

NAM publicatie EP2015006213071

Studie naar het tijdsafhankelijke gedrag van diepe bodemdaling in de Waddenzee

Achtergrond en onderzoek

Op zo'n 2 tot 4 km diep in de Nederlandse bodem zit aardgas. Meestal, en dat geldt ook voor de gasvelden onder de Waddenzee, zit dat gas opgesloten in de poriën van een zandsteenlaag (het reservoirgesteente). Bij de winning van gas neemt de gasdruk in die poriën af. Deze drukafname vindt plaats gedurende de gehele tijd dat gas gewonnen wordt en zorgt voor het samendrukken (compacteren) van het reservoirgesteente, wat uiteindelijk leidt tot bodemdaling aan het aardoppervlak. De zogenaamde bodemdalingschotel die daardoor ontstaat is meestal enkele centimeters tot decimeters diep en meerdere kilometers in diameter. De vormverandering van bodemdalingschotels wordt door landmeters nauwkeurig bijgehouden. Uit periodieke metingen aan de bodemdalingschotel kan ondermeer de bodemdalingsnelheid worden berekend.

In het waddengebied wordt gas gewonnen met de "hand aan de kraan". Dit houdt in dat gasproductie verminderd moet worden als blijkt dat bodemdaling door gaswinning sneller gaat dan het natuurlijke systeem van de Waddenzee kan compenseren met zandtransport aan het oppervlak. Dit zandtransport is de natuurlijke uitwisseling van zand en slib met de Noordzeekustzone. Om het "hand aan de kraan" principe betrouwbaar toe te kunnen passen is het voorspellen van de bodemdalingsnelheid belangrijk.

De mate waarin een reservoir samendrukt is evenredig met de daling van de druk in het reservoir. Stopt de drukdaling, dan zouden zowel het samendrukken van het reservoir als de bodemdaling aan het aardoppervlak moeten stoppen. Echter, uit landmetingen rond het Amelandgasveld blijkt, ondanks het feit dat de jaarlijkse gasproductie in de afgelopen jaren is teruggelopen, dat de bodemdalingsnelheid minder snel afneemt dan verwacht. De ontwikkeling van de bodemdaling in de tijd wijkt voor Ameland dus af van eerdere voorspellingen en wordt ook wel "naijleffect" genoemd.

Toen de winningsplannen voor de Waddenvelden Anjum, Ameland en Moddergat/Lauwersoog/Vierhuizen in 2013 werden goedgekeurd verbond de Minister van Economische Zaken een clausule aan die goedkeuring. Deze hield in dat de Nederlandse Aardolie Maatschappij (NAM) een studie uit diende te voeren om dit naijleffect in het Waddengebied beter te begrijpen. In deze studie staan twee zaken centraal: 1) de accuraatheid van metingen aan het aardoppervlak en van de gebruikte modellen om bodemdaling te voorspellen en 2) de oorzaken voor het waargenomen tijdsafhankelijke dalingsgedrag. De studie diende vóór 1 juli 2015 gereed te zijn.

Modelleren en meten

Voor het voorspellen van de mate van bodemdaling in de toekomst worden verschillende modellen in combinatie toegepast, te weten een geologisch model, een reservoir model en een geomechanisch model.

Het geologisch model beschrijft de toestand van het reservoir gesteente en het gasveld zoals het bij het aanboren is aangetroffen. Dit model beschrijft ook de dikte en de samenstelling van de lagen in de ondiepere ondergrond. Voor wat betreft het reservoir gesteente moet men denken aan de gelaagdheid en porositeit van het gesteente, de ligging van de aangrenzende waterlagen, etc.. Al

deze factoren bepalen mede hoe het gasveld compacteert als het gas eruit stroomt en de druk vanuit een bepaald punt in het veld gaat dalen.

Het reservoirmodel beschrijft hoe het gas en het water zich door het reservoirgesteente verplaatsen en hoe het drukverloop in het gasveld en in aangrenzende watervoerende lagen zich ontwikkelt gedurende de tijd dat gasproductie plaatsvindt.

Het geomechanisch model berekent hoe het gasveld/reservoir onder invloed van drukveranderingen wordt samengedrukt en hoe die compactie zich door de verschillende aardlagen heen vertaalt naar het aardoppervlak.

Op basis van deze verschillende modellen worden voorspellingen gemaakt hoe de bodemdalingsschotel zich aan het oppervlak in de loop der jaren manifesteert. Periodiek meten landmeters de bodemdalingsschotels in Nederland op. Hierdoor wordt de daadwerkelijke ontwikkeling van de bodemdaling aan het aardoppervlak in de tijd gevolgd en gebruikt om te controleren of de voorspellingen wel een accurate beschrijving geven van de werkelijkheid. Dit laatste noemt men modelvalidatie. Als blijkt dat dit beter kan, worden modelparameters bijgesteld waardoor het model een betere voorspelling van de nog te verwachten bodemdaling geeft. Dit bijstellen van het model noemt men kalibratie. Het proces van meten en bijstellen wordt door NAM en toezichthouders de “meet- en regelcyclus” genoemd. De uitkomsten van de “meet- en regelcyclus” zijn openbaar en worden voor de gasvelden onder de Waddenzee jaarlijks gerapporteerd aan het Ministerie van Economische Zaken.

Kennisvraag

De bodemdalingssnelheid boven het Ameland gasveld neemt af, maar minder snel dan verwacht. Om accuratere toekomstvoorspellingen te kunnen doen dient de oorzaak achter deze tijdsafhankelijkheid begrepen en gemodelleerd te worden. Uit discussies tussen Staatstoezicht op de Mijnen (SodM), TNO en de NAM kwam naar voren dat er een aantal oorzaken denkbaar was en werd in 2012 een onderzoek opgestart. Deze oorzaken kunnen worden gezocht in het compactiegedrag van het gasveld, in de verschillen in doorlaatbaarheid van verschillende lagen/compartimenten in het gasveld of in vormveranderingen (deformaties) die buiten het gasveld in de diepe ondergrond optreden. Het effect kan ook veroorzaakt worden door een combinatie van deze factoren. De studie beoogde de mogelijke oorzaak of oorzaken nader te identificeren. De verschillende studieonderdelen worden hieronder nader besproken.

Studieonderdelen

De meeste studieonderdelen hebben betrekking op mogelijke oorzaken van het geobserveerde tijdsafhankelijke gedrag van bodemdaling. De onderzoekers hebben bestudeerd welke van die mogelijke oorzaken een nulleffect kunnen veroorzaken dat qua orde van grootte en qua timing overeenkomt met wat er in de praktijk aan het oppervlak is waargenomen. Het doel was om de mogelijke oorzaken te identificeren die met een grote mate van waarschijnlijkheid een tijdsafhankelijk bodemdalingsgedrag veroorzaken, waar in volgende modelberekeningen rekening mee moet worden gehouden.

Naast het bovenstaande zijn ook de analyse van landmeetgegevens (geodetische data) en de manier waarop de onzekerheid van de modelvoorspellingen bepaald wordt onderwerpen van onderzoek geweest. De verschillende studieonderdelen worden in de onderstaande paragrafen beschreven waarbij op de voornaamste onderzoekresultaten wordt ingegaan.

Box 1: De onderzoeksvragen die horen bij de verschillende studieonderdelen.

Landmeten (Geodesie) bodemdalingschotel

Meten we nauwkeurig genoeg om te kunnen concluderen dat er een verschil is tussen de gemeten en voorspelde mate van bodemdaling?

Kan de nauwkeurigheid worden verbeterd door de data-analyse aan te passen?

Zoutkruip

Kan de doorgaande bodemdaling veroorzaakt worden door het heel traag bewegen (stromen) van de steenzoutmassa boven het compacterende gasveld?

Gesteentekruip

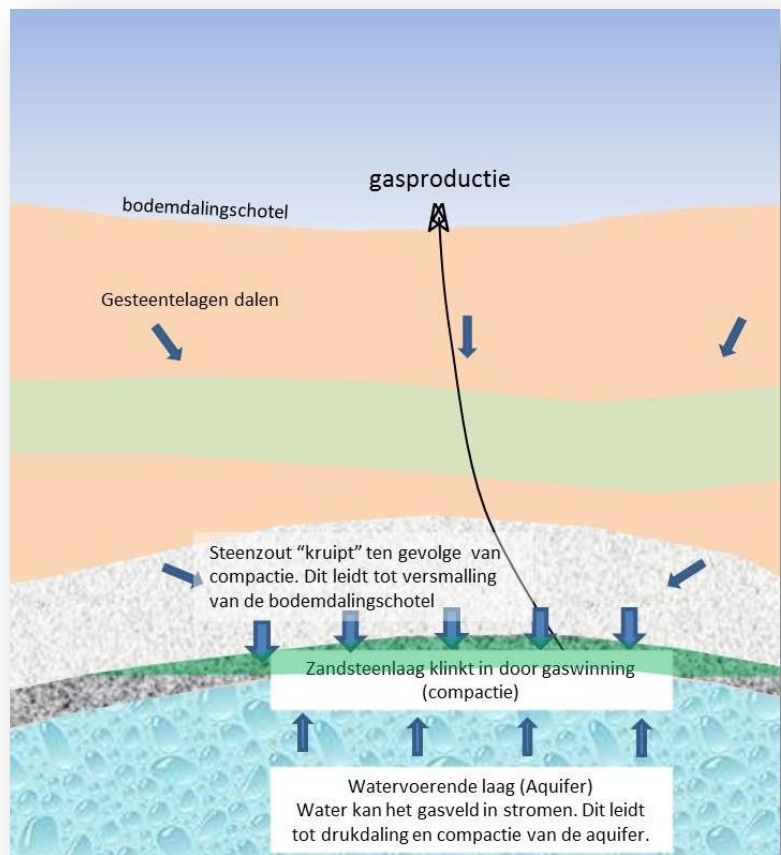
Kan de doorgaande bodemdaling veroorzaakt worden door het na-compacteren van het reservoirgesteente (kruip) nadat de druk in het gasveld niet verder afneemt? Kan gesteentekruip veroorzaakt worden door heterogeniteit in de poriegrootte (porositeit) van het gesteente?

Drukdaling watervoerende lagen

Kan de doorgaande bodemdaling veroorzaakt worden door drukdaling in watervoerende lagen die met het gasveld in contact staan?

Onzekerheid in modelvoorspellingen

Welke onzekerheidsmarge moet voor de modelvoorspellingen in acht worden genomen en hoe analyseer je dat?



Landmeten (Geodesie)

Landmeetkunde is een discipline die nodig is om de bodemdalingschotel aan het aardoppervlak nauwkeurig in te meten. Op basis van regelmatige hoogte(verschil)metingen wordt beoordeeld of het gebruikte geomechanische model nog wel goed past bij de ontwikkeling van de waargenomen bodemdaling. Een goede meting en interpretatie van de bodemdalingschotel is dus van belang om de geomechanische modellen te kunnen controleren en eventueel bij te stellen. Uit het huidige onderzoek is gebleken dat het geobserveerde tijdsafhankelijke gedrag van de bodemdaling ruim buiten de meetonzekerheid valt en dus een echt fenomeen is.

Onderzoek ter verbetering van de geodetische analyses heeft zich gericht op het doorlichten en verbeteren van het proces van dataverwerking en analyse. Hiervoor is samengewerkt tussen onderzoekers van de Technische Universiteit Delft en van de NAM. Het resultaat is een aantal verbeterpunten voor dit proces. Daarnaast is uitgebreid aandacht besteed aan het analyseren van regionale variaties in de meetfout. Het meten van hoogteverschillen aan de hand van waterpassingen of remote sensing technieken is behoorlijk nauwkeurig. Het probleem is echter dat er allerlei veranderingen in bodemhoogte optreden die niet door gaswinning veroorzaakt worden. Denk daarbij aan bodemdaling door veranderingen in landgebruik of grondwaterpeil. De gemeten bodemdaling is dus de som van de bodemdaling door gaswinning en de bodemdaling als gevolg van allerlei andere oorzaken. Het onderzoek heeft aangetoond dat het mogelijk is in de analyse van de data rekening te houden met dit soort andere effecten. Dit leidt tot significant betere modelvoorspellingen van de door gaswinning veroorzaakte bodemdaling.

Zoutkruip

De meeste gasvelden in Nederland zijn aan de bovenkant afgedekt door een dikke laag steenzout. Deze laag is onder Noord Nederland een paar honderd meter dik. Steenzout is een visceus gesteente dat onder de hoge druk en temperatuur in de ondergrond eigenschappen heeft die vergelijkbaar zijn met een heel stroperige vloeistof. Hierdoor kan het in theorie zo zijn dat de compactie in het gasveld een trage stroming in het bovenliggende zoutpakket opwekt die de vorm van de bodemdalingsschotel beïnvloedt. Als gevolg daarvan is het mogelijk dat direct boven het gasveld en grotere bodemdaling ontstaat, terwijl aan de randen van de bodemdalingsschotel de dalingssnelheid juist verminderd wordt. Hierdoor zou de bodemdalingsschotel wat smaller en dieper kunnen worden. Omdat voor Ameland een smallere en diepere bodemdalingsschotel wordt waargenomen dan oorspronkelijk werd verwacht, is zoutkruip als onderdeel van onderzoek opgenomen in de studie.

Eerder onderzoek aan zoutkruip is in 2011 uitgevoerd door de NAM. In het kader van het huidige onderzoek zijn specialisten van de Faculteit Aardwetenschappen van de Universiteit Utrecht gevraagd om te bestuderen of zoutkruip verantwoordelijk zou kunnen zijn voor de geobserveerde doorgaande bodemdaling boven het Ameland gasveld. Uit dit onderzoek blijkt dat zoutkruip slechts voor een klein deel het tijdsafhankelijke effect van de bodemdaling kan verklaren. Dit blijkt uit het feit dat modelvoorspellingen op basis van een model met zoutkruip in de loop der jaren steeds verder gaan afwijken van de gemeten bodemdaling.

Gesteentekruip

Voor het beschrijven van de relatie tussen het inklinken van het zandsteenreservoir en de daling van de gasdruk in dat reservoir, wordt de samendrukbaarheid van dit gesteente bepaald in het laboratorium. Voor dergelijke metingen worden stukken gesteente uit boorkernen gebruikt, waarbij zandsteenmonsters onder hoge druk en temperatuur worden blootgesteld aan een drukafname in de poriën. Hierbij wordt zoveel mogelijk de situatie in de ondergrond nagebootst, zoals die tijdens gaswinning optreedt. Naast de samendrukbaarheid van het zandsteenmonster werd in dit deel van het onderzoek ook specifieke aandacht besteed aan het tijdsafhankelijke inklinken ervan. Dit naijleffect wordt in gesteenten ook wel "kruip" genoemd. Dit onderzoek vond plaats in het laboratorium van Shell, in Rijswijk, waar speciaal voor deze studie gepecialiseerde apparatuur werd gebouwd om deze metingen te kunnen verrichten.

Voor het huidige onderzoek werd gebruik gemaakt van 'vers' reservoirgesteente uit een boorkern van een put die in 2012 in het gasveld Nes is geboord vanaf de locatie Moddergat. Voor een groot aantal monsters uit deze boorkern is de samendrukbaarheid en het tijdsafhankelijke gedrag bepaald.

De resultaten van het laboratoriumwerk hebben laten zien dat de samendrukbaarheid van het gesteente in principe de omvang van de waargenomen bodemdaling kan verklaren, maar niet direct de tijdsafhankelijkheid. Ongeveer 80% van de vervorming treedt direct op als gevolg van de gasdruk daling in de gesteentemonsters en ongeveer 20% in de weken daarna, als de gasdruk al gedaald is tot een minimum. De 20% extra vervorming kan dus gezien worden als een naijleffect. Omdat de waargenomen tijdsafhankelijkheid van de bodemdaling boven het Amelandveld op een veel langere tijdschaal speelt, is het aannemelijk dat ook andere processen buiten het gasveld meewerken.

Gasstroom door het gesteente

Het gas zit in de poriën van het gesteente, dat is de ruimte tussen zandkorrels in de zandsteen. Poriën zijn er in alle soorten en maten. Tezamen vormen de poriën in het gesteente een heterogene structuur. Gassen en vloeistoffen stromen snel door grote poriën/kanalen, terwijl de kleinere poriën/kanalen veel langzamer het gas doorlaten. Zeer kleine (micro) poriën zijn zeer slecht doorlatend, waardoor het heel erg lang kan duren voordat het gas uit deze 'haarvaten' van het gesteente naar de grotere poriën stroomt. Afhankelijk van het gesteente kan dit misschien wel jaren duren. Dit kan ertoe leiden dat terwijl gasdruk in het totale gasveld erg laag is, de gasdruk in sommige poriën nog vrij hoog is en langzaam afneemt doordat dit gas gestaag aan grotere poriën wordt doorgegeven. Als de gasdruk ook in de kleine poriën afneemt kan dit theoretisch tot extra, maar vertraagde compactie van het gesteente leiden die door blijft gaan ook nadat de gaswinning is gestopt. De studie heeft laten zien dat dit effect mogelijk belangrijk is en in modelleringen meegenomen moet worden.

Drukdaling in watervoerende lagen

De porieruimte van de ondergrond is gevuld met zout water behalve op de plekken waar gas zit opgesloten. Daar waar water en gas contact maken treden fysische processen op die vaak voor ondoordringbare of moeilijk doordringbare scheidingen tussen het gas en het water kunnen zorgen. Er zijn echter ook voorbeelden van situaties waarin er wel instroming van het water in een gasveld plaatsvindt. Voor het berekenen van de bodemdaling is het belangrijk om te weten of het water in het gasveld gemakkelijk, moeilijk of niet kan gaan stromen wanneer de gasdruk in de aangrenzende laag afneemt. Als dat water kan gaan stromen zal de druk in de watervoerende laag, ook wel aquifer genoemd, afnemen en wordt ook die laag samengedrukt. Hierbij kan de bodemdaling dieper worden indien het water onder het gasveld gaat stromen of breder worden indien het water vanuit een naastgelegen watervoerende laag het gasveld instroomt. Onderzoek naar een mogelijk rol voor de watervoerende laag onder het Ameland gasveld is uitgevoerd door reservoir engineers van de NAM.

De onderzoekresultaten wijzen uit dat er gasbelletjes in het water moeten zitten om het tijdsafhankelijke gedrag in de geobserveerde bodemdaling via de aquifer te modelleren. Metingen laten zien dat er redelijk veel kleine gasbelletjes moeten zitten in het watergevulde zandsteenlagen onder en naast het eigenlijke gasveld. Als de druk iets afneemt worden die gasbelletjes iets groter en gaan ze de poriën in het gesteente verstoppen. Hierdoor stroomt water minder makkelijk richting het gasveld als daar de druk afneemt. Pas bij een zeker drukverschil tussen beide lagen zal het water de gasbelletjes wegduwen, waarna het water het gasveld in kan stromen. Als dit gebeurt zal ook de watervoerende laag langzaam en vertraagd compacteren. Uit het onderzoek blijkt dat een vertraagde druksdaling in de watervoerende lagen onder het Ameland gasveld niet kan worden uitgesloten als een mogelijke verklaring voor de doorgaande bodemdaling. Metingen van de huidige druk en gasconcentratie in de aquifer zouden hier inzicht in kunnen verschaffen.

Onzekerheid in modelvoorspellingen

Er zijn verschillende modellen en varianten van modellen die het compactiegedrag van een gasveld en de daaruit voorkomende bodemdaling beschrijven. Modellen die goed presteren in de eerste jaren van gasproductie moeten in de loop van het productieproces soms worden aangepast of vervangen. Momenteel gebeurt dat niet op een systematische manier, maar is de modelkeuze het resultaat van een discussie tussen onderzoekers van de NAM en de toezichthouder SodM.

Wanneer voorspellingen die gebaseerd zijn op combinaties van modellen en verschillende parameterwaarden, vergeleken worden met gemeten bodemdalingdata, is daar een analysetechniek voor nodig die leidt tot het selecteren van het best presterende model. Dat is het

model waarvan de voorspellingen, met de laagste onzekerheid, het best overeen komen met gemeten data. Het onderzoek heeft zich gericht op het definiëren van een methode aan de hand waarvan modelselectie op een optimale en objectieve wijze kan plaatsvinden. Deze analyse moet tevens de onzekerheidsmarges op de modelvoorspellingen inzichtelijk maken.

Dit onderzoek is uitgevoerd door statistici van Shell in Manchester en Amsterdam. Het resultaat is een analysetechniek die gebaseerd is op zogenaamde Bayesiaanse statistiek. Uniek aan deze statistiek is dat er gebruik kan worden gemaakt van zowel bestaande ('a-priori') kennis over bepaalde (geomechanische) processen of metingen aan het reservoirgesteente, alsook van het vermogen van verschillende modellen om de gemeten bodemdaling te voorspellen.

Vervolg

Nu het onderzoek naar mogelijke achtergronden van het waargenomen tijdsafhankelijke effect in het bodemdalingsgedrag van Ameland is afgerond is de implementatie van de resultaten in een werkelijke modellering van een Waddenveld in voorbereiding. Het komende jaar wordt dit programma uitgevoerd; zeer waarschijnlijk middels een nieuwe bodemdalingsmodellering van het Amelandveld waarbij de leerpunten uit het gedane onderzoek worden meegenomen. De voortgang van dat proces zal te volgen zijn op de website van de Waddenacademie (<http://www.waddenacademie.nl/themas/geowetenschap/wetenschappelijke-begeleidingscommissie-bodemdaling/>).