen dat er door gaswinning geïnduceerde bevingen optraden in velden ten zuiden van de lijn Amsterdam-Arnhem, waar de Zechstein zoutafzettingen ontbreken.
- Lokale opslingering: de DHAIS studie die uitgevoerd is door TNO [1] heeft de ondiepe bodemlagen en daarbij horende opslingering in kaart gebracht. Deze kaart wordt gebruikt om de lokale opslingering in kaart te brengen.

De tabel hieronder is gebruikt om invloedfactoren bovengrond genoemd in paragraaf 4.3 te kwalificeren.

	DHAIS	M	Ligging voorkomen	Opslintering
5		Alle methodes >4,5		
4	Bevend veld > 5 bevingen per jaar van M _z 1,5	1 methode > 4,5 én/of Alle methodes 4,1 – 4,5		
3	Bevend veld < 5 bevingen per jaar van M _z 1,5	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.
2	P=42% Of Bevend veld M < 1,5	1 methode 3,6 – 4,0 én/of Alle methodes 3,1 – 3,5	Boven de lijn Amsterdam-Arnhem	30-60% slappe grond ($V_{s,30} \leq 200\text{m/s}$) 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.

Tabel 3 Classificering van de invloedfactoren ondergrond (DHAIS zie referentie [1] &[2])

4.3. Invloedfactoren bovengrond

- Bevolkingsdichtheid: De bevolkingsdichtheid is bepaald door op de bevolkingsdichtheidskaart de bevolkingsdichtheid af te lezen van de verschillende gemeentes waaronder een gasvoorkomen zich bevindt. Op basis van het oppervlakte van het gasvoorkomen dat binnen de gemeente grenzen ligt is een gewogen gemiddelde bepaald. Het type bebouwing speelt een belangrijke rol, maar is moeilijk te specificeren. Het is wel vast te stellen of er wijken met flats/appartementencomplexen zijn. Dit is in deze categorie verwerkt.
- Industriële inrichtingen: Op <http://www.risicokaart.nl> is de aanwezigheid van industriële inrichtingen boven en rond het veld geïnterpreteerd en zodoende kan deze factor worden geclassificeerd.
- Speciale gebouwen en vitale infrastructuur: Op <http://www.risicokaart.nl> is de aanwezigheid van scholen, ziekenhuizen, tehuizen en publieke gebouwen waar veel mensen samenkomen in kaart gebracht en is deze factor geclassificeerd.
- Dijken: Op basis van aanwezigheid van waterwegen is de aanwezigheid van dijken ingeschat.

De tabel hieronder is gebruikt om invloedfactoren bovengrond genoemd in paragraaf 4.4 te kwalificeren.

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

Tabel 4 Classificering van de invloedfactoren bovengrond

4.4. Classificering invloedfactoren

4.4.1. Bergen

- DHAIS: Bergen heeft in het verleden één keer gebeefd.
- M: Uit de breuk geometrie methode volgt een M van 3.6 - 4. Uit de energiebalans methode volgt een M van 2.6 - 3.0.
- Ligging voorkomen: Het voorkomen bevindt zich boven de lijn Amsterdam- Arnhem.
- Opslingering: Het voorkomen bevindt zich voor 100% onder een stijve ondergrondklasse.
- Bevolkingsdichtheid: Het voorkomen bevindt zich voor 100% in de gemeente Bergen. Bergen heeft een bevolkingsdichtheid van 312 inwoners per km². Binnen een straal van 5km bevinden zich flats of appartementen complexen.
- Industriële inrichtingen: Boven het veld bevinden zich geen industriële inrichtingen. In een straal van 5km rond het veld bevinden zich meerdere industriële inrichtingen.
- Speciale gebouwen: Boven het veld bevinden zich geen speciale gebouwen of vitale infrastructuur. In een straal van 5km rond het veld bevinden zich meerdere speciale gebouwen en/of vitale infrastructuur.

4.4.2. Groet

- DHAIS: Groet valt in de P=42% categorie
- M: Uit de breuk geometrie methode volgt een M van 3.6 - 4. Uit de energiebalans methode volgt een M van 3.1 - 3.5.
- Ligging voorkomen: Het voorkomen bevindt zich boven de lijn Amsterdam – Arnhem.
- Opslingering: Het voorkomen bevindt zich voor 100% onder een stijve ondergrondklasse.

- Bevolkingsdichtheid: Het voorkomen bevindt zich voor 100% in de gemeente Bergen. Bergen heeft een bevolkingsdichtheid van 312 inwoners per km². Binnen een straal van 5km bevinden zich flats of appartementen complexen.
- Industriële inrichtingen: Boven het veld bevinden zich geen industriële inrichtingen. In een straal van 5km rond het veld bevinden zich meerdere industriële inrichtingen.
- Speciale gebouwen: Boven het veld bevinden zich geen speciale gebouwen of vitale infrastructuur. In een straal van 5km rond het veld bevinden zich meerdere speciale gebouwen en/of vitale infrastructuur.

4.4.3.Schermer

- DHAIS: Schermer valt in de P=42% categorie
- M: Uit de breuk geometrie methode volgt een M van 2.6 - 3. Uit de energiebalans methode volgt een M van <2.5.
- Ligging voorkomen: Het voorkomen bevindt zich boven de lijn Amsterdam – Arnhem.
- Opslingering: Het voorkomen bevindt zich voor 100% onder een slappe ondergrondklasse
- Bevolkingsdichtheid: Het voorkomen bevindt zich voor 90% in de gemeente Schermer. Schermer heeft een bevolkingsdichtheid van 80 per km². 10% van het voorkomen valt in de gemeente Graft-De Rijp. Deze gemeente heeft een bevolkingsdichtheid van 322 per km². Dit komt neer op een gewogen gemiddelde van 104 inwoners per km². Binnen een straal van 5km bevinden zich flats of appartementen complexen.
- Industriële inrichtingen: Boven het veld bevinden zich twee industriële inrichtingen. Een van deze inrichtingen is de productie locatie behorende bij het Schermer veld. Deze productie locatie is niet kwetsbaar, omdat zij aangelegd en beheerd wordt volgens – strenge – voor mijnbouw geldende normen. In een straal van 5km rond het veld bevinden zich meerdere industriële inrichtingen.
- Speciale gebouwen: Boven het veld bevinden zich geen speciale gebouwen of vitale infrastructuur. In een straal van 5km rond het veld bevinden zich meerdere speciale gebouwen en of vitale infrastructuur.

De resultaten van de classificering van de invloedfactoren *ondergrond* zijn weergegeven in onderstaande tabel.

	DHAIS	M	Ligging voorkomen	Opslingering	Score totaal	Genormaliseerde score
Bergen(Rotliegend)	3	2	2	0	7	7/14= 0.5
Groet(Rotliegend)	2	2	2	0	6	6/14= 0.42
Schermer(Platten)	2	0	2	3	7	7/14= 0.5

Tabel 5

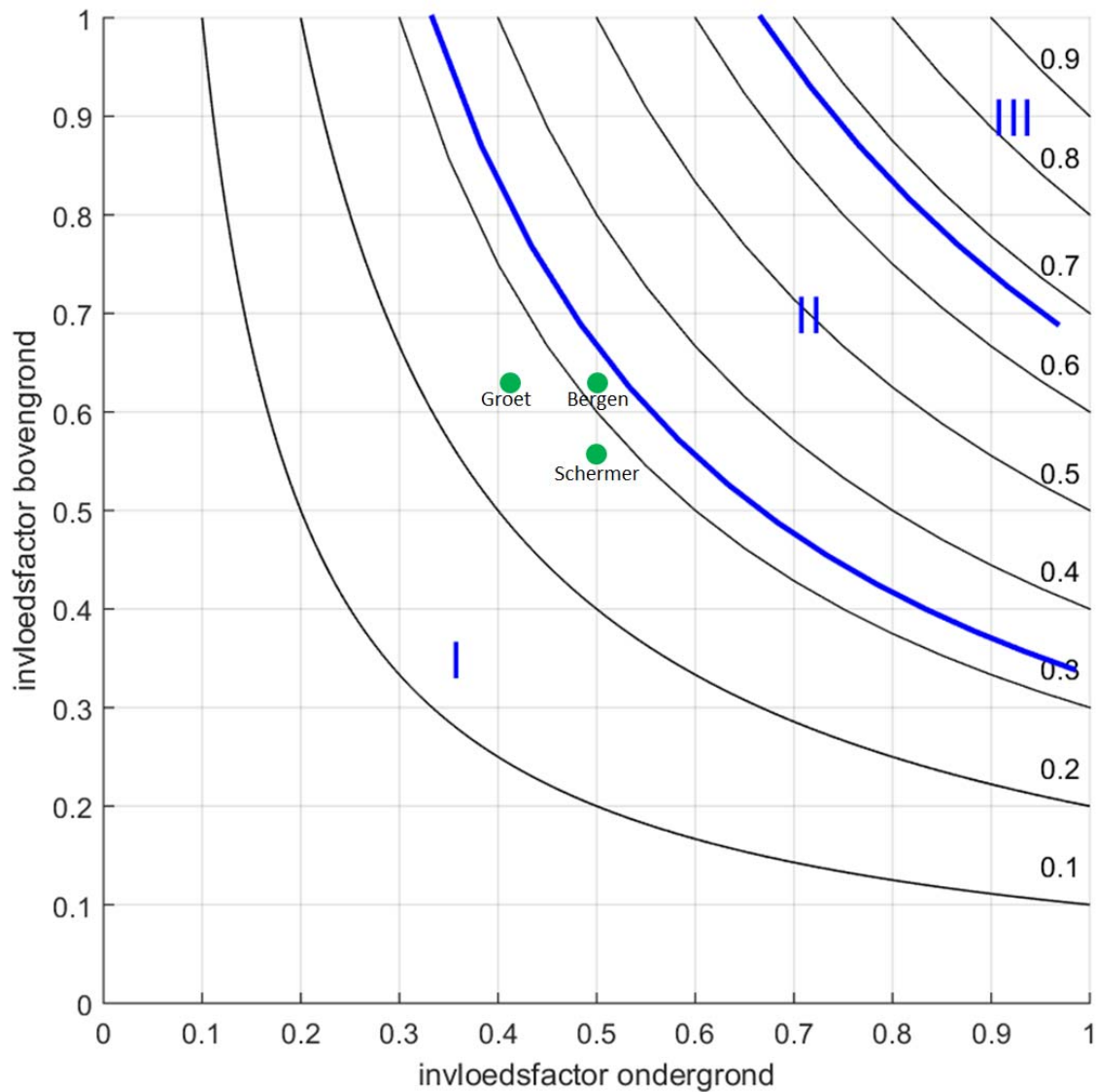
De resultaten van de classificering van de invloedfactoren *bovengrond* zijn weergegeven in onderstaande tabel.

	Bevolkingsdichtheid	Industriële inrichtingen	Speciale gebouwen en vitale infrastructuur	Dijken	Score totaal	Genormaliseerde score
Bergen(Rotliegend)	2	3	2	3	10	10/16=0.63
Groet(Rotliegend)	2	3	2	3	10	10/16=0.63
Schermer(Platten)	1	3	2	3	9	9/16=0.56

Tabel 6

4.5. Toepassing risicomatrix

In onderstaande figuur 4 zijn de totaal scores van de drie gasvoorkomens geplott in de risicomatrix. Geconcludeerd kan worden dat de drie onderzochte gasvoorkomens vallen in risicocategorie I.



Figuur 4 Riscomatrix met resultaten

4.6. Verdere duiding

Boven de gasvoorkomens Groet en Bergen is weinig directe bebouwing, en geen industriële inrichtingen of speciale gebouwen. Het duingebied waar de gasvoorkomens onder liggen heeft een stijve ondergrond. Mocht er een seismisch event plaatsvinden dan zal de stijve ondergrond voor weinig opslinging zorgen. Beide kenmerken van het duingebied beperken het seismisch risico van deze gasvoorkomens.

In het duingebied zijn twee kleine bevingen geweest die niet door mensen gevoeld zijn, en in 2001 heeft er een kleine waarneembare beving plaatsgevonden in het Bergen gasvoorkomen. Die beving heeft niet geleid tot structurele schade.

Het Schermer gasvoorkomen produceert uit de Platten Dolomiet met een beperkte dikte van 40m. Doordat de dikte beperkt is, is de energie die vrij kan komen bij een eventuele beving ook laag. Dit resulteert in een lage realistisch sterkste beving. Er is een lage bevolkingsdichtheid in de omgeving van het Schermer voorkomen. Het veld ligt, evenals het Bergermeer voorkomen, onder een slappe ondergrond. De ervaring met de bevingen van het Bergermeer gasvoorkomen geeft geen aanleiding om voor het Schermer voorkomen grote invloed toe te meten aan een opslinger-effect.

Alle drie voorkomens vallen in de laagste categorie van de risicomatrix. Dat betekent dat voor mensen waarneembare bevingen zeer onwaarschijnlijk zijn. Op basis van de beschikbare wetenschap en techniek zijn zij echter niet volledig uit te sluiten. Een eventuele beving zal naar alle waarschijnlijkheid geen structurele schade aan gebouwen veroorzaken. Niet structurele schades als scheuren in metsel- of stuwwerk of tegelwanden zijn ook erg onwaarschijnlijk. Persoonlijk letsel door geïnduceerde bevingen is in Nederland nooit voorgevallen, en ook voor deze voorkomens is dat naar alle redelijke maatstaven als uitgesloten aan te merken. (Daarvoor zou samenloop nodig zijn van – zeer onwaarschijnlijke – structurele schade aan gebouwen, het daardoor vallen van zware objecten en de aanwezigheid van een persoon op de valplek op het valmoment.) Wel zal een waarneembare beving, als zij voorkomt, gevoelens van onveiligheid veroorzaken. Schades worden altijd vergoed door de mijnbouwonderneming.

4.7. Depletie

De gasvoorkomens in de Bergen Concessie zijn vergaand leeg geproduceerd. De toekomstige winning bestaat uit het produceren van de laatste reserves. Dit veroorzaakt een zeer beperkte drukdaling in de velden. Hoewel wordt aangenomen dat de kans klein is dat kleine velden nog seismisch actief worden in de laatste fase van winning met geringe drukafname, is er geen empirische methode beschikbaar om dit aan te tonen.

4.8. Beheersmaatregelen

In en rondom de Bergen Concessie zijn in overleg met het KNMI geofoons en accelerometers geplaatst (zie onder meer het meetplan Bergen Winningsvergunning, actualisatie 2015). De huidige opstelling van geofoons in en rondom de Bergen Concessie garanderen een dekkend waarnemingsnet in de omgeving van de gasvoorkomens Groet, Bergen en Schermer voor bodemtrillingen met een magnitude van M1.5 en hoger. Hiermee worden de velden voldoende gemonitord. Iedere gemeten trilling wordt onderzocht en zal tot overleg tussen de vergunninghouder en de toezichthouder Staatstoezicht op de Mijnen en kennisinstituten leiden. Indien een veld seismisch actief wordt, kan als beheersmaatregel de winning verder worden beperkt of gestopt.

4.9. Conclusies

De gasvoorkomens Bergen (ROSL) Groet (ROSL) Schermer (ZEZ3A) hebben een laag seismisch risico.

Bronnen

- [1] TNO, 2012, *Seismisch hazard van geïnduceerde aardbevingen; Integratie van deelstudies*, TNO-rapport 2012 R11139 (www.nlog.nl).
- [2] TNO, 2012, *Deterministische hazard analyse voor geïnduceerde seismiciteit in Nederland*, TNO-rapport 2012 R10198 (www.nlog.nl).
- [3] OVV, 2015, Aardbevingsrisico's in Groningen; Onderzoek naar de rol van veiligheid van burgers in de besluitvorming over de gaswinning (1959-2014).
- [3] Kanamori, H. (2001), *Energy budget of earthquakes and seismic efficiency*, in Earthquake Thermodynamics and Phase Transformations in the Earth's Interior, edited by R. Teisseyre, pp.293-305, Academic, Waltham, Mass.
- [4] Hanks, T., and H. Kanamori (1979), *Moment magnitude scale*, J. Geophys. Res. 84, 2348-2350.
- [5] Bourne, S.J., S.J. Oates, J. van Elk, and D. Doornhof (2014), *A seismological model for earthquakes induced by fluid extraction from a subsurface reservoir*, J. Geophys. Res. 119(2), 8991-9015, doi:10.1002/2014JB011663.
- [6] Kostrov, V.V. (1974), *Seismic moment and energie of earthquakes and seismic flow of rocks*, Izv. Acad. Sci. USSR Phys. Solid Earth, Eng. Transl., 1, 23-44.
- [7] www.knmi.nl



Bodembewegingsanalyse, -modellering en - prognose

Winningsvergunning Bergen II, Opslagvergunningen
Gasopslag Bergermeer en Alkmaar PGI
ECM # 187610

Juli 2017

TAQA Energy B.V.

Sign.	Date	Sign.	Date	Sign.	Date	Sign.	Date
17-7-2017		17-7-2017		17-7-2017			
Geologist		Senior Permitting Advisor, Senior Geologist		Deputy Subsurface Manager		Technical Manager	
Prepared		Reviewed		Approved		Authorized by	

1 SAMENVATTING

Eén van de verantwoordelijkheden van TAQA Energy B.V. is om de bodembeweging te monitoren en na te gaan in hoeverre de bodembeweging het gevolg is van gasproductie of -opslag. Om de effecten van toekomstige bodembeweging op de waterhuishouding en het milieu te beoordelen is een prognose nodig van de verwachte bodembeweging veroorzaakt door gasproductie en -opslag. De bodemdaling in de Bergen II Winningsvergunning wordt sinds 1972 gemeten door middel van $\pm$ 5-jaarlijkse waterpassingsmeetcampagnes. De bodembeweging boven het Bergermeerveld (opslag) wordt sinds 2013 gemeten met vier GPS stations.

Voor onderhavige prognose van de bodemdaling wordt de bodembeweging gemodelleerd door gebruik te maken van de 'Geertsema en van Opstal' methode [4,5]. Door de bodembeweging te modelleren voor de jaren dat er waterpassingsmeetcampagnes zijn uitgevoerd kan het model gekalibreerd worden met de daadwerkelijk gemeten bodemdaling. Dit gekalibreerde model kan vervolgens gebruikt worden om een prognose van de totaal verwachte bodemdaling te maken.

Tot 2006 kan de gemodelleerde bodemdaling goed gekalibreerd worden met de gemeten bodemdaling. Na het significant afnemen van de drukdaling in de gasvelden Groet en Bergen zet de bodemdaling door. Deze tijdsafhankelijke bodemdaling is afgenomen in de periode 2011-2016 en kan verklaard worden door compactie kruip en/of tijdsafhankelijke drukdaling in de watervoerende laag onder of naast deze beide gasvelden. Dit effect is ook waarneembaar in de periode 2006-2011 in het Bergermeer Gasveld.

Naast dit tijdsafhankelijke effect lijkt het Bergermeer Gasveld zich stijver te gedragen tijdens de opslagfase (2007-heden) dan tijdens de depletiefase (1972-2006). Per bar drukverschil is de bodembeweging geringer tijdens de opslagfase dan tijdens de depletiefase.

Naast bodembeweging die toegewezen kan worden aan gaswinning en -opslag wordt er in de Bergen Winningsvergunning ook autonome bodemdaling waargenomen.

Er zijn twee scenario's gemodelleerd voor de verwachte bodemdaling als gevolg van gaswinning en gasopslag. Het opslag scenario waarbij de gasvelden Bergermeer en Alkmaar PGI als opslag gebruikt worden én het scenario waarbij het gebruik van deze beide opslagen beëindigd is en het gas uit de gasopslagen onttrokken is (werkgas en kussengas). In beide scenario's wordt de druk van de overige gasvelden verlaagd tot de verwachte einddruk. De grootste bodemdaling wordt boven het Groet gasveld gemodelleerd en bedraagt 14.5cm.

Inhoud

1	SAMENVATTING	1
2	INLEIDING	3
3	WATERPASSING EN GPS	5
3.1	Meetonzekerheid	7
4	METHODE	7
4.1	Inputparameters.....	8
4.1.1	Veldcontouren	8
4.1.2	Diepteligging veld	8
4.1.3	Dikte reservoir	9
4.1.4	Compactiecoëfficiënt	9
4.1.5	Rigide basement factor	9
4.1.6	Poisson's ratio	10
4.1.7	Gemiddelde reservoir druk	11
5	MODELKALIBRATIE	12
5.1	Tijdsafhankelijke bodembeweging.....	12
5.1.1	Bergen	12
5.1.2	Groet	16
5.1.3	Bergermeer	20
5.1.4	Discussie tijdsafhankelijke bodembeweging	21
5.1.5	Tijdsafhankelijke bodembeweging modelleren	22
5.2	Resultaten bodembewegingsmodellering.....	23
5.2.1	Bodembeweging boven het Zuid-Schermer en Starnmeer Gasveld	29
6	AUTONOME BODEMDALING IN DE BERGEN II WINNINGSVERGUNNING EN OMGEVING 29	
6.1	Bodemdaling in kring 27	32
6.2	Alkmaar en Heiloo	35
6.3	Rioolwaterzuiveringsinstallatie (RWZI) Geestmerambacht	36
6.4	Hondsbossche Zeewering	37
7	BODEMDALINGSPROGNOSE	39
8	CONCLUSIE	44
9	REFERENTIES.....	45
10	BIJLAGE	45

2 INLEIDING

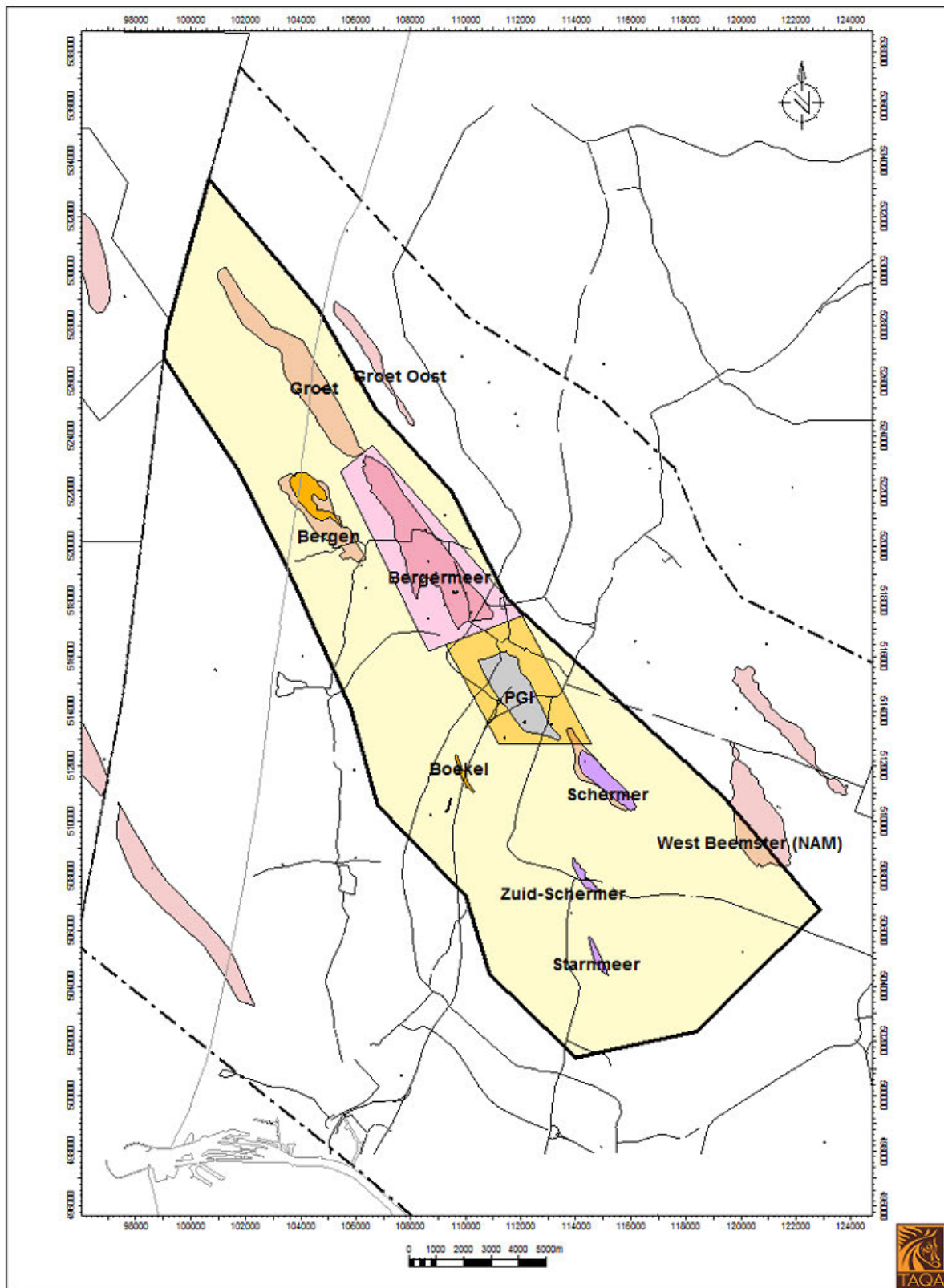
Eén van de verantwoordelijkheden van TAQA Energy B.V. is om de bodembeweging te monitoren en na te gaan in hoeverre de bodembeweging het gevolg is van gasproductie of -opslag. Om de effecten van toekomstige bodembeweging op de waterhuishouding en het milieu te beoordelen is een prognose nodig van de verwachte bodembeweging veroorzaakt door gasproductie en -opslag. Om de effecten van toekomstige bodembeweging op de waterhuishouding en het milieu te beoordelen is een prognose nodig van de verwachte bodembeweging veroorzaakt door gasproductie en -opslag. Dit document beschrijft de achtergronden van deze bodembewegingprognose.

Sinds de jaren zeventig wordt er gas gewonnen in de Bergen Winningsvergunning (voorheen: *Concessie*). Figuur 1 laat de ligging van de gasvelden zien. De gasreservoirs liggen op een diepte tussen de 1500m en 2500m en bestaan uit poreuze zandstenen of dolomieten. De gasproductie gaat gepaard met drukdaling in de gasreservoirs. Doordat de druk in de gasreservoirs afneemt compacteert het reservoir (inklinking). Deze inklinking resulteert aan de oppervlakte in bodemdaling. De bodemdaling wordt sinds 1972 om de $\pm$ vijf jaar gemeten door middel van waterpas meetcampagnes.

Sinds 1997 is het Alkmaar gasveld in operatie (Piekgasinstallatie PGI) als gasopslag en sinds 2013 ook het Bergermeer gasveld (Gasopslag Bergermeer GSB). Doordat de druk in deze velden niet alleen daalt maar ook stijgt treedt er naast compactie ook expansie (uitzetting) van het gasreservoir op. Deze expansie resulteert aan de oppervlakte in bodemstijging. Sinds 2013 staan er vier GPS stations in de nabijheid van het Bergermeer veld. Deze GPS stations meten een bodembeweging (stijging en daling) boven het Bergermeer gasveld die goed gecorreleerd kan worden met het drukverloop in het gasreservoir.

De mate van compactie en expansie is afhankelijk van een aantal factoren zoals reservoirdikte, gesteente-eigenschappen, drukdaling en omvang van het gasveld. Hoe deze compactie zich vertaalt aan de oppervlakte is afhankelijk van de vorm van het gasveld en de diepte waarop het gasveld zich bevindt. In een klein veld zal veel minder compactie optreden dan in een groot veld zoals Bergermeer.

De bodembeweging is aan de oppervlakte komvormig en strekt zich verder uit dan de grenzen van het gasveld. Doordat in de Bergen Concessie een aantal velden dicht bij elkaar ligt, overlappen deze bodembewegingskommen en is er één gezamenlijke bodembewegingskom ontstaan.



Figuur 1 overzichtskaart van de ligging van de Gasvelden. In roze de Slochteren Zandsteen gasvelden, in paars de Platten Dolomiet gasvelden en in geel/oranje de Bunter Zandsteen gasvelden. Het Bergermeer gasveld is een Slochteren Zandsteen reservoir en het Alkmaar PGI veld is een Platten Dolomiet gasveld.

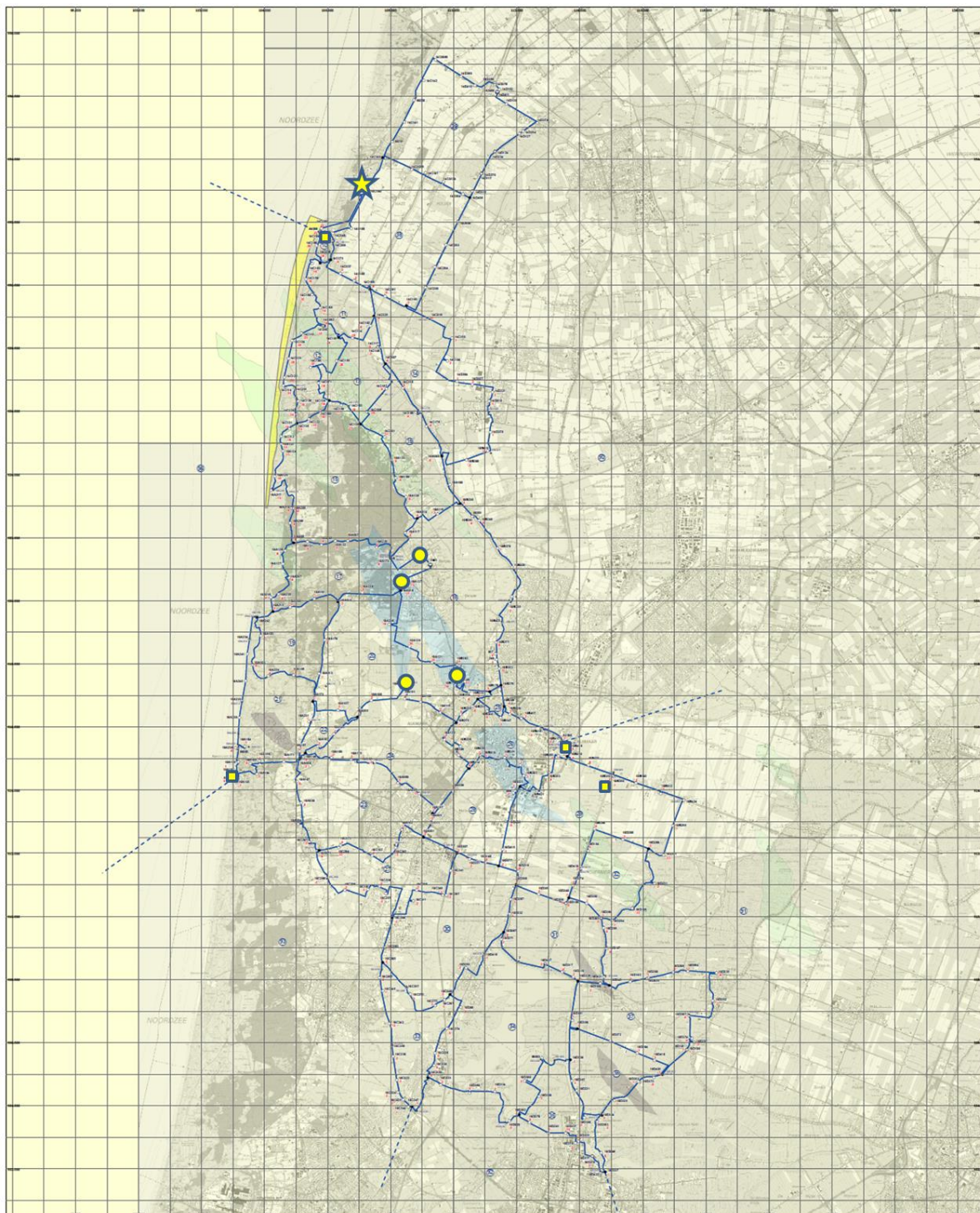
3 WATERPASSING EN GPS

De bodemdaling in de Bergen Winningsvergunning wordt elke vijf jaar gemeten door middel van een waterpassingsmeetcampagne. De bodemdaling wordt gemeten ten opzichte van een aansluitpunt (referentiepunt). Het aansluitpunt van het meetnet is in Figuur 2 aangegeven met een gele ster. Vanuit dit aansluitpunt worden de (NAP) peilmerken in kringen gemeten. In Nederland zijn er ongeveer 35.000 peilmerken aangebracht, deze zijn verankerd in huizen, bruggen en viaducten. De gemeten waterpastrajecten ook wel kringen genoemd zijn in blauw aangegeven in Figuur 2.

Er wordt in kringen gemeten zodat er gecontroleerd kan worden of de metingen goed worden verricht. Als de kring gesloten wordt moet het eerste peilmerk op dezelfde hoogte gemeten worden als tijdens de eerste meting. Er wordt van uitgegaan dat de peilmerken verankerd zijn aan stabiele objecten die goed gefundeerd zijn. Doordat ze goed verankerd zijn, zou autonome bodemdaling geen effect op de hoogte van deze peilmerken mogen hebben. Uit de bodemdalinganalyse die hierna volgt, blijkt dat er gebieden zijn waar de bodemdaling niet te correleren is aan gaswinning. Aannemelijk wordt gemaakt dat autonome bodemdaling hier de peilmerkhoogtes heeft beïnvloed.

Het is Rijkswaterstaat opgevallen dat veel peilmerken niet stabiel zijn [1]; daarom zijn er in Nederland 400 ondergrondse peilmerken aangebracht. In het meetnet van de Bergen Winningsvergunning (zie bijlage 1) zijn zeven van deze ondergrondse peilmerken aanwezig. Deze zijn aangebracht in de periode 1997-2016. Eén van deze ondergrondse peilmerken heeft data over meerdere waterpascampagnes.

Naast de waterpasmetingen zijn er in de Bergen Concessie vier GPS stations geplaatst die de bodemdaling continu meten (Figuur 2). Deze GPS stations zijn in 2013 als onderdeel van de realisatie van de Gasopslag Bergermeer geplaatst om de bodemdaling en -stijging van de Gasopslag Bergermeer te kunnen monitoren. In paragraaf 5.1.4 wordt hier dieper op ingegaan.



Figuur 2 Overzichtskaart waterpasmeting. De gele ster geeft het aansluitpunt aan, de vier gele cirkels geven de locaties van de GPS stations aan, de gele vierkantjes de ondergrondse peilmerken met data over meerdere waterpassingsmeetcampagnes en in het blauw de gemeten waterpastrajecten (kringen).[6]

3.1 Meetonzekerheid

93% van de peilmerken vallen in de hoogste stabiliteitsklasse[6]. De hoogste stabiliteitsklasse heeft een drift van ± 0.5 mm/jaar met een gemiddelde van 0.2 mm/jaar. Dit geeft aan dat er voor een peilmerk dat vanaf 1972 tot 2016 gemeten is er gemiddeld een drift van $(2016-1972)*0.2 = 8.8$ mm is opgetreden.

Elk peilmerk heeft een meetruis die afhankelijk is van de afstand van het peilmerk tot het aansluitpunt, gegeven door $Em = 1 * \sqrt{L}$ met L= lengte in kilometer. Ter vereenvoudiging gaan we er vanuit dat de afstand 10 km is voor elke peilmerker. Dit levert een meetruis op van 3.2 mm.

De meetonzekerheid komt neer op de wortel van de kwadraten van de drift en de meetruis:
 $meetonzekerheid = \sqrt{Ed^2 + Em^2}$.

De meetonzekerheid van de GPS stations is 0.5 cm [7].

4 METHODE

Het bodemdalingsmodel is gebaseerd op de 'Geertsema en Opstal Regide Basement' methode [4]. Het achterliggende MATLAB script is ontwikkeld door TNO [2]. Dit script is door TAQA aangepast zodat het script de bodemdaling kan modelleren voor verschillende velden (productie en opslag) tegelijk. Door gebruik te maken van verschillende inputparameters (zie paragraaf 4.1) in het model wordt de reservoircompactie en -expansie vertaald naar bodembeweging aan de oppervlakte.

Door het model de bodemdaling te laten modelleren voor de jaren dat er waterpascampagnes werden uitgevoerd, kan de gemodelleerde bodemdaling van het model vergeleken worden met de gemeten bodemdaling. Door de inputparameters aan te passen - tussen gangbare waarden - kan het model gekalibreerd worden. Met een gekalibreerd model kan de totale bodemdaling geprognoseerd worden.

4.1 Inputparameters

Hieronder volgt een uitleg van de verschillende parameters die in het model gebruikt zijn. In Tabel 1 zijn de input parameters voor de beste match weergegeven.

Gasveld	Reservoir Eenheid	Diepte ligging veld (m)	Dikte reservoir (m)	Compactie Coëfficiënt (bar ⁻¹)	Regide Basement Factor	Poisson	Einddruk (bar)	Minimale druk opslag (bar)
Alkmaar	Platten	1966	45	$3.5 \cdot 10^{-6}$	1.7	0.25	10	170
Bergen Slochteren	Slochteren	2075	216	$5.7 \cdot 10^{-6}$	1.5	0.18	10	-
Bergen Bunter	Bunter	1422	22	$3.5 \cdot 10^{-6}$	1.9	0.25	10	-
Bergermeer	Slochteren	2172	216	$5.3 \cdot 10^{-6}$	1.5	0.18	10	77
Boekel	Bunter	1569	22	$3.5 \cdot 10^{-6}$	1.9	0.25	23	-
Groet	Slochteren	2156	216	$6.3 \cdot 10^{-6}$	1.5	0.18	10	-
Groet Oost	Slochteren	2242	216	$6.5 \cdot 10^{-6}$	1.5	0.18	90	-
Schermer Platten	Platten	2125	45	$3.5 \cdot 10^{-6}$	1.7	0.25	60	-
Schermer Slochteren	Slochteren	2375	216	$6.5 \cdot 10^{-6}$	1.05	0.18	57	-
Starnmeer	Platten	1993	45	$3.5 \cdot 10^{-6}$	1.7	0.25	138	-
Zuid Schermer	Platten	2115	45	$3.5 \cdot 10^{-6}$	1.7	0.25	155	-
West Beemster	Slochteren	2172	216	$6.5 \cdot 10^{-6}$	1.5	0.18	10	-

Tabel 1 Overzicht van inputparameters.

4.1.1 Veldcontouren

In het model worden de coördinaten van elk veld ingevoerd. De ruimtelijke afmeting van de velden is gebaseerd op de nieuwste seismische interpretatie, uitgevoerd op de hergeproduceerde seismiek uit 2011. Veel velden worden begrensd door breuken. De locatie onnauwkeurigheid van het deze breuken is ongeveer 100 m. Naast drukafname in de velden zorgt drukafname in de aquifer ook voor compactie¹. Uit drukdata blijkt dat Bergermeer en Groet-Oost een aquifer hebben waarin ook drukdaling plaatsvindt. Deze aquifers zijn opgenomen in het model.

4.1.2 Diepteligging veld

Voor elk veld is de gemiddelde top reservoir diepte meegenomen als inputparameter. Deze parameter is niet gebruikt om het model te kalibreren

¹ Een aquifer is het gedeelte van het reservoir waar geen gas in zit, maar water.

4.1.3 Dikte reservoir

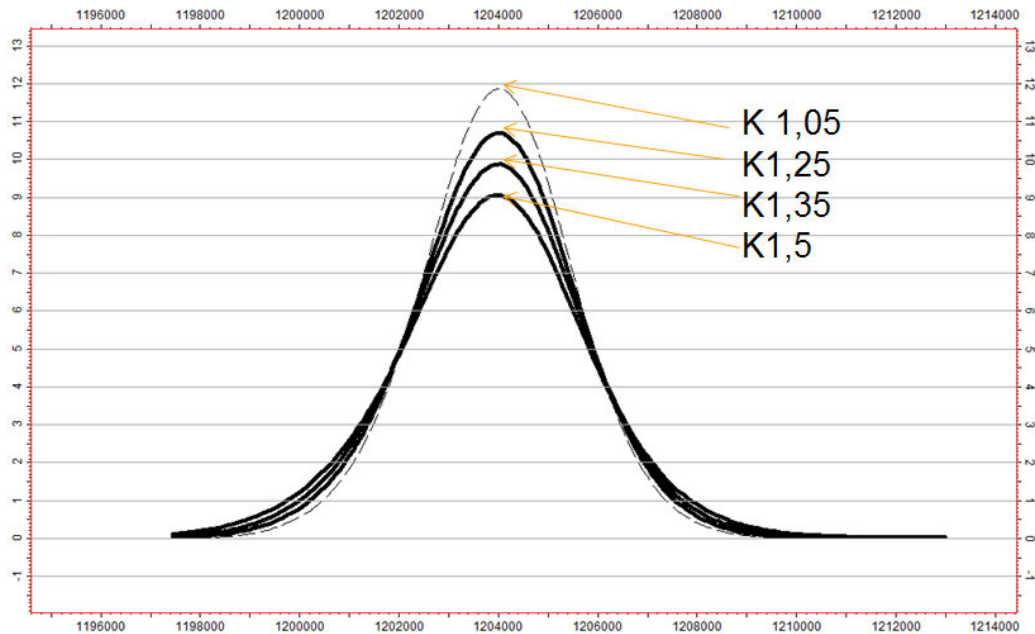
De diktes van de reservoirs zijn goed bekend in de Bergen Winningsvergunning voor de verschillende reservoirseenheden. Deze parameters zijn niet gebruikt om het model te kalibreren.

4.1.4 Compactiecoëfficiënt

De compactiecoëfficiënt geeft aan hoeveel compactie er optreedt bij één bar drukafname. Het is gebleken dat de bodemdaling niet te kalibreren is met eenzelfde compactiecoëfficiënt voor elk veld. In de Bergen Winningsvergunning wordt/werd gewonnen uit verschillende reservoirseenheden, namelijk: de Bunter Zandsteen, de Platten Dolomiet en de Slochteren Zandsteen. Deze reservoirseenheden hebben andere eigenschappen voor porositeit, stijfheid, permeabiliteit en net/gross. Doordat ze verschillende eigenschappen hebben, hebben de verschillende reservoirseenheden ook een verschillende compactiecoëfficiënt. Zo is de Platten Dolomiet veel stijver dan de Slochteren Zandsteen. Niet alleen is er een verschil in eigenschappen tussen de verschillende reservoirseenheden, er is ook een verschil in reservoirseigenschappen tussen velden bestaand uit dezelfde reservoirseenheid. Dit heeft tot gevolg dat elk veld een specifieke compactiecoëfficiënt heeft.

4.1.5 Rigide basement factor

Het rigide basement is een aangenomen niet-deformeerbare onderlaag, die in de Bergen Winningsvergunning op een diepte van 3 tot 4 km ligt. Door de diepte in het model aan te passen verandert de vorm van de dalingskom. Het rigide basement wordt aangeduid met de factor K. Door deze factor met de reservoirdiepte te vermenigvuldigen wordt de afstand tot de rigide basement berekend. Figuur 3 laat zien wat de invloed van de rigide basement factor op de komvorm is: hoe hoger deze waarde is, hoe breder de dalingskom wordt. Door deze parameter aan te passen kan het model gekalibreerd worden met de gemeten bodemdaling.



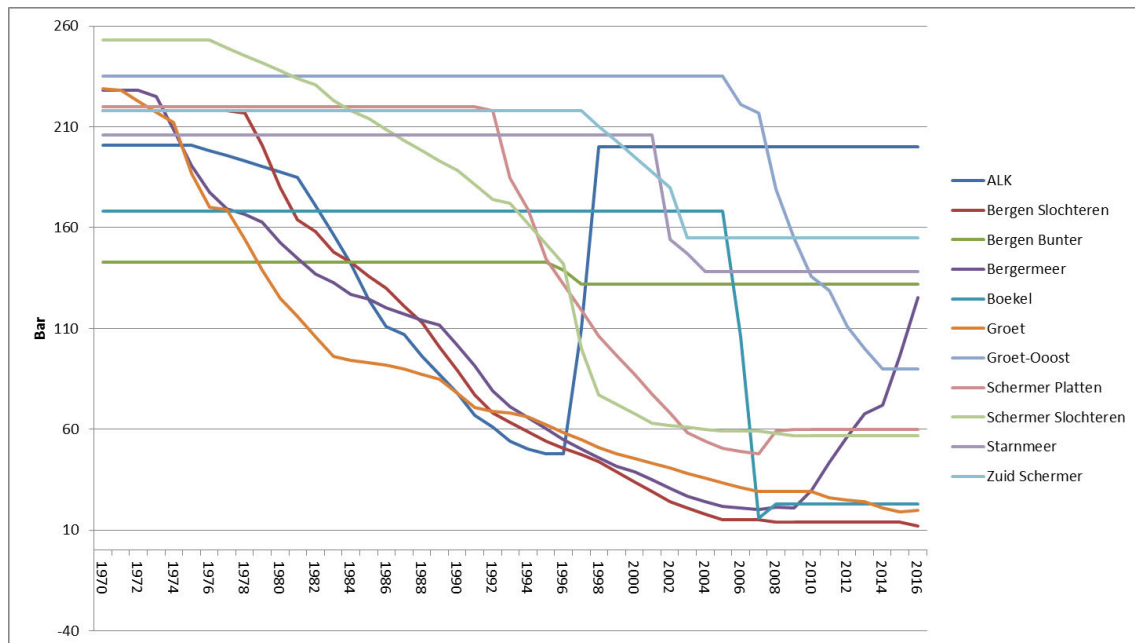
Figuur 3 Invloed van de K factor op de bodemdalingskom. Bodemdaling is in dit figuur aangegeven met een positieve waarde.

4.1.6 Poisson's ratio

Poisson's ratio ν beschrijft hoe een materiaal reageert op trek- of drukbelasting. In het geval van drukafname in het reservoir zal de verticale drukbelasting op het reservoir toenemen, wat resulteert in contractie van het reservoir in de verticale richting. Het reservoir heeft hierdoor de neiging om in horizontale richting uit te zetten. De Poisson's ratio is in dit geval de ratio van de horizontale uitzetting over de verticale contractie van het reservoir. Voor de Slochteren Zandsteen is de Poisson's ratio bepaald met gesteentemechanische proeven op 0.18 en voor de Platten Dolomiet is deze bepaald op 0.25. Voor de Bunter eenheid zijn er geen gesteentemechanische proeven beschikbaar en is er een poisson ratio aangenomen van 0.25.

4.1.7 Gemiddelde reservoir druk

TAQA heeft een database ter beschikking met alle gemiddelde reservoirdrukken van elk veld over tijd. Figuur 4 laat het drukverloop sinds 1970 zien voor elk veld.



Figuur 4 Gemiddelde reservoir drukverloop over tijd voor elk veld.

5 MODELKALIBRATIE

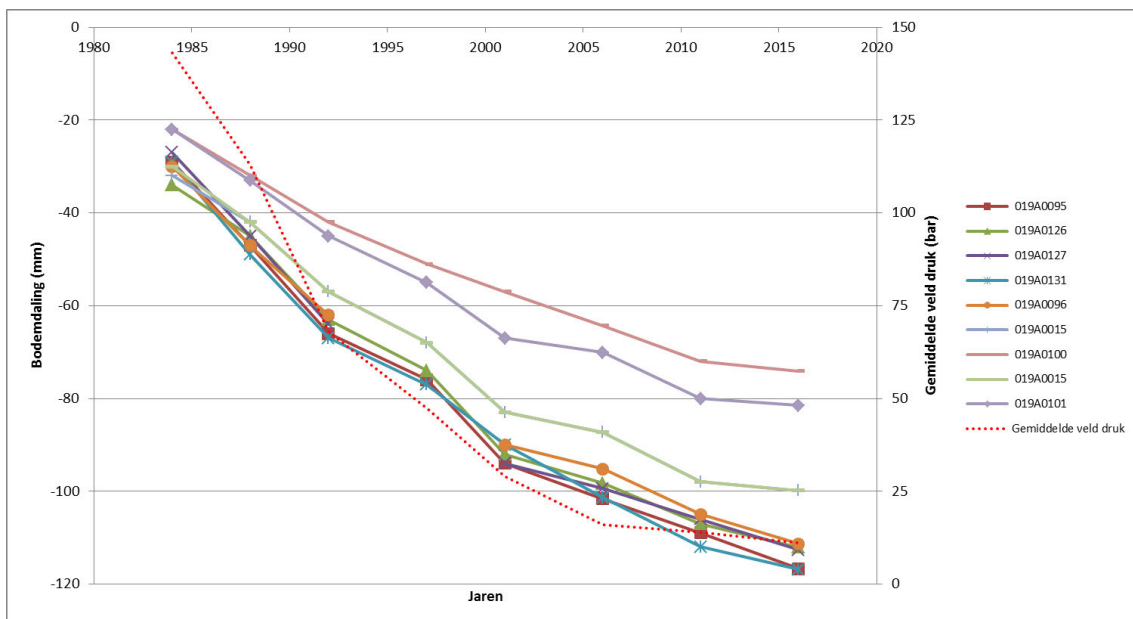
In dit hoofdstuk volgen de resultaten van de bodemdalinganalyse en modellering. Vanwege het iteratieve karakter van de kalibratie van het model zijn in dit hoofdstuk tevens de achtergronden beschreven bij de totstandkoming van de prognose.

5.1 Tijdsafhankelijke bodembeweging

De velden Groet, Bergen en Bergermeer laten bodemdaling zien, die niet gecorreleerd kan worden met drukdaling voor de waterpassingsmeetcampagnes uit 2011 en 2016.

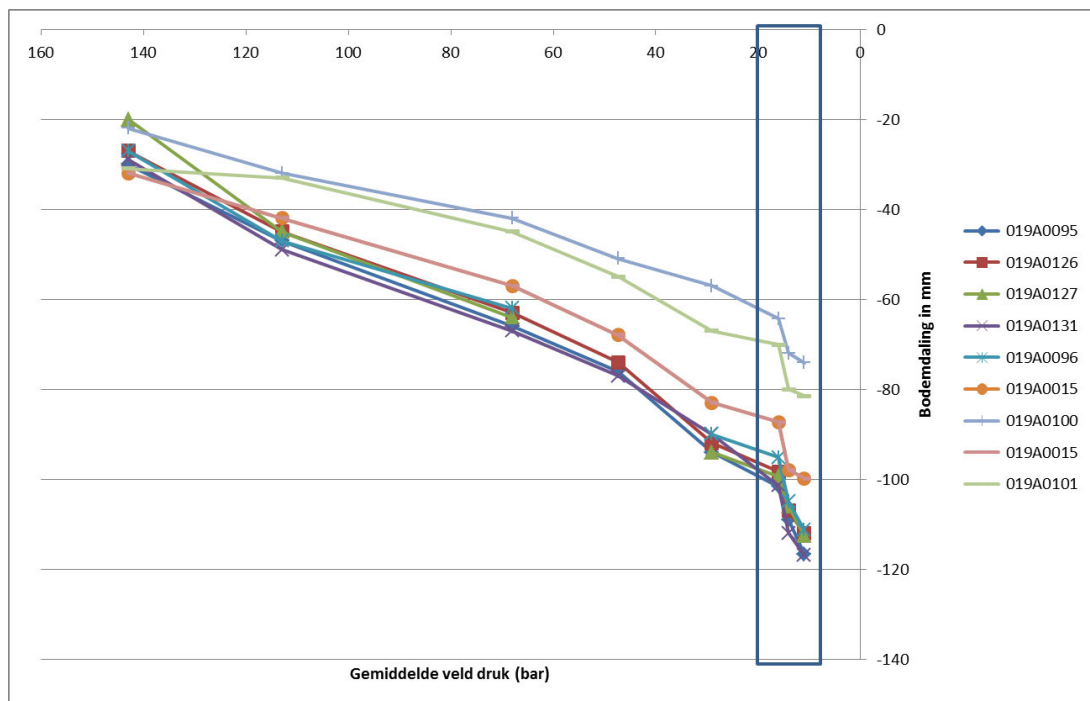
In de volgende paragrafen wordt dit fenomeen geanalyseerd.

5.1.1 Bergen

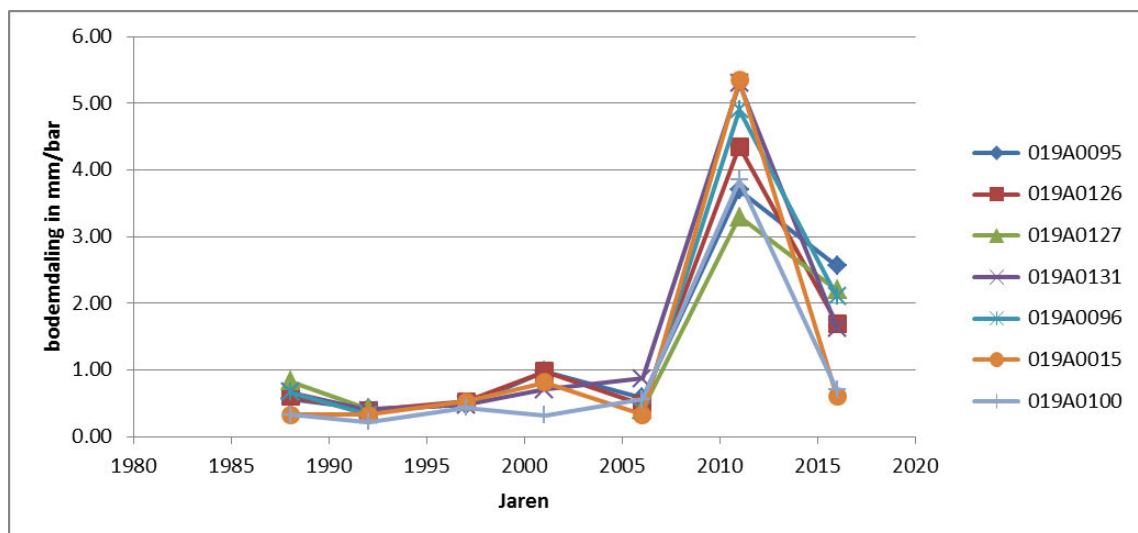


Figuur 5 Bodemdaling boven het Bergen gasveld in doorgetrokken lijnen en de gemiddelde reservoir druk een in stippellijn.

Figuur 5 laat de gemeten bodemdaling boven het Bergen gasveld en de gemiddelde velddruk over tijd zien. Het figuur laat duidelijk een afname van de bodemdaling in de laatste 10 jaar zien. Op het eerste oog lijkt de gemeten bodemdaling goed te correleren met de afname van de gemiddelde reservoirdruk. Echter als de bodemdaling tegen de velddruk geplot wordt (Figuur 6), valt meteen op dat de bodemdaling na 2011 (blauwe kader) per bar juist is toegenomen.



Figuur 6 Gemiddelde velddruk en bodemdaling voor verschillende peilmerken boven en nabij het Bergen gasveld.

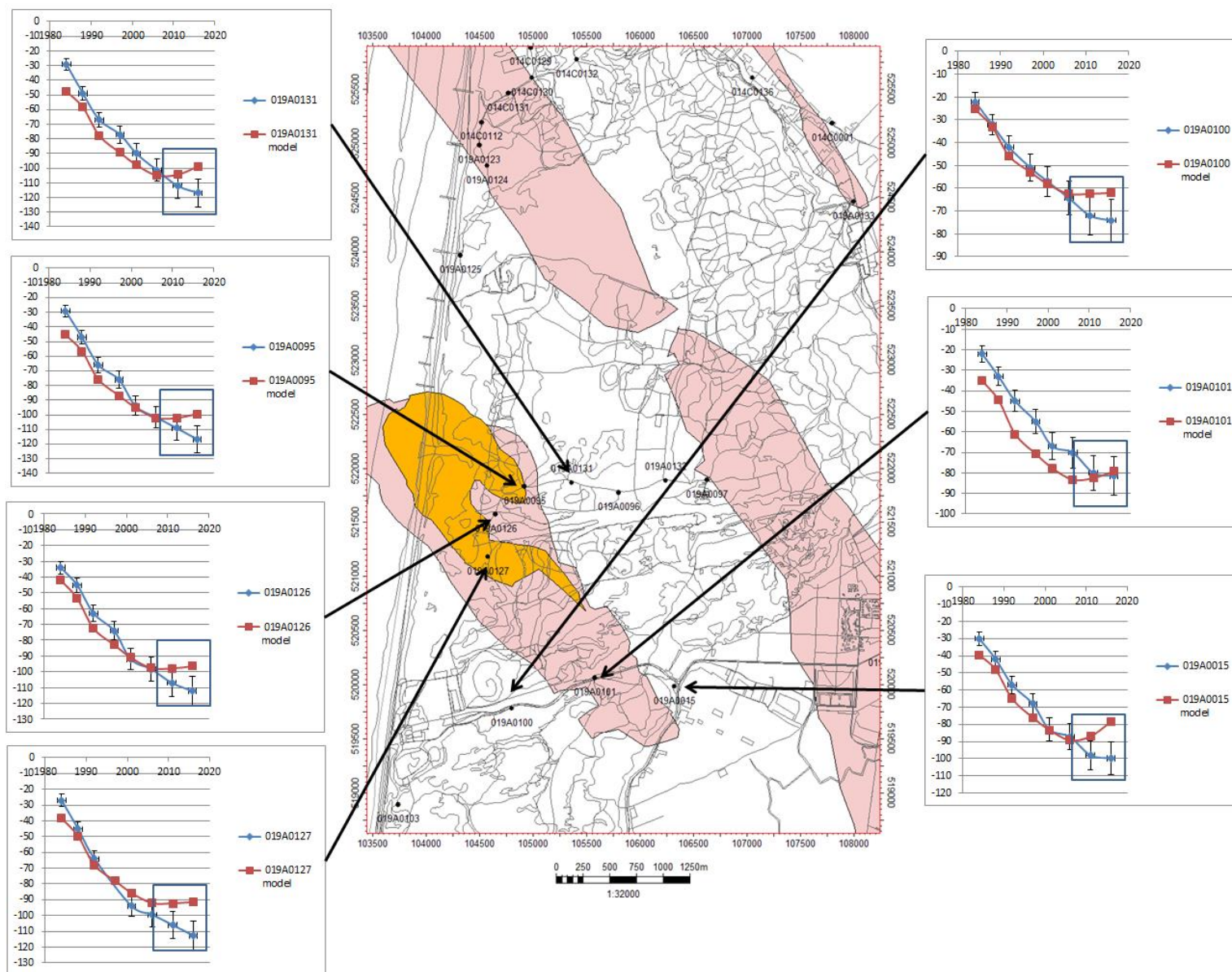


Figuur 7 Bodemdaling in mm/bar over tijd.

Figuur 7 laat de bodemdalingssnelheid per bar zien. Voor 2011 is de bodemdalingssnelheid per bar constant. In de periode 2006-2011 is de bodemdalingssnelheid per bar toegenomen waarna in de periode 2011-2016 de snelheden weer significant afnemen.

In de periode 2006-2016 is de productiesnelheid van het Bergen gasveld afgenomen. Over deze periode van 10 jaar is de druk in het veld met slechts 5 bar gedaald (0.5 bar/jaar). In de voorgaande periode van 9 jaar lag de productiesnelheid hoger, namelijk op 3.4 bar/jaar. Na het significant verlagen van de productiesnelheid heeft de bodemdaling in de periode 2006-2016 doorgezet.

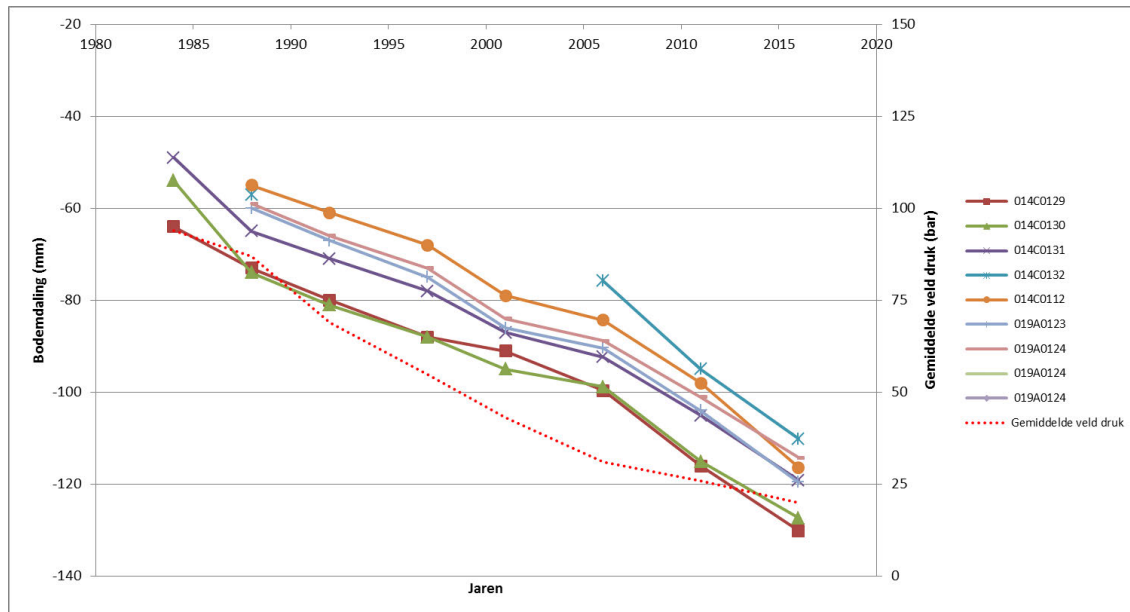
Als er met dit effect geen rekening gehouden wordt zal het bodemdalingsmodel de bodemdaling onderschatten. Figuur 8 laat de modeluitkomsten en gemeten bodemdaling zien voor een aantal peilmerken in de nabijheid van het Bergen gasveld. In dit model is geen rekening gehouden met het effect dat hierboven is beschreven. Duidelijk is te zien dat tot 2011 de gemodelleerde bodemdaling in lijn is met de gemeten bodemdaling, hierna onderschat het model de bodemdaling.



Figuur 8 Kaartbeeld van het Bergen gasveld, Bergermeer gasveld en Groet gasveld. De grafieken laten de gemeten bodemdaling in blauw zien en in rood de gemodelleerde bodemdaling. Voor de gemeten bodemdaling zijn error bars toegevoegd die de totale meetonzekerheid van de waterpassing aangeven.

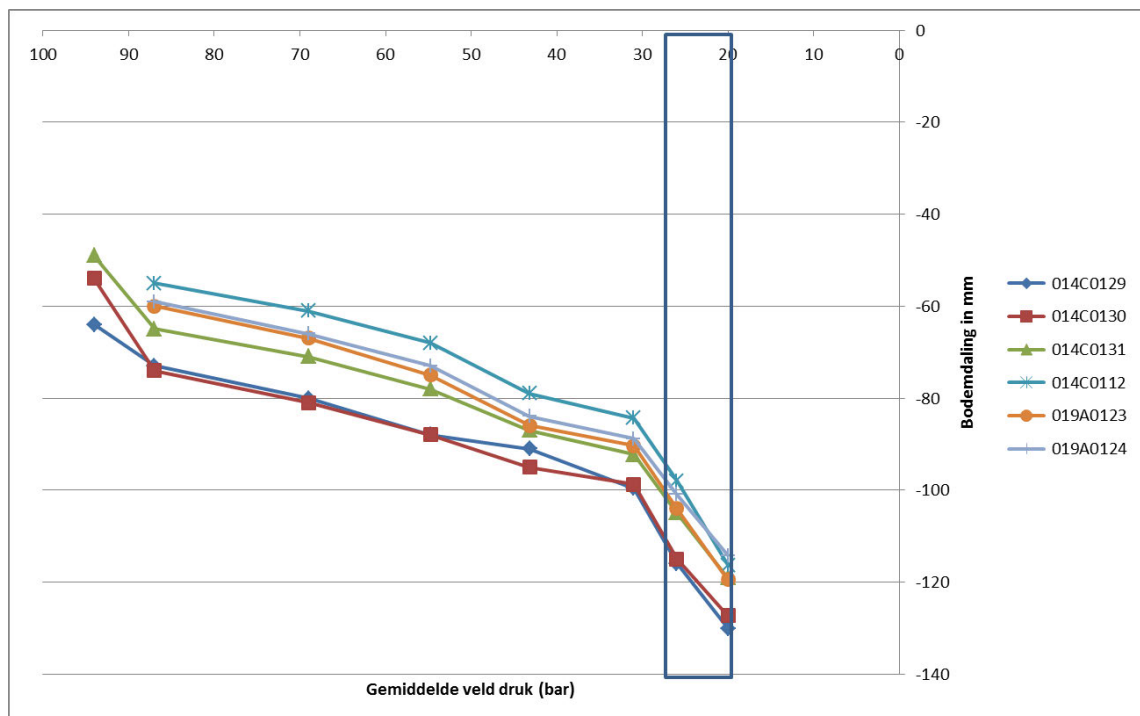
5.1.2 Groet

Het Groet gasveld laat nagenoeg hetzelfde effect zien als het Bergen gasveld. De bodemdaling zet door tussen 2006 en 2011, waarna de bodemdalingssnelheid weer afneemt.

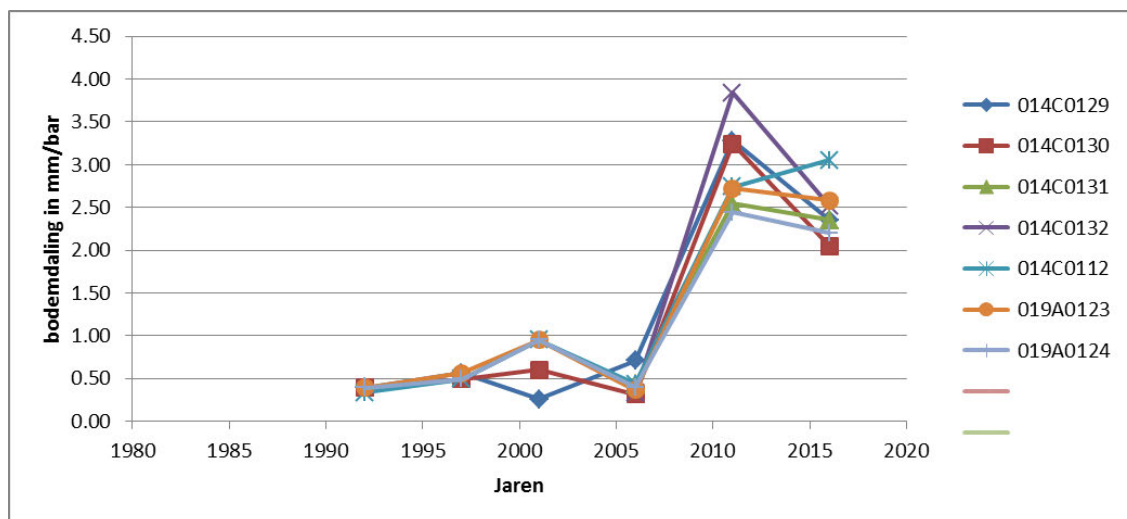


Figuur 9 Bodemdaling boven het Groet gasveld in doorgetrokken lijnen en de gemiddelde reservoir in stippellijn

Figuur 9 laat de gemeten bodemdaling boven het Groet veld en de gemiddelde velddruk over tijd zien. Net als bij het Groet gasveld lijkt op het eerste oog de gemeten bodemdaling goed te correleren met de afname van de gemiddelde reservoirdruk. Echter als de bodemdaling tegen de gemiddelde reservoirdruk geplot wordt (Figuur 10), valt meteen op dat de bodemdaling na 2011(blauwe kader) is toegenomen per bar.



Figuur 10 Gemiddelde velddruk en bodemdaling voor verschillende peilmerken boven en nabij het Groet gasveld.

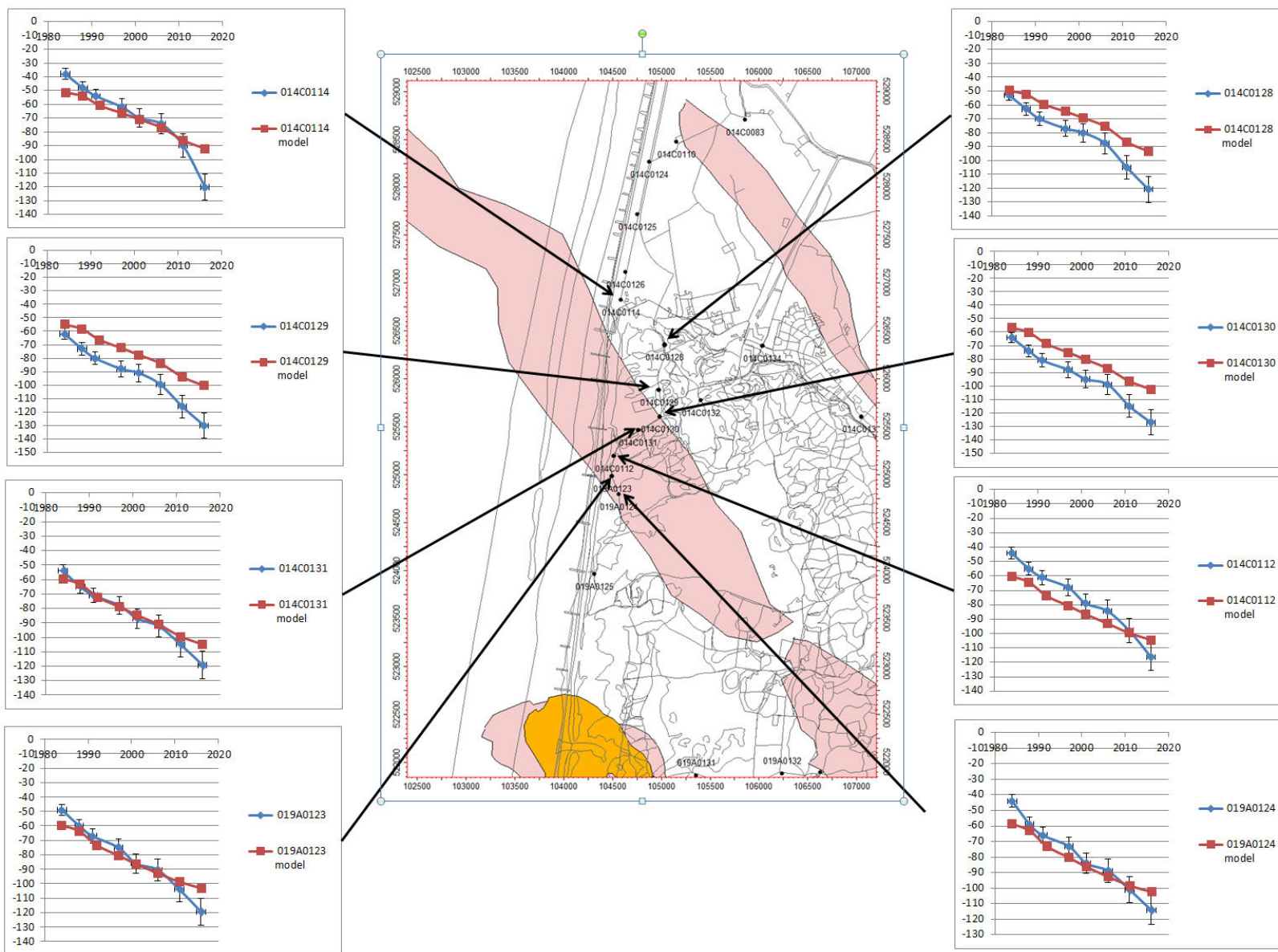


Figuur 11 Bodemdaling in mm/bar over tijd.

Figuur 11 laat de bodemdalingssnelheid per bar zien (mm/bar). Voor 2011 is de bodemdalingssnelheid per bar constant. Net als boven het Groet gasveld is in de periode 2006-2011 de bodemdalingssnelheid per bar toegenomen waarna in de periode 2011-2016 de snelheden weer significant afnemen.

In de periode 2006-2016 is de productiesnelheid van het Groet gasveld afgenomen. Over deze periode van 10 jaar is de druk in het veld met slechts 11 bar gedaald (1 bar/jaar). In de voorgaande periode van 9 jaar lag de productiesnelheid hoger, namelijk op 2.7 bar/jaar. Na het significant verlagen van de productiesnelheid heeft de bodemdaling in de periode 2006-2016 doorgezet.

Figuur 12 laat de modeluitkomsten en gemeten bodemdaling zien voor een aantal peilmerken in de nabijheid van het Groet gasveld. In dit model is geen rekening gehouden met het effect dat hierboven is beschreven. Duidelijk is te zien dat tot 2011 de gemodelleerde bodemdaling in lijn is met de gemeten bodemdaling, hierna onderschat het model de bodemdaling.

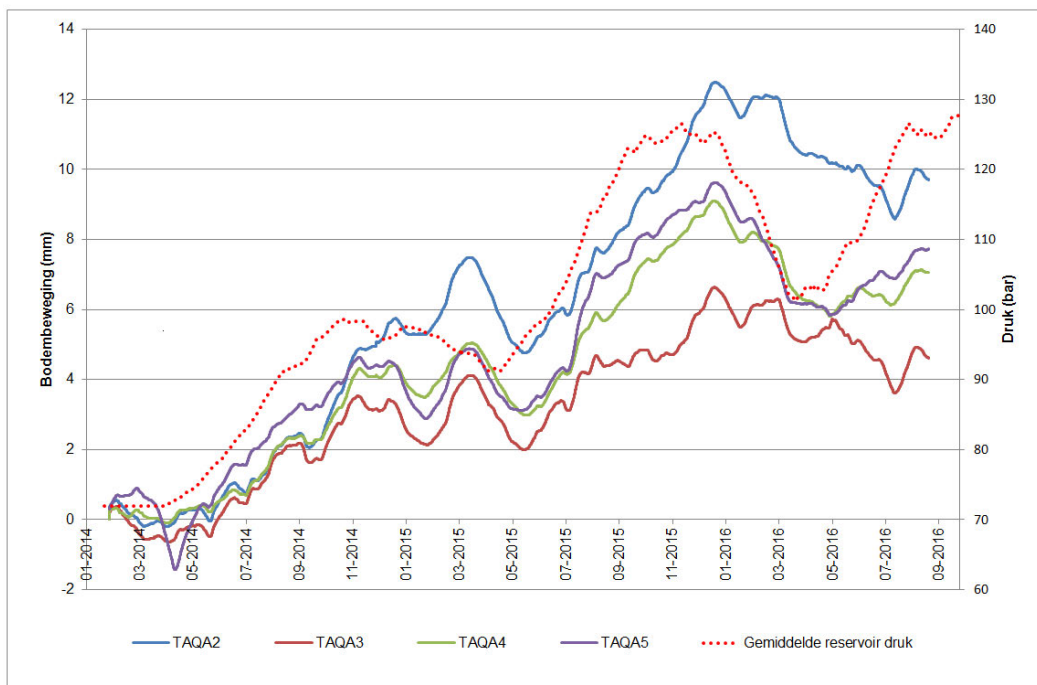


Figuur 12 Kaartbeeld van het Groet gasveld, Bergermeer gasveld, Bergen gasveld en Groet-Oost gasveld. De grafieken laten de gemeten bodemdaling in blauw zien en in rood de gemodelleerde bodemdaling. Voor de gemeten bodemdaling zijn error bars toegevoegd die de totale onzekerheid van de waterpassing aangeven.

5.1.3 Bergermeer

De bodemdaling boven het Bergermeer veld is tot 2006 goed te correleren met de gemiddelde reservoirdruk. Om het gasveld klaar te maken voor gasopslag, is in 2007 doormiddel van gasinjectie in het reservoir begonnen met het opvoeren van de reservoirdruk. In de periode 2006- 2011 is er een kleine bodemstijging direct boven het Bergermeer veld gemeten. Deze gemeten bodemstijging is minder dan de gemodelleerde bodemstijging die gepaard gaat met de drukstijging in het reservoir. Dit is nagenoeg hetzelfde effect dat boven het Groet en Bergen Gasveld wordt waargenomen, de bodemdaling heeft na het significant verlagen van de productiesnelheid doorgezet.

Naast het verschijnsel dat de bodemdaling in de periode 2006-2011 na het verlagen van de productiesnelheid heeft doorgezet, laten de GPS bodembewegingsmetingen zien dat er een geringe bodembeweging plaatsvindt boven het Bergermeer gasveld. De bodembeweging is, met een vertraging van ± 3 maanden, goed te correleren met het drukverloop in het Bergermeer gasveld. Wel is het zo dat de bodembeweging per bar twee keer kleiner is dan tijdens de productiefase van het Bergermeer gasveld. Met andere woorden, de bodemstijging per bar druktoename is gehalveerd en de bodemdaling per bar drukafname is gehalveerd tijdens de opslagfase.



Figuur 13 De doorlopende lijnen laten de gemeten bodemdaling van de vier GPS stations zien en de stippellijn laat de gemiddelde reservoirdruk van het Bergmeer gasveld zien.

5.1.4 Discussie tijdsafhankelijke bodembeweging

Na het afnemen van de productiesnelheid van de gasvelden Bergen, Groet en Bergermeer wordt er een bodemdaling waargenomen die niet gecorreleerd kan worden aan de drukafname in het reservoir. Deze velden bestaan alle uit de Slochteren Zandsteen. In de Bergen Winningsvergunning zijn er nog twee Slochteren Zandsteen reservoirs geproduceerd, het Schermer gasveld en het Groet-Oost gasveld. In beide velden wordt geen significante productie meer verwacht. Het Schermer gasveld laat geen bodemdaling zien nadat de productie uit het gasveld sinds 2001 drastisch is verlaagd. Het veld is van 230 bar tot 60 bar gedepleteerd, de drukdaling is dus beperkt in vergelijking met de gasvelden Bergen, Bergermeer en Groet. Daarnaast is het zo dat het Schermer gasveld een stuk kleiner is dan de gasvelden Bergen, Groet en Bergermeer.

Het Groet-Oost gasveld is pas recent gestopt met produceren. Daarom kan op dit moment nog niet bepaald worden of de bodemdaling na het beëindigen van de productie doorzet. De druk in het Groet-Oost veld is net zoals in het Schermer gasveld maar beperkt afgenomen (van 235 bar naar 90 bar).

Boven de andere gasvelden bestaande uit Bunter Zandsteen en Platten Dolomiet reservoir wordt geen bodemdaling gemeten die gecorreleerd kan worden met gaswinning. Hier wordt dus ook geen additionele bodemdaling waargenomen.

Er zijn in de Bergen Winningsvergunning verschillende verklaringen voor het doorzetten van de bodemdaling, waarvan er twee aannemelijk zijn.

Zoutkruip

Boven de Rotliegend gasvelden in de Bergen Winningsvergunning bevindt zich een zoutlaag. Onder hoge druk en hoge temperaturen gedraagt zout zich als een zeer stroperige vloeistof. De compactie van het reservoir zou zoutvloeï kunnen initialiseren wat een effect kan hebben op de bodemdalingskom. Zoutkruip zal er voor zorgen dat de bodemdalingskom zich dieper en smaller manifesteert. Dit effect lijkt uitgesloten omdat de bodemdalingskommen van de gasvelden Groet, Bergen en Bergermeer zeer breed zijn (er wordt een K van 1.5 aangenomen).

Compactiekruip

Resultaten van gesteentemechanische testen wijzen uit dat na het stopzetten van de drukverlaging compactie kan doorzetten [9]. De additionele compactie na het beëindigen van drukverlaging is ongeveer 20% van de compactie die tijdens drukdaling optreedt. Dit effect noemt men compactiekruip en vormt een aannemelijke verklaring voor het doorzetten van de bodemdaling boven de Gasvelden Groet, Bergen en Bergermeer na het verlagen

van de productiesnelheden. Boven het Schermer gasveld is de bodemdaling niet doorgezet na het stopzetten van de productie. Een verklaring hiervoor wordt gevonden in het feit dat de drukafname en de resulterende verticale spanning toename niet hoog genoeg zijn geworden om compactiekruij in gang te zetten. Dit zou betekenen dat compactiekruij in het Groet-Oost veld geen rol zal gaan spelen.

Tijdsafhankelijke drukdaling in de aquifers

Mogelijkerwijs zitten er kleine hoeveelheden gas in de aquifer. Deze gasbelletjes in de poriën van het reservoirgesteente zijn niet met elkaar verbonden, waardoor ze in eerste instantie niet zullen stromen (zogenaamde “relatieve permeabiliteit”). Indien de druk in de aquifer afneemt, als gevolg van gasproductie uit het gasveld, zullen deze gasbelletjes in het water uitzetten. Hierdoor blokkeren ze steeds grotere poriën, zodat het water geblokkeerd wordt en daardoor ook niet zal stromen. Pas als de druk in het gasveld en daarmee de druk in de aquifer verder afnemen, zullen de gasbelletjes dusdanig veel expanderen, dat ze met elkaar verbonden worden en mobiel zullen worden. (Vergelijk dit met regendruppels op een raam: kleine druppels zullen niet omlaag zakken. Pas als meerder kleinere druppels samengevoegd worden, zal de druppel omlaag bewegen.)

Vanaf dat moment zal ook het water weer langzaam kunnen beginnen met stromen. Hierdoor treedt een vertragend effect op in de aquifer. Het is niet uitgesloten dat dit effect een rol speelt in de bodemdaling die optreedt na het beëindigen of reduceren van de gasproductie.

5.1.5 Tijdsafhankelijke bodembeweging modelleren

Boven het Groet en Bergen gasveld is in de periode 2006-2011 de bodemdalingssnelheid per bar toegenomen, waarna in de periode 2011-2016 de snelheden weer significant afnamen. Doordat de bodemdalingssnelheid per bar afneemt, neemt ook het tijdsafhankelijke effect af. Het model kan voor het tijdsafhankelijke effect gekalibreerd worden door fictief de druk in het veld verder te verlagen. In Tabel 2 is een overzicht gegeven van de additionele drukafname om het tijdsafhankelijke effect te modelleren. De tijdsafhankelijke bodemdaling is ook meegenomen in de bodemdalingsprognose. Voor de prognose is aangenomen dat de tijdsafhankelijke bodemdaling 20% bedraagt van de niet tijdsafhankelijke bodemdaling. Dit komt neer op 20% additionele drukdaling in de gasvelden Groet, Bergen en Bergermeer minus de additionele drukdaling die in de jaren 2011 en 2016 al is gemodelleerd. 20% additionele bodemdaling als gevolg van tijdsafhankelijke bodemdaling moet gezien worden als een “worst case” scenario, er wordt immers al een afname gemeten in de tijdsafhankelijke bodembeweging. Voor het West-Beemster gasveld

dat door de NAM geopereerd wordt en deels in het gebied van de Bergen Winningsvergunning ligt, wordt in de bodemdalingsprognose ook rekening gehouden met 20% additionele tijdsafhankelijke bodemdaling.

Gasveld	Additionele druk daling 2011 (bar)	Additionele druk 2016 (bar)	Additionele drukdaling na beëindiging productie of opslag (bar)
Groet	15	6	23
Bergen	15	13	14
Bergermeer	15	0	29
West-Beemster			40

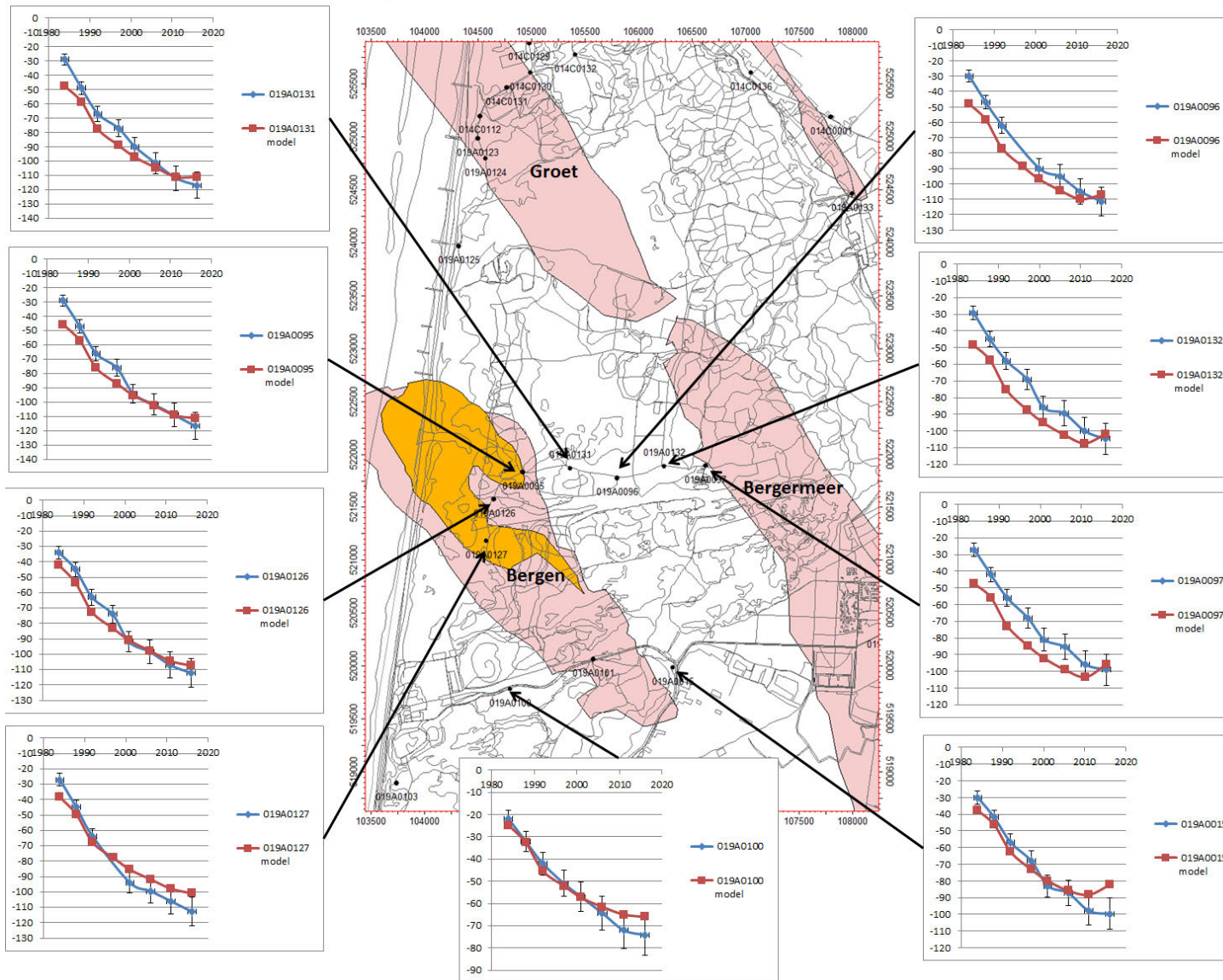
Tabel 2 overzicht van inputparameters om tijdsafhankelijk bodembeweging te modelleren.

Uit zowel de GPS bodemwegingsmetingen en de waterpassingsmeetcampagnes blijkt dat het Bergermeer gasveld tijdens het verhogen (injectie) van de reservoirdruk binnen de opslagcyclus minder bodembeweging teweeg brengt dan tijdens de depletiefase. Het reservoir lijkt zich stijver te gedragen dan tijdens de depletiefase. Dit effect wordt in het model gemodelleerd door de compactiecoëfficiënt -of in het geval van drukstijging de expansiecoëfficiënt- te halveren.

5.2 Resultaten bodembewegingsmodellering

Er is voor gekozen om de resultaten van de bodembewegingsmodellering voor elk veld dat bodembeweging vertoont, te tonen in een kaartbeeld. Dit kaartbeeld laat naast de velden ook de gemeten en gemodelleerde bodembeweging voor een aantal peilmerken zien. Zo kan goed het verschil tussen het model en de gemeten waarden geëvalueerd worden.

Bergen

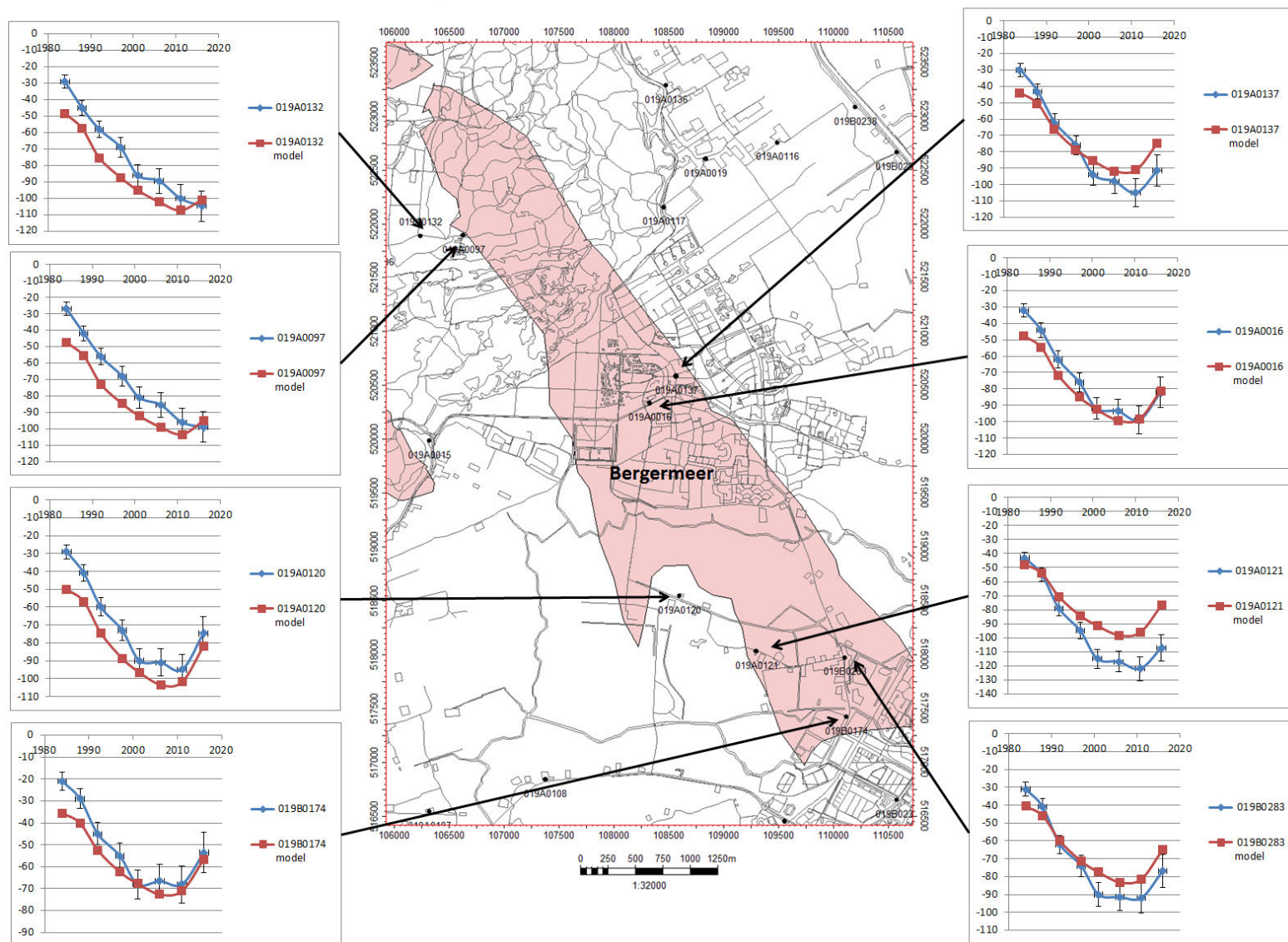


De bodemdaling in dit gebied wordt veroorzaakt door drie dalingskommen, die van het Bergen gasveld, het Groet gasveld en het Bergermeer (opslag) gasveld.

Na 2006 is sprake van tijdsafhankelijke bodemdaling. Voor uitleg, zie paragraaf 5.1.5.

Figuur 14 Kaartbeeld van de omgeving van het Bergen gasveld. De grafieken geven de gemeten bodembeweging in blauwe lijnen aan en de gemodelleerde bodemdaling in rode lijnen.

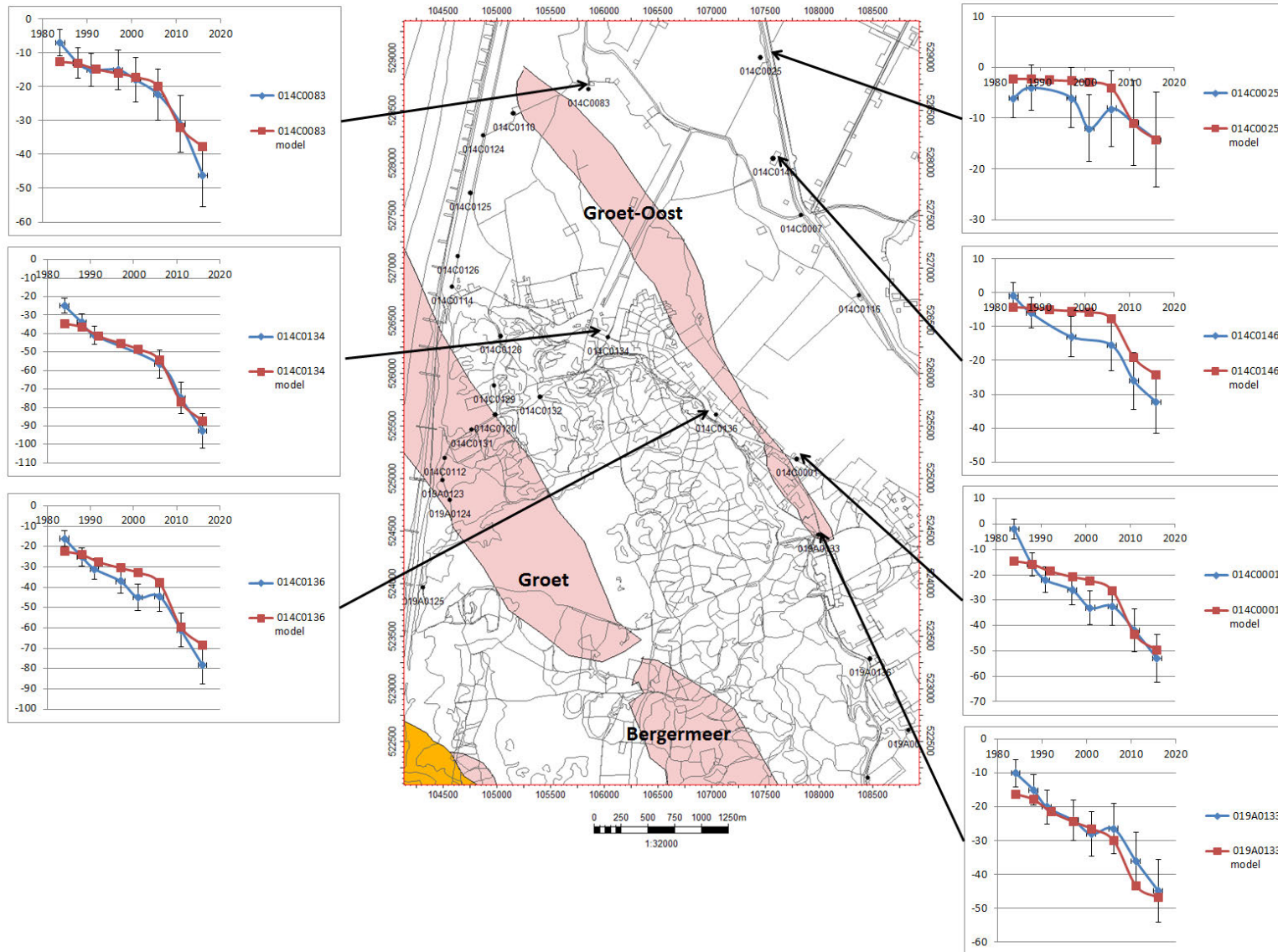
Bergermeer



De bodemdaling is tot 2006 goed te correleren met de drukdaling van het Bergermeer gasveld. In de periode 2006-2011 heeft de bodemdaling doorgezet (zie paragraaf 5.1.5), waarna bodemstijging in gang is gezet door de drukverhoging van het Bergermeer gasveld. Peilmerk 19A0121 is het enige peilmerk dat geen goede match vertoont. Gezien de consistentie in het beeld met de voor de overige peilmerker geobserveerde (verklaring voor) bodemdaling wordt aannemelijk geacht dat dit specifieke peilmerk een foutieve meting laat zien.

Figuur 15 Kaartbeeld van de omgeving van het Bergermeer gasveld. De grafieken geven de gemeten bodembeweging in blauwe lijnen aan en de gemodelleerde bodemdaling in rode lijnen.

Groet-Oost



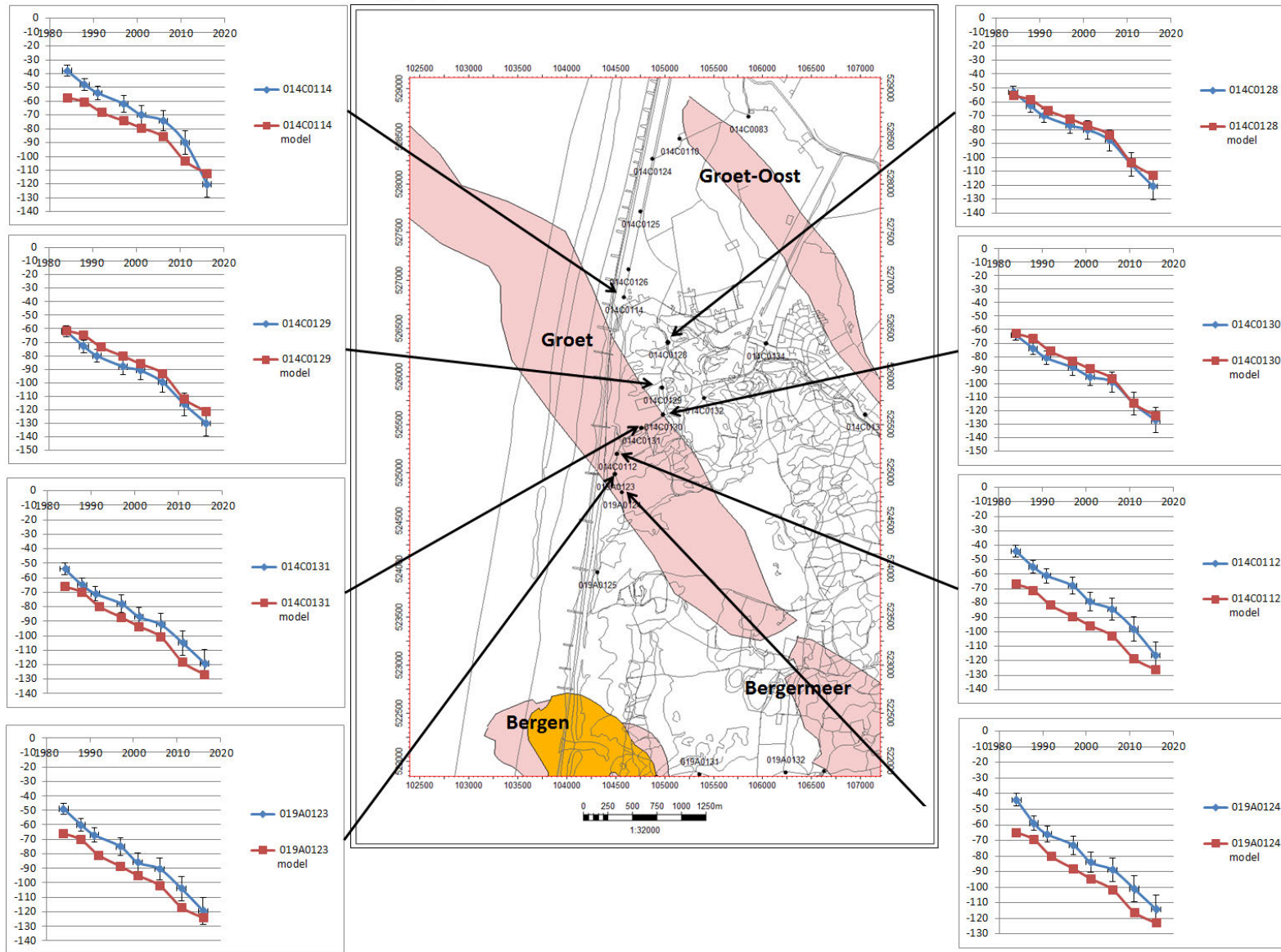
De bodemdaling in dit gebied wordt veroorzaakt door twee dalingskommen, die van het Groet gasveld en die van het Groet-Oost gasveld.

De bodemdaling tot 2006 wordt veroorzaakt door drukafname van het Groet gasveld.

Het Groet-Oost veld is sinds 2005 in productie genomen. Dit is goed terug te zien in de versnelde bodemdaling gemeten in de waterpasmeetcampagnes van 2011 en 2016. Het veld is uit productie genomen in 2015.

Figuur 16 Kaartbeeld van de omgeving van het Groet-Oost gasveld. De grafieken geven de gemeten bodembeweging in blauwe lijnen aan en de gemodelleerde bodemdaling in rode lijnen.

Groet



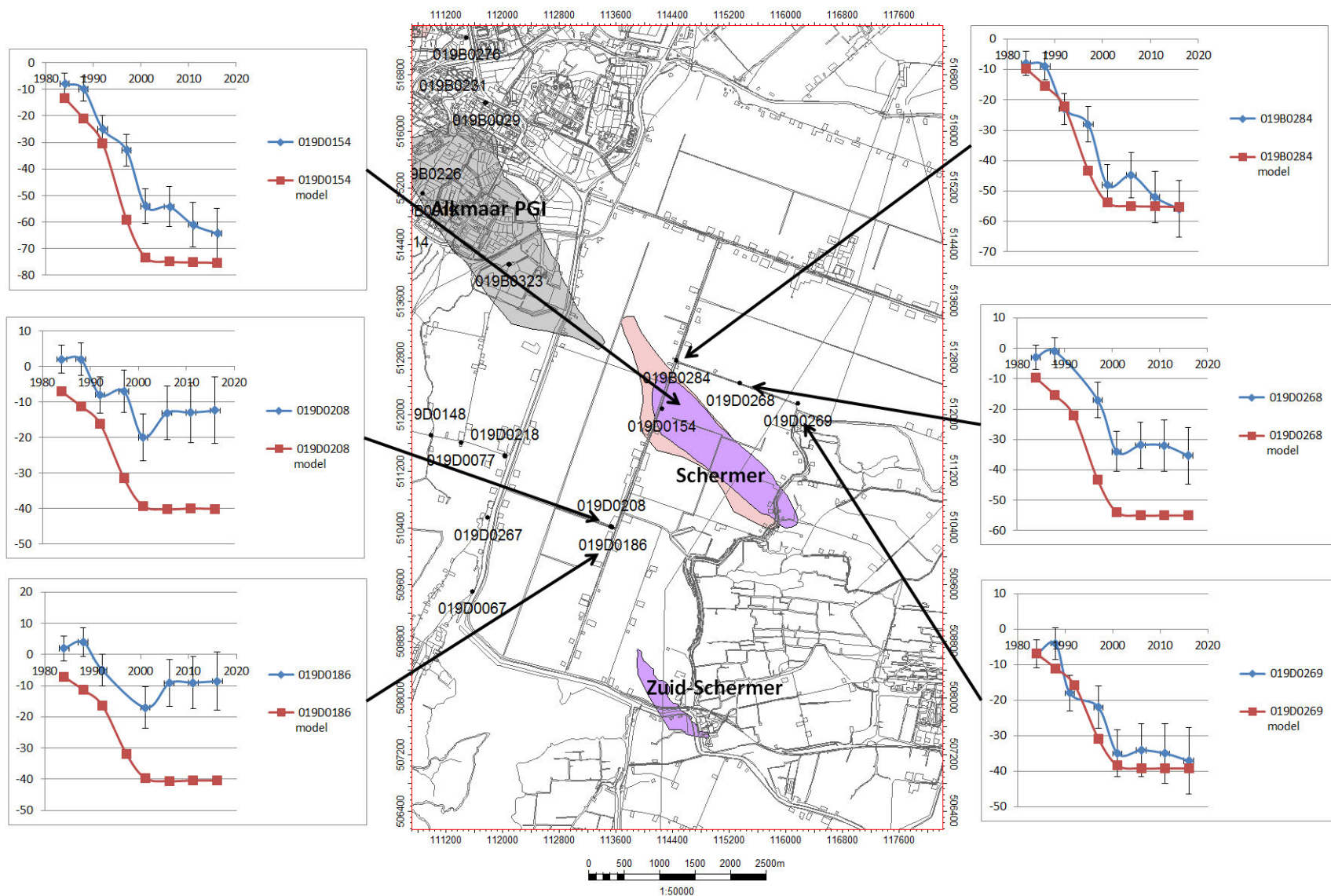
De bodemdaling in dit gebied wordt veroorzaakt door twee dalingskommen, die van het Groet gasveld en in beperkte mate die van het Groet-Oost gasveld.

De bodemdaling is tot 2006 goed te correleren met druk afname van het Groet gasveld. De noordelijke peilmerken laten na 2006 ook bodemdaling zien die afkomstig is van het Groet-Oost gasveld.

Na 2006 is sprake van tijdsafhankelijke bodemdaling. Voor uitleg, zie paragraaf 5.1.5.

Figuur 17 Kaartbeeld van de omgeving van het Groet gasveld. De grafieken geven de gemeten bodembeweging in blauwe lijnen aan en de gemodelleerde bodemdaling in rode lijnen.

Schermer

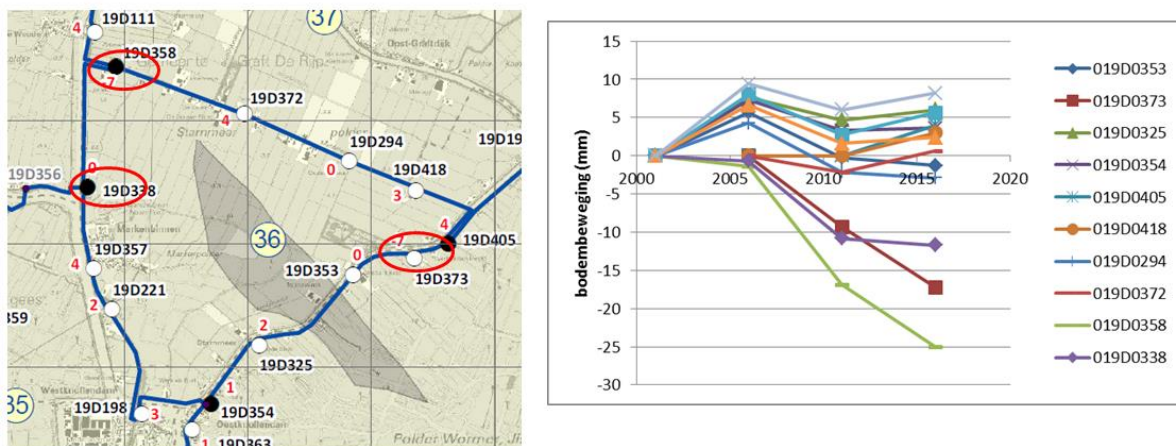


De gemeten bodemdaling boven het Schermer gasveld (19B0284 en 19D0154) komt goed overeen met de gemodelleerde bodembeweging. De gemodelleerde bodemdalingskom is echter te breed. Door de K factor aan te passen is de bodemdalingskom nauwer gemaakt. Voor de peilmerken 19D0208 en 19D0186 blijft de gemodelleerde bodemdaling groter dan de gemeten bodemdaling.

Figuur 18 Kaartbeeld van de omgeving van het Schermer gasveld. De grafieken geven de gemeten bodembeweging in blauwe lijnen aan en de gemodelleerde bodemdaling in rode lijnen.

5.2.1 Bodembeweging boven het Zuid-Schermer en Starnmeer Gasveld

De reservoirseenheid van het Zuid-Schermer en het Starnmeer gasveld is de Platten Dolomiet. Dit is een dunne, stijve reservoirseenheid die tijdens productie geen significante bodemdaling tot gevolg heeft. Beide gasvelden hebben een beperkte drukdaling gehad (Zuid-Schermer van 218 bar tot 155 bar en Starnmeer van 206 bar tot 138 bar) in de periode 1998-2003. De peilmerken die in deze periode zijn gemeten laten geen bodemdaling zien. Wat wel opvallend is, is dat in de periode 2006-2011 drie van de 10 peilmerken in de kring rondom het Schermer gasveld bodemdaling laten zien. De andere 7 peilmerken laten daarentegen een lichte stijging zien. De bodemdaling is niet te correleren met gaswinning in het Starnmeer veld. Daarvoor wordt de gemeten bodemdaling als te lokaal beoordeeld. Als de bodemdaling door gaswinning ontstaan zou zijn, zouden de andere peilmerken dichterbij het gasveld ook bodemdaling moeten laten zien. Wellicht dat lokaal autonome processen voor de gemeten daling zorgen.

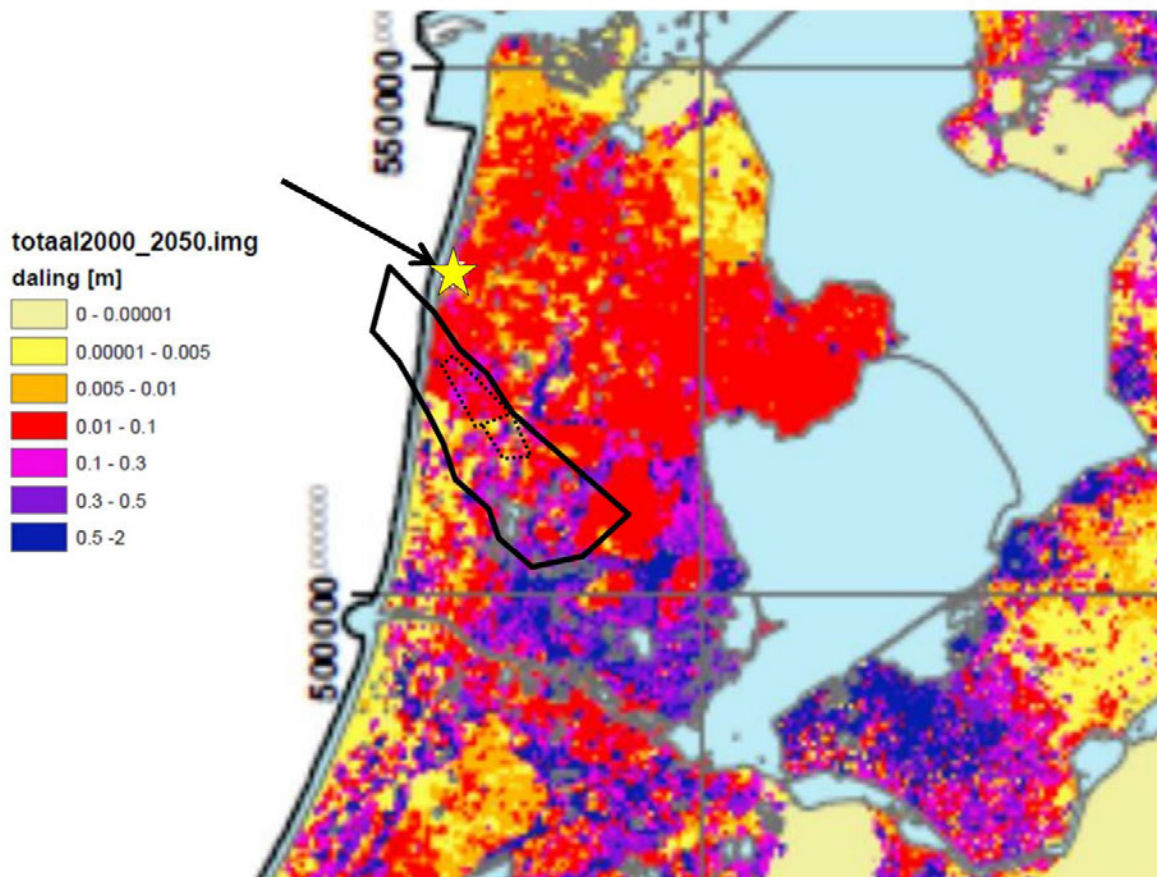


Figuur 19 Bodembeweging boven het Starnmeer gasveld. Het kaartbeeld (links) laat een uitsnede van de Overzichtskaart waterpasmeting zien. De rode getallen geven de bodembeweging in mm aan over de periode 2011-2016. De drie peilmerken met bodembeweging in de periode 2006-2016 zijn rood omcirkeld. Het rechter figuur laat de bodembeweging over tijd zien voor de peilmerken. De locatie van de peilmerken kan gevonden worden in het kaartbeeld.

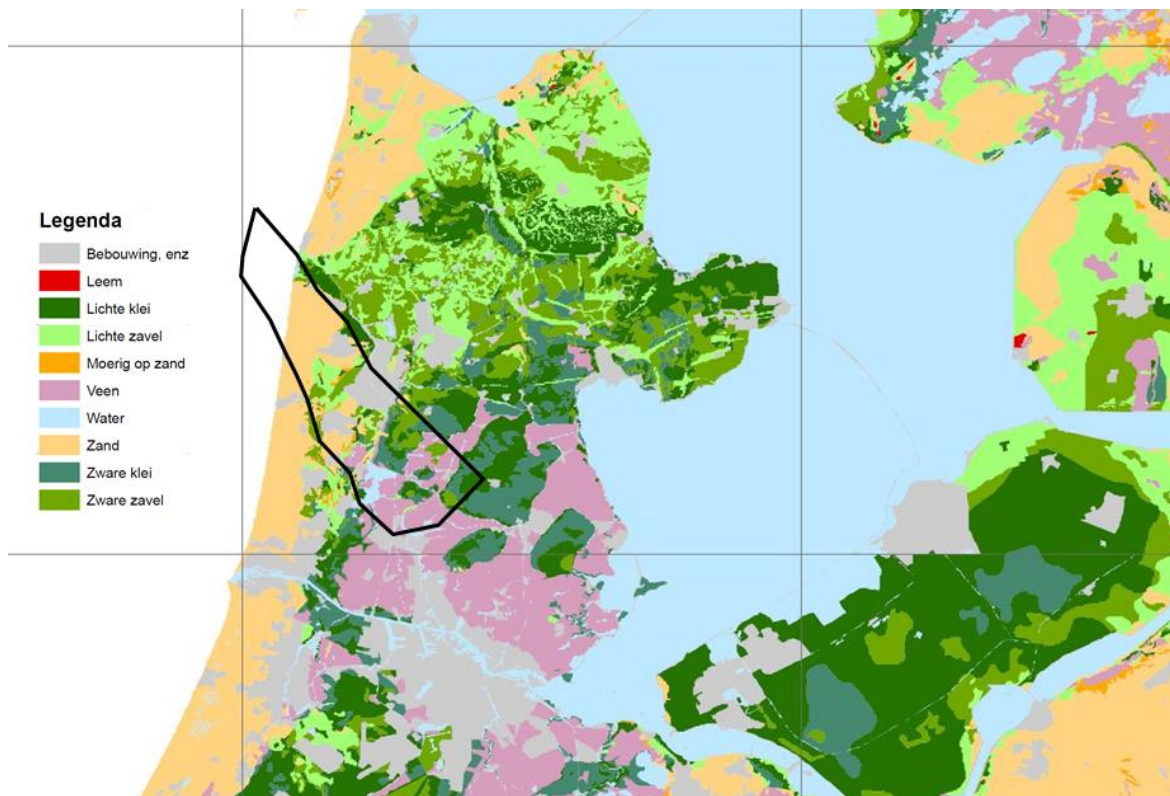
6 AUTONOME BODEMDALING IN DE BERGEN II WINNINGSVERGUNNING EN OMGEVING

Autonome bodemdaling wordt veroorzaakt door natuurlijke of ondiepe processen zoals tektoniek, verandering in grondwaterspiegel of belasting van de oppervlakte. Bodemdaling door gaswinning is geen onderdeel van autonome bodemdaling. Figuur 20 laat een uitsnede zien van de autonome-bodemdalingsprognosekaart van Hopman [2]. Deze kaart

laat de geprognosticeerde autonome bodemdaling zien over de periode 2000-2050. Op de kaart is de Bergen II Winningsvergunning aangegeven met een zwarte polygoon en de Bergermeer opslagvergunning en Alkmaar opslagvergunning met een gestippelde polygoon. De kaart laat duidelijk zien dat er in de Bergen Winningsvergunning lokaal variatie in de autonome bodemdaling wordt geprognosticeerd. Het aansluitpunt van het meetnet is aangegeven met een pijl en een ster.



Figuur 20 autonome-bodemdalingsprognosekaart, zie tekst voor verklaring [2].



Figuur 21 Bodemsoortkaart [3].

Figuur 21 laat een uitsnede zien van de bodemsoortkaart [3]. De kaart laat de bodemopbouw zien van de bovenste meter. In het westen van het gebied van de Winningsvergunning is de bodem vooral opgebouwd uit zand, hier wordt weinig autonome bodemdaling verwacht. Echter in het oosten van de Winningsvergunning is de ondiepe bodem opgebouwd uit zware klei, zware zavel en veen; in deze gebieden wordt meer autonome bodemdaling verwacht door het inklinken van deze grondsoorten.

Als de autonome bodemdaling over het gehele meetnet gelijk zou zijn, zou de autonome bodemdaling niet gemeten kunnen worden. Alle peilmerken en het aansluitpunt vertonen dan namelijk een gelijke daling. Relatief is er geen daling waarneembaar. Echter uit de bodemdalingsprognosekaart valt op te maken dat er lokaal een grote variatie in autonome bodemdaling wordt geprognosticeerd. De autonome bodemdaling varieert in de Bergen II Winningsvergunning van 0.5 cm tot 200 cm over de periode van 2000-2050. Deze variatie zorgt ervoor dat de autonome bodemdaling lokaal onderdeel kan zijn van de gemeten bodemdaling. Met andere woorden: niet alle gemeten bodemdaling wordt veroorzaakt door gaswinning en/of gasopslag.

Als er vanuit gegaan wordt dat alle peilmerken aan goed gefundeerde objecten zijn bevestigd, zou autonome bodemdaling een geringe invloed op de daling van de peilmerken

moeten hebben. Echter, in het meetnet wordt bodemdaling gemeten die niet te correleren valt met gaswinning of gasopslag. De bodemdaling is niet te correleren omdat bijvoorbeeld de peilmerken te ver van de gasvelden verwijderd zijn of doordat de bodemdaling niet dezelfde trend heeft als het drukverloop in de gasvelden.

6.1 Bodemdaling in kring 27

Kring 27 bevindt zich ten zuidwesten van het Alkmaar gasveld. In het noordwesten van kring 27 bevindt zich het Boekel veld (zie Figuur 23). Het gasvolume van dit gasveld is 150 keer kleiner dan dat van bijvoorbeeld het Groet of Bergen gasveld en zelfs 400 keer kleiner dan dat van het Bergermeer gasveld. De bodemdaling die dit gasveld kan voortbrengen is nihil.

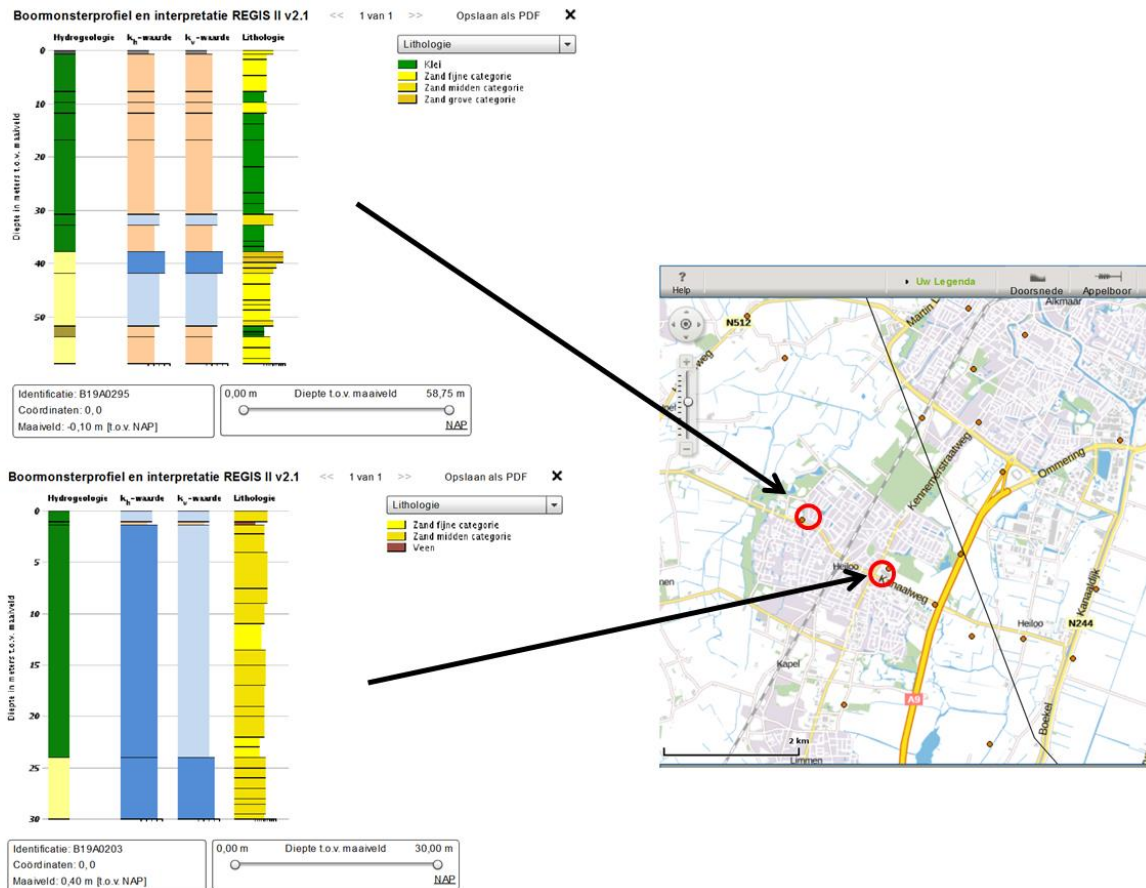
Opvallend aan kring 27 is dat er bij elk peilmerk bodemdaling wordt geconstateerd, ook helemaal in de oostelijke hoek van de kring, die meer dan 4km van het Boekel veld verwijderd is. De gemeten bodemdaling tussen 2006 en 2016 is gering (3 tot 12 mm). Twee peilmerken (19A001 en 19D0307) worden al sinds 1972 gemeten en laten een bodemdaling zien van 17 tot 25 mm (zie Figuur 22). Deze bodemdaling is al ingezet voordat het Boekel gasveld in productie werd genomen. De gemeten bodemdaling in kring 27 is gering, maar laat wel zien dat autonome processen lokaal invloed hebben op de bodemdaling. Ten noordoosten van kring 27 ligt het Alkmaar veld en de stad Alkmaar. Ook hier wordt een geringe additionele bodemdaling van ± 3 cm gemeten die niet te correleren valt aan gaswinning of opslag.

6.2 Alkmaar en Heiloo

Het kaartbeeld van Figuur 24 laat de omgeving van Heiloo en Alkmaar zien. In Heiloo, ten zuidwesten van het Alkmaar veld, laten verschillende peilmerken een geringe bodemdaling van 2 tot 3 cm zien in de periode van 1972 tot 2001. Na deze periode vertonen de peilmerken een stabiele trend. Opvallend is dat peilmerken 019A0001 en 019A0005, die buiten de invloedssfeer (>2.5 km) van de gasvoorkomens Alkmaar, Schermer en Bergermeer liggen, een soortgelijk gedrag vertonen. De bodemdaling van deze peilmerken is niet te correleren aan het drukverloop van het meest nabije veld, Alkmaar. Het Boekel veld is in 2006 voor een korte periode van één jaar in productie genomen. Het drukverloop van dit veld is ook niet te correleren met de gemeten bodemdaling. De bodemdaling in het gebied ten zuiden en zuidwesten van de stad Alkmaar is te verklaren door autonome bodemdaling. De autonome -bodemdalingsprognosekaart (Figuur 20) laat in dit gebied een behoorlijke autonome bodemdaling zien. De bodemsoortkaart (Figuur 21) laat zien dat de ondiepe bodem hier is opgebouwd uit lichte zavel en lichte klei, bodemsoorten waar meer inklinking verwacht wordt.

Omdat het hier over een relatief groot gebied gaat met veel meetpunten, kan er niet vanuit gegaan worden dat alle peilmerken bevestigd zijn aan slecht gefundeerde objecten. Een verklaring voor de autonome bodemdaling moet dus gezocht worden in de ondergrond dieper dan de gebruikelijke fundatie. Op dinoloket.nl kan de interpretatie van een ondiep boorgatmonster opgevraagd worden. Een aantal boorgatmonsters laat lokaal kleilagen zien op een diepte van 10 tot 30 m. Echter, deze kleilagen zijn niet over het gehele gebied te correleren (zie Figuur 25). Dit betekent dat de bodemdaling niet toegewezen kan worden aan deze kleilagen.

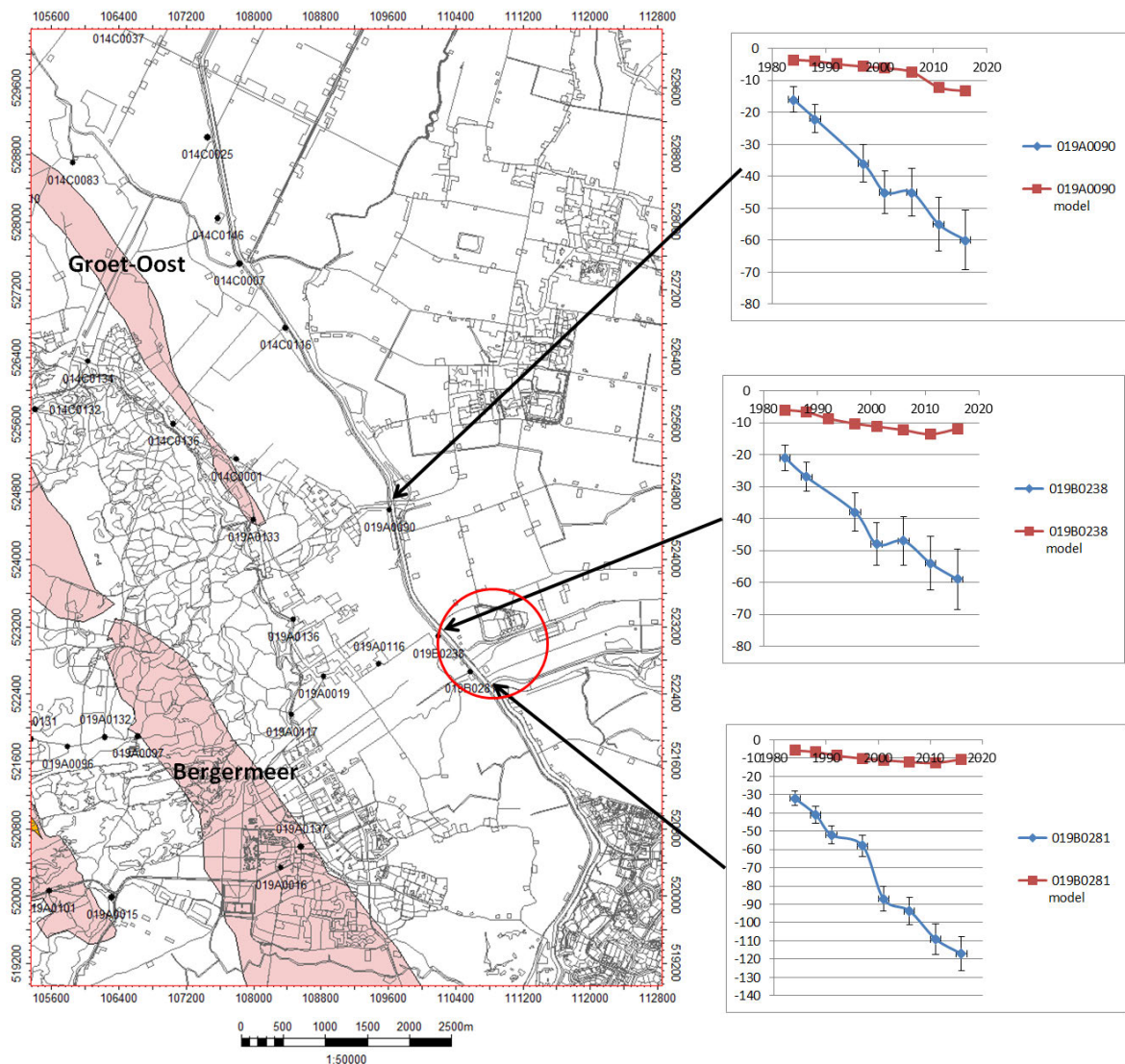
Een passende verklaring voor de geringe autonome bodemdaling in de nabijheid van Alkmaar en Heiloo ontbreekt op dit moment nog.



Figuur 25 Twee boorgatmonsters genomen in Heiloo. Het bovenste boormonsterprofiel laat een kleilaag zien op een diepte van 10 tot 37 m. Het tweede boormonsterprofiel mist deze kleilaag.

6.3 Rioolwaterzuiveringsinstallatie (RWZI) Geestmerambacht

Naast het Noordhollands Kanaal, ten noorden van Alkmaar, laat een drietal peilmerken sinds 1972 een bijzondere bodemdaling zien (zie Figuur 26) . Deze peilmerken liggen aan de rand van de invloedssfeer van de gasvelden Bergermeer en Groet-Oost. De bodemdaling die hier gemodelleerd wordt is maximaal 1.5 cm, terwijl peilmerk 19B281 bijna 12 cm bodemdaling laat zien. Dit verschijnsel is eerder opgemerkt door Houtenbos [6]. Voor de bodemdaling gemeten in peilmerk 19B281 en 18B238 zou de belasting van het RWZI wellicht een verklaring kunnen zijn. Het peilmerk 19A0090 bevindt zich echter te ver weg(>1.5 km) van het RWZI om beïnvloed te worden door belasting van het RWZI. De bodemsoortkaart laat zien dat dit gebied voornamelijk bestaat uit zware klei. Wellicht kan een verklaring gevonden worden in de ondiepe ondergrond in combinatie met de locatie van de peilmerken direct naast het kanaal.

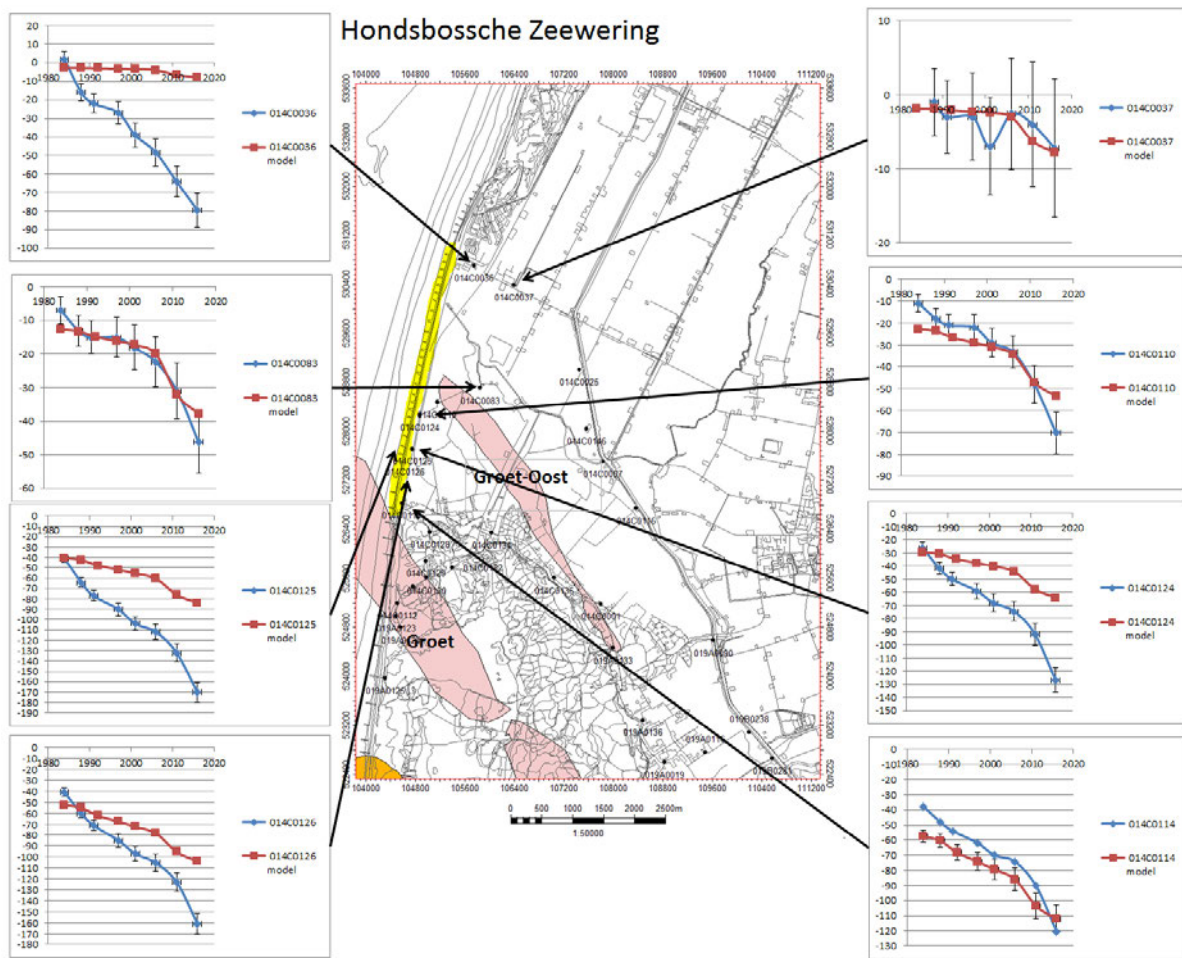


Figuur 26 Locatiekaart van de drie peilmerken nabij de RWZI. De RWZI is rood omcirkeld. De bodemdaling uit het model is aangegeven met een rode lijn en de gemeten bodemdaling met de meetonzekerheid is aangegeven in een blauwe lijn in millimeter.

6.4 Hondsbossche Zeewering

Figuur 27 laat zien dat er landinwaarts een goede overeenkomst is tussen de gemodelleerde bodemdaling en gemeten bodemdaling. Echter, in de nabijheid van de Hondsbossche Zeewering onderschat het model de waarnemingen.

Een deel van de bodemdaling die is gemeten is in het zuidelijke deel van de Hondsbossche Zeewering is toe te kennen aan productie uit het de gasvelden Groet en Groet-Oost. Door zandsuppletie en dijkverzwaring van de zeewering heeft er in de loop der tijd additionele bodemdaling plaatsgevonden die niet toe te kennen is aan gaswinning [12].



Figuur 27 Locatie kaart van de Hondsbossche Zeewering. De zeewering is geel gemarkeerd. De gemodelleerde bodemdaling is aangegeven met een rode lijn en de gemeten bodemdaling met de meetonzekerheid is aangegeven in een blauwe lijn in millimeter.

7 BODEMDALINGSPROGNOSE

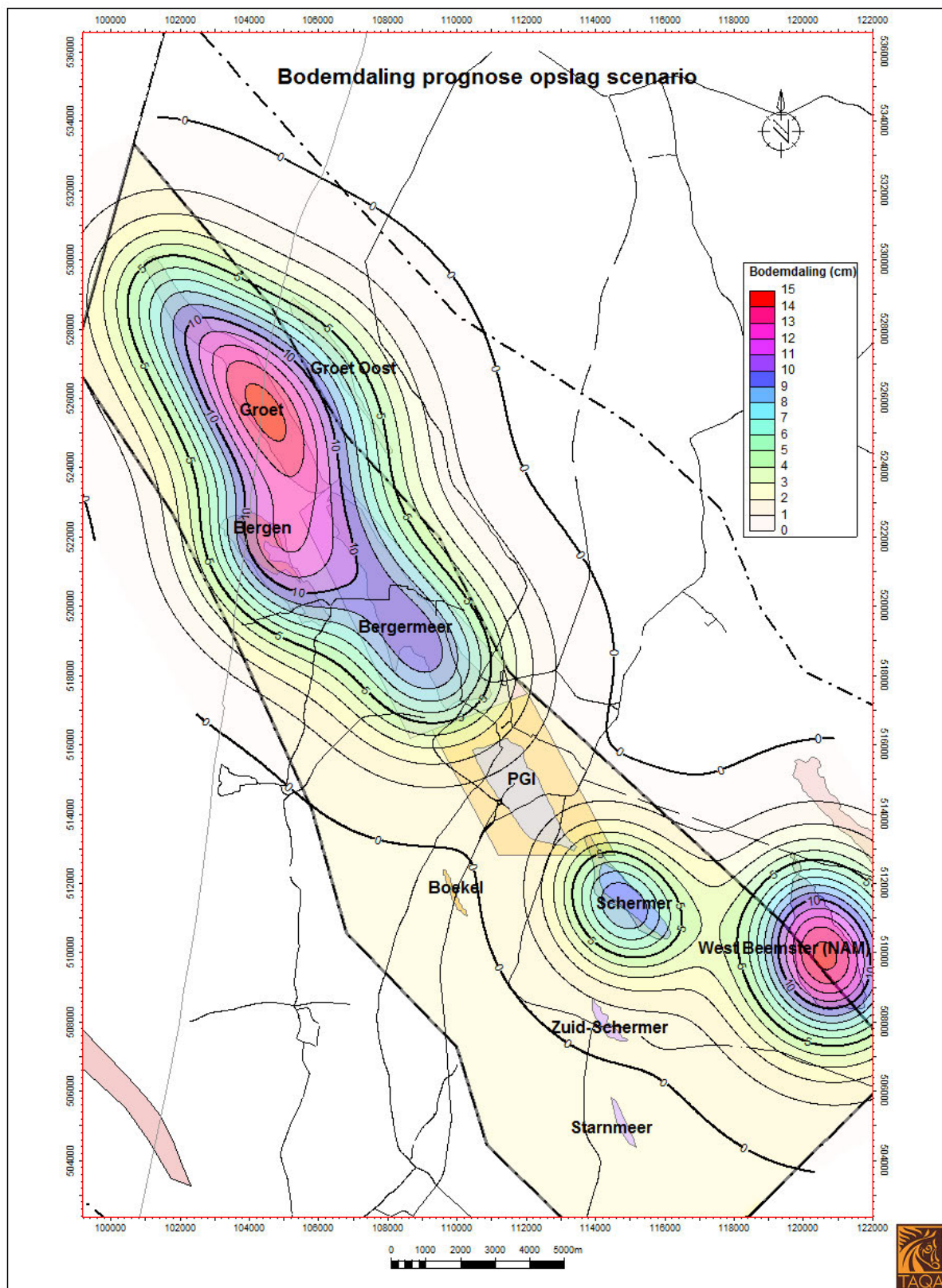
Er zijn twee scenario's uitgewerkt voor de verwachte bodemdalingsprognose. Het opslagscenario waarin Alkmaar PGI en Bergermeer in gebruik zijn als gasopslag ('Bodemdalingsprognose opslag scenario') en het scenario waar de opslag in deze velden volledig beëindigd is (Bodemdalingsprognose opslag beëindigd) en het gas (werkgas én kussengas) uit de voormalige gasoplagen is onttrokken. Voor beide scenario's worden de einddrukken van de gasvelden als input gebruikt.

De prognose wordt gegenereerd door in het gekalibreerde model de einddrukken van de gasvelden als input te gebruiken. Voor het opslag scenario worden de laagste drukken van de gasopslagen als input gebruikt. Voor de gasvelden Groet, Bergen, Bergermeer en West-Beemster wordt een additionele tijdsafhankelijke bodemdaling gemodelleerd van 20% (zie paragraaf 5.1.5.).

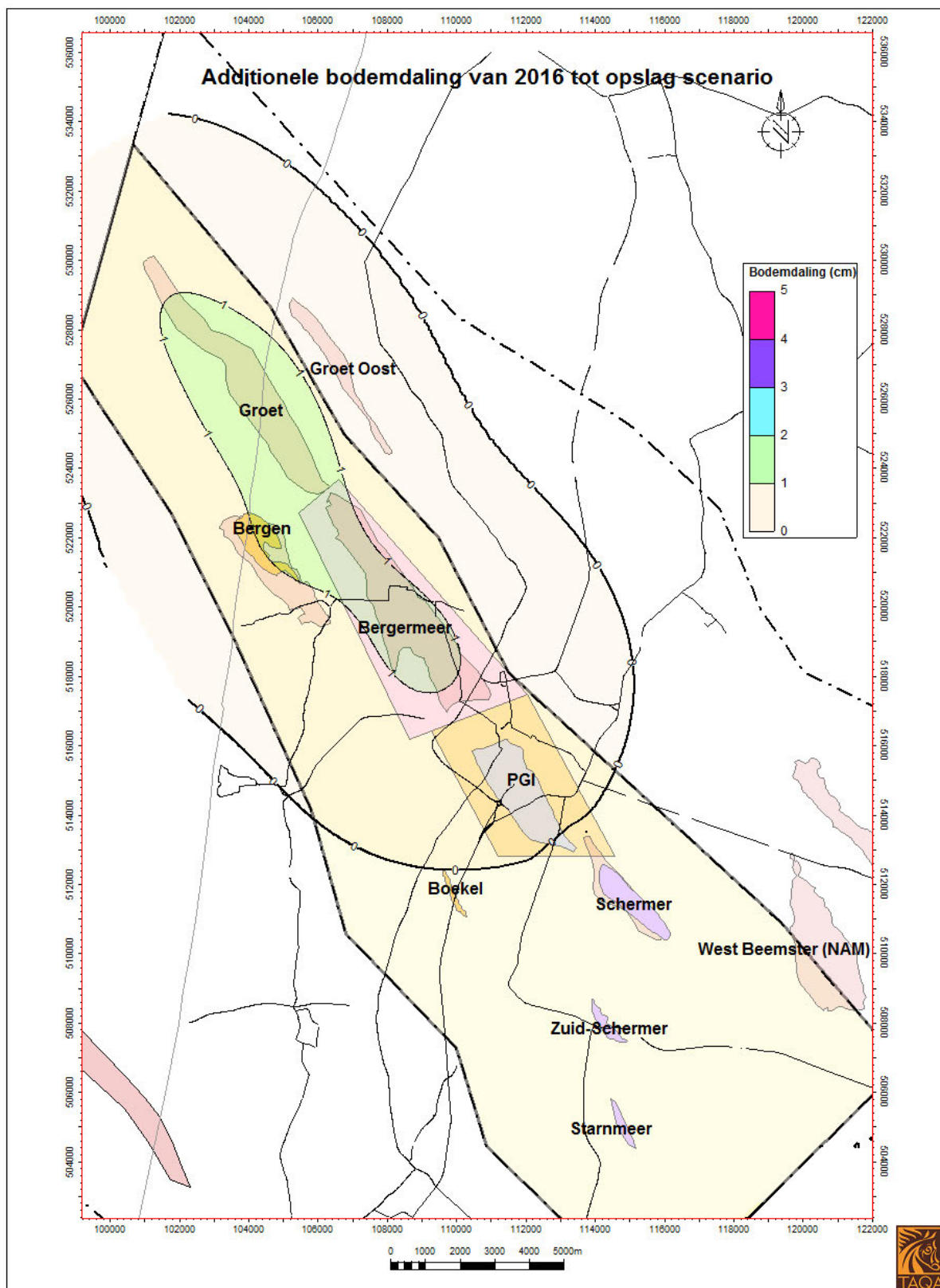
Hieronder volgen de resultaten van de prognoses voor de twee scenario's. Ook worden er kaarten gepresenteerd van de verwachte additionele bodemdaling voor de twee scenario's. Voor het Bergermeer gasveld wordt een gemiddelde reservoir druk van 125 bar aangenomen voor de situatie in 2016. Deze druk is gekozen omdat tijdens de laatste waterpassingsmeetcampagne de gemiddelde maximale reservoirdruk van het Bergermeer gasveld ongeveer 125 bar was. De additionele bodemdaling is dus ten opzichte van de situatie waarin het Bergermeer gasveld een gemiddelde reservoirdruk heeft van deze 125 bar.

Het model is gekalibreerd op de waterpassingsmetingen. Deze metingen kennen een meetonzekerheid. Hierdoor zal de prognose ook een zekere onzekerheid kennen die groter is dan de meetonzekerheid van de waterpassingsmetingen, vanwege het aantal inputparameters in het model die ook elk een individuele onzekerheid kennen. De totale onzekerheid van de bodemdalingsprognose wordt geschat op 15 tot 25 %.

In de nabijheid van het West-Beemster veld zijn geen peilmerken om de gemodelleerde bodemdaling van het West-Beemster veld te kalibreren. Daarom is de bodemdalingsprognose voor het West-Beemster veld erg onnauwkeurig. De Nederlandse Aardolie Maatschappij is verantwoordelijk voor een adequate bodemdalingsprognose van dit veld.

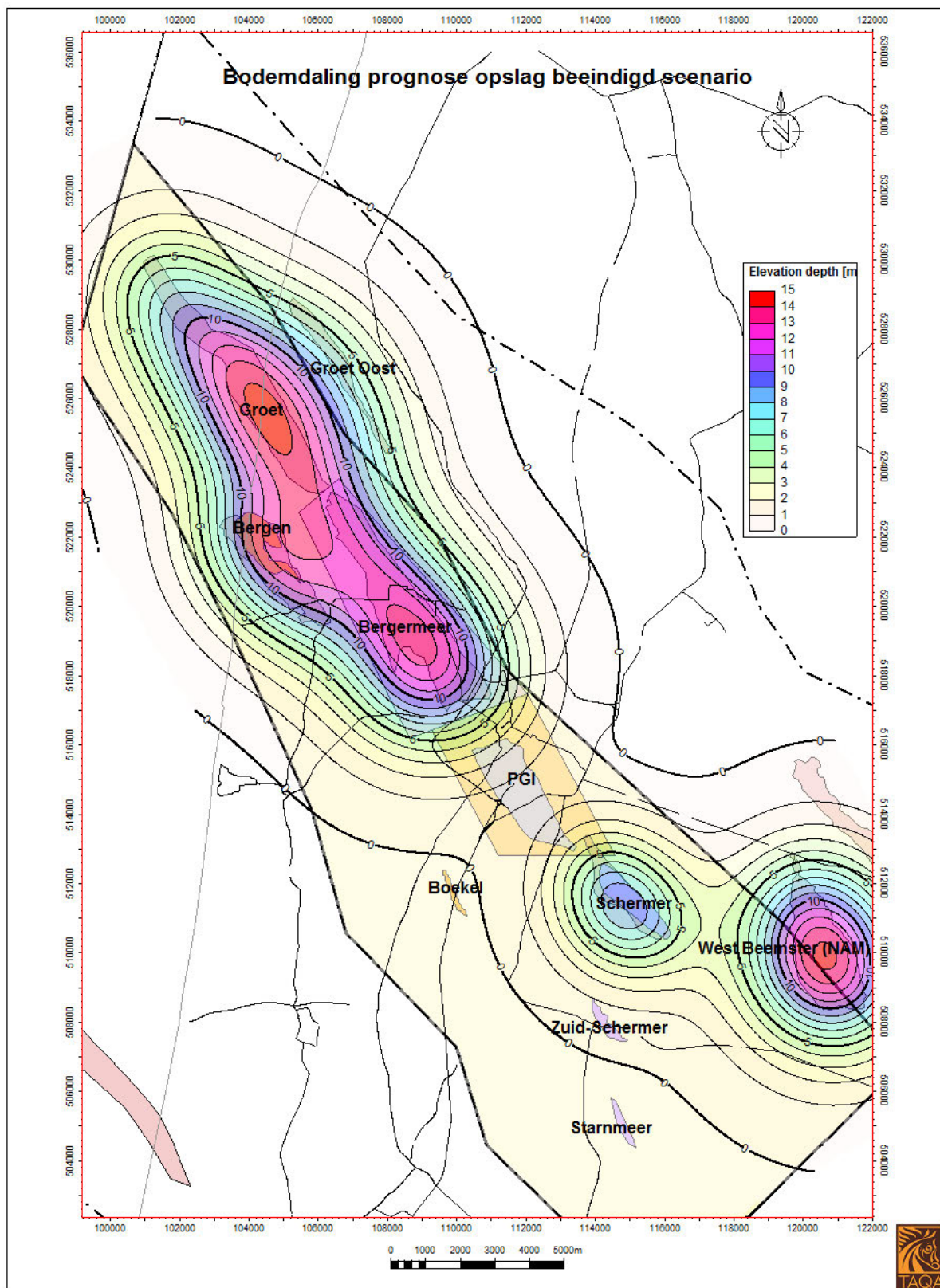


Figuur 28 Bodemdalingsprognose opslag scenario.

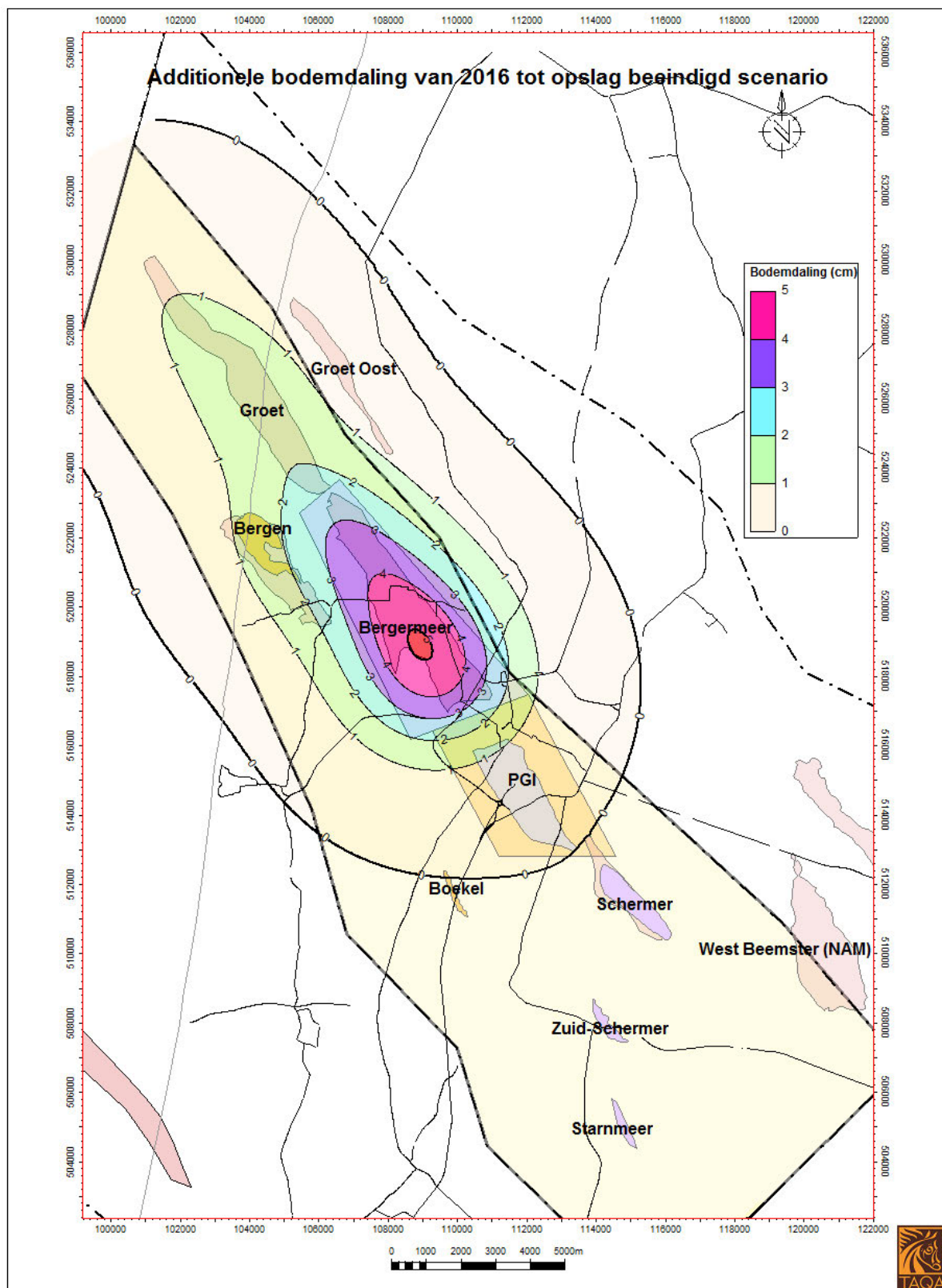


Figuur 29 Additionele bodemdaling van 2016 tot het opslag scenario voor de gasvelden ge opereerd door TAQA Energy.

Boven het Bergermeer veld wordt bodemdaling gemodelleerd van 2016 tot het opslag scenario. Dit wordt veroorzaakt doordat er een gemiddelde reservoirdruk van 125 bar wordt aangenomen voor het jaar 2016. Ten opzichte van deze druk is de gemiddelde reservoirdruk afgenomen. Voor het storage scenario wordt de laagste druk tijdens opslag gebruikt, namelijk 77 bar.



Figuur 30 Bodemdalingsprognose opslag beëindigd scenario.



Figuur 31 Additionele bodemdaling van 2016 tot opslag beëindigd scenario voor de gasvelden geopeerd door TAQA.

Boven het Bergermeer gasveld wordt een additionele bodemdaling van 5 cm gemodelleerd. De bodemdaling is ten opzichte van de situatie in 2016, toen de gemiddelde reservoirdruk 125 bar was. Sinds 2006 is er een bodemstijging boven het Bergermeer gasveld gemeten van ongeveer 2 cm. Ten opzichte van de situatie in 2006 wordt een additionele bodemdaling verwacht van ongeveer 3 cm.

8 CONCLUSIE

De prognoses voor bodemdaling voor de beschreven scenario's worden gepresenteerd in Figuur 28 tot en met Figuur 31. Hierbij worden de volgende samenvattende opmerkingen gemaakt:

- Door middel van het invoeren van de drukafname in de gasvelden en de resulterende compactie van de reservoirs in het model gebaseerd op de Van Opstalmethode, kan de bodemdaling tot 2006 goed worden gemodelleerd;
- Na het significant verlagen van de drukafname in de periode 2006-2011 laten de gasvelden Bergen, Groet en Bergermeer een tijdsafhankelijke bodemdaling zien;
- De tijdsafhankelijke bodemdaling is in de periode 2011-2016 afgenomen;
- Het Bergermeer gasveld gedraagt zich stijver tijdens de opslagfase dan tijdens de depletiefase;
- In de omgeving van Heiloo en Alkmaar, de Hondsbossche Zeewering en RWZI Geestmerambacht vindt bodemdaling plaats die niet gecorreleerd kan worden met gaswinning of gasopslag. Autonome processen zorgen hier voor bodemdaling;
- De grootste bodemdaling wordt boven het Groet gasveld verwacht, en bedraagt ongeveer 14.5 cm.

9 REFERENTIES

1. <https://www.rijkswaterstaat.nl/zakelijk/open-data/normaal-amsterdams-peil>
2. Hopman, V., 2013, Report on pilot service Rhine-Meuse Delta. Subcoast Deliverable D3.2.3.
3. Alterra Wageningen UR, 2006, Bodemsoortkaart 2006
4. Van Opstal, G.H.C, 1974, The effect of base-rock rigidity on subsidence due to reservoir compaction.
5. NLOG, TNO Subsidence van Opstal vanopstal.m (<http://www.nlog.nl/bodemdaling>)
6. Houtenbos, A.P.E.M., 2006 Bodemdaling Analyse Bergen-Alkmaar 1972-2006
7. Antea, 2017, Resultaten monitoring bodembeweging Bergermeer, Maandelijkse rapportage GNSS monitoring 1 juni -31 mei 2017)
8. Antea, 2017, Meetregister bij het meetplan Bergen – Alkmaar, Rapportage van de nauwkeurigheidswaterpassing 2016
9. NAM Publicatie EP2015006213071, 2015, Studie naar het tijdsafhankelijke gedrag van diepe bodemdaling in de Waddenzee
10. Ondergrond model REGIS II v2.1 (www.dinoloket.nl)
11. Barends, 2008, Bodemdaling langs de Nederlandse kust, Case Hondsbossche en Pettemer zeewering

10 BIJLAGE

1. Overzichtskaart differenties 2011-2016 ECM#186023
2. Kaart waargenomen cumulatieve bodembeweging 1972-2016
3. Kaart cumulatieve bodembeweging verschil model en waarneming 1972-2016

Cumulative bodembeweging verschil model en waarneming 1972-2016

