

TNO VERTROUWELIJK

Retouradres: Postbus 80015, 3508 TA Utrecht

Ministerie van Economische Zaken en Klimaat
Energie & omgeving
T.a.v. de heer A.F.J. van den Elzen
Postbus 20401
2500 EK DEN HAAG

**Onderwerp**

Advisering toepasbaarheid LTS-II systematiek op kleine gasvelden

Geachte heer van den Elzen,

Per e-mail d.d. 15 augustus 2018 heeft u TNO-AGE verzocht advies uit te brengen over de vraag, in welke mate de toepassing van de LTS-II systematiek ook voor andere kleine gasvelden mogelijk en wenselijk is.

U heeft gevraagd daarbij onderscheid te maken tussen:

1. De velden, die binnen het kader van het winningsplan Moddergat, Lauwersoog en Vierhuizen (MLV) een bijdrage leveren aan de bodemdaling onder de Waddenzee;
2. De andere kleine velden binnen het territoire: de vraag is, in hoeverre dit op hoofdlijnen een alternatief of aanvulling zou kunnen zijn voor de tot nu toe toegepaste methodieken.

TNO-AGE is van mening dat de LTS-II systematiek een flexibele en adequate aanpak is voor de verificatie van modelmatige prognose van bodemdaling tegen meetgegevens, waarbij de onzekerheden worden gehonoreerd.

Toepassing van de LTS-II systematiek op de Ameland velden laat zien dat de evaluatie en prognose van bodemdaling voor een gasveld in een complexe geologische opbouw mogelijk is. De LTS-II systematiek laat zien dat hij goed in staat is met onzekerheden om te gaan en de bandbreedte van onzekere modelparameters gaandeweg te verkleinen. Dit komt de betrouwbaarheid van de bodemdalingsvoorspellingen ten goede.

TNO-AGE acht het mogelijk en ook wenselijk deze systematiek toe te passen op de velden binnen het kader van het winningsplan MLV. De toepassing van de systematiek staat overigens los van de keuze per veld van de individuele modelcomponenten en hun modelparameters binnen de systematiek. De geologische complexiteit van een specifiek gasveld en zijn geologische omgeving dient leidend te zijn voor de keuze en mate van complexiteit van de individuele modelcomponenten.

Princetonlaan 6
3584 CB Utrecht
Postbus 80015
3508 TA Utrecht

www.tno.nl

T +31 88 866 42 56

Datum

26 november 2018

Onze referentie

AGE 18-10.090

Contactpersoon

Drs. M.P.D. Pluymaekers

E-mailmaarten.pluymaekers@tno.nl**Doorkiesnummer**

+31888664427

Op opdrachten aan TNO zijn de Algemene Voorwaarden voor opdrachten aan TNO, zoals gedeponneerd bij de Griffie van de Rechtbank Den Haag en de Kamer van Koophandel Den Haag van toepassing. Deze algemene voorwaarden kunt u tevens vinden op www.tno.nl.
Op verzoek zenden wij u deze toe.

Handelsregisternummer 27376655.

TNO VERTROUWELIJK

TNO VERTROUWELIJK

Datum

26 november 2018

Onze referentie

AGE 18-10.090

Blad

2/7

Voor de overige kleine velden binnen het territorium is er momenteel geen voorgeschreven of standaard systematiek voor de bodemdalingsprognose. Het voornemen tot uniformering van een systematiek voor de kleine velden is voorzien in de opstelling van een *Industrieleidraad bodemdaling deel 2* onder regie van SodM. TNO-AGE ondersteunt dit voornemen en beveelt aan de lessen die geleerd zijn uit de LTS studie mee te nemen in de opstelling van de industrieleidraad.

In de bijlage is de technische onderbouwing van het advies opgenomen.

Wij verwachten u hiermee van dienst te zijn geweest.

Hoogachtend,



Drs. J.A.J. Zegwaard
Hoofd Adviesgroep Economische Zaken

TNO VERTROUWELIJK

Datum
26 november 2018

Onze referentie
AGE 18-10.090

Blad
3/7

Technische onderbouwing advies

In deze technische onderbouwing wordt eerst de LTS-II systematiek in algemene zin besproken. Vervolgens wordt er nader ingegaan op de toepassing van de systematiek op de Ameland velden. Daarna wordt de toepasbaarheid van de systematiek en de wenselijkheid hiervan op de andere Wadden velden besproken. Als laatste wordt er kort ingegaan op de toepasbaarheid van de systematiek op de overige velden binnen het territorium.

LTS-II systematiek

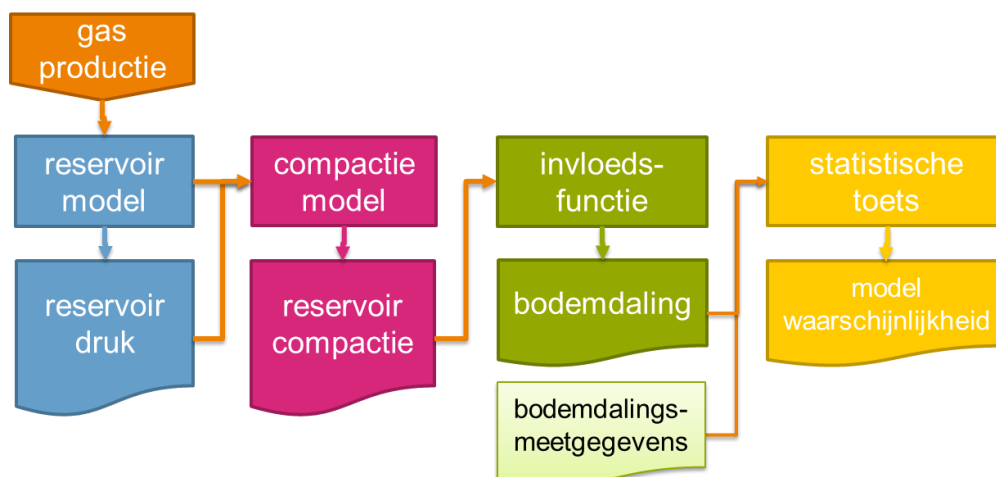
Het "Long Term Subsidence" (LTS) [1] onderzoeksprogramma was gericht op een beter begrip van de fysische mechanismen van de waargenomen tijdsafhankelijke effecten in het bodemdalingsgedrag. Het onderzoek gaf aan, dat het bodemdalingsgedrag van het Ameland veld door meerdere tijdsafhankelijke mechanismen kan worden verklaard:

- tijdsafhankelijke effecten van het compactie gedrag (kruip) van het reservoirgesteente.
- doorgaande drukdepletie binnen een aan het gasveld verbonden aquifer, ook na beëindiging van de gasproductie.
- zoutkruip in het overliggende zoutpakket (volume neutraal).

De vervolgstudie LTS-II [2] had tot doel de bevindingen van de LTS studie onder te brengen in een generieke modelsystematiek en die toe te passen op de Ameland gasvelden (Ameland-Oost, Ameland-Westgat & N07-FA).

De LTS-II systematiek kan omschreven worden als een modelketen in een probabilistisch raamwerk (Figuur 1) met opeenvolgend:

- een dynamisch reservoirmodel voor de reservoirdruk ontwikkeling,
- een model voor de compactie van het reservoir gesteente,
- een invloedsfunctie die de reservoir compactie vertaalt naar bodemdaling,
- een statistische toets die de mate van passing tussen het bodemdalingsmodel en de bodemdalingsmeetgegevens (z.g. dubbele verschilmeting) evalueert.



Figuur 1 Bodemdalingsmodelketen

Datum

26 november 2018

Onze referentie

AGE 18-10.090

Blad

4/7

De keuze voor, en mate van complexiteit van, reservoirmodel, compactiemodel, invloedsfunctie en statistische toets is in wezen onafhankelijk van de LTS-II systematiek.

De modelresultaten worden met de bodemdalingsmeetgegevens vergeleken en door middel van een statistische toets wordt de waarschijnlijkheid van de modelrealisatie bepaald. Het doorrekenen van een verzameling (*ensemble*) van verschillende modelrealisaties - met verschillende modelparameters - resulteert in een bodemdalingsprognose met onzekerheidsbandbreedte.

In feite worden in de systematiek de modelparameters aangeboden met een bandbreedte, die a priori de onzekerheid van de parameterwaarden representeert (d.w.z. zonder gebruikmaking van meetgegevens). Na confrontatie met de data resulteert dit in een a posteriori bandbreedte van elke modelparameter. Deze posterior bandbreedte is specifiek voor elk veld en is doorgaans, als resultaat van de modelsystematiek, kleiner dan de aangeboden a priori bandbreedte. Door dit leerproces neemt de betrouwbaarheid van de bodemdalingsvoorspellingen toe.

De LTS-II modelsystematiek is een zeer specialistisch gereedschap. De effectiviteit van het gebruik deze systematiek hangt samen met een weloverwogen modelkeuze én meetprogramma.

Deterministische scenario systematiek

Alternatief voor de LTS-II model systematiek is een modelaanpak gebaseerd op scenario's. In een scenario aanpak worden modelparameters doorgaans gekozen op basis van een enkele waarde die een goede passing met meetgegevens oplevert. Als er meerdere processen een rol spelen is het mogelijk dat verschillende combinaties van modelparameterkeuzes leiden tot een vergelijkbare passing met de bodemdalingsmeetgegevens. Dit effect wordt versterkt als deze processen tijdsafhankelijk zijn. De voorspellende waarde van een enkel scenario is daarom nihil.

Voorkeur TNO-AGE

TNO-AGE heeft de voorkeur voor een probabilistische modelaanpak zoals beschreven in de LTS-II systematiek boven een aanpak gebaseerd op scenario's. Een probabilistische aanpak geeft een objectieve modelvalidatie. Daarnaast borgt deze methode het behoud van mogelijk parameter correlatie als deze niet expliciet gemodelleerd wordt, en heeft het voorspellend vermogen.

Toepassing LTS-II systematiek op de Ameland velden

Evaluatie door TNO-AGE van de toepassing van de LTS-II systematiek op de Ameland velden richt zich met name op de specifieke keuze van de reservoir modellen, compactiemodel en invloedsfunctie met de bijhorende modelparameters en hun onzekerheidsbandbreedte.

De resultaten van de LTS-II vervolgstudie [2], waarin de ontwikkelde systematiek is toegepast op de Ameland velden, laten het belang zien van de keuze voor, en kwaliteit van, de individuele modellen binnen de modelsystematiek [3, 4]. Met name de verbetering van de reservoirmodellen heeft geleid tot een betere passing met de meetgegevens en een hogere waarschijnlijkheid van de modelrealisaties.

Datum

26 november 2018

Onze referentie

AGE 18-10.090

Blad

5/7

In aanvulling hierop zijn er in de evaluatie van de LTS-II vervolgstudie door TNO-AGE een aantal suggesties gedaan [4] ter verdere verbetering van de passing tussen model en meting.

Bij de toepassing van de LTS-II systematiek dienen alle onzekerheden geïncorporeerd te worden in de modellen. Met betrekking tot het reservoirmodel heeft dit geleid tot een groot aantal scenario's, waarin voornamelijk het mogelijke aquifer gedrag (in zowel horizontale als verticale richting) is gevarieerd. Het gebruikte rate-type compactiemodel (RTCiM) biedt de flexibiliteit om met effectief drie parameters verschillende varianten voor tijdsafhankelijk compactiegedrag te modeleren. Het dikke zoutpakket dat boven het reservoirgesteente ligt heeft invloed op de vorm (diepte & steilheid) van de bodemdalingsskom, afhankelijk van mate van zoutkruip. De gebruikte invloedsfunctie (cf. van Opstal) om reservoircompactie te vertalen naar bodemdaling laat het toe het effect van onzekerheid in de zoutviscositeit op zoutkruip te bepalen.

Toepassing van de LTS-II systematiek op de Ameland casus laat zien dat de evaluatie en prognose van bodemdaling voor een gasveld in een complexe geologische opbouw mogelijk is. Ondanks de 30 jaar lange productiegeschiedenis en ruime beschikbaarheid van (geologische) data, blijven er onzekerheden bestaan die invloed hebben op de bodemdalingsprognose. De LTS-II systematiek laat zien dat het goed in staat is met deze onzekerheden om te gaan en de bandbreedte van de parameters te verkleinen.

De ontwikkeling van de LTS-II systematiek heeft het belang van de kwaliteit van de individuele modelcomponenten aangetoond. De confrontatie van de modelrealisaties met de gemeten bodemdaling door middel van een statistische test geeft een maat voor de kwaliteit van de modellen. In het geval de modelcomponenten niet goed genoeg de werkelijkheid representeren zal dit duidelijk worden in de statische test, en is er noodzaak tot verbetering van de modellen. Dit heeft geleid tot de implementatie van verschillende compactie modellen en invloedsfuncties. Ook voor de statistische toets zijn in de loop van de tijd verschillende versies ontwikkeld en getest.

De toepassing van de LTS-II systematiek op Ameland heeft geleid tot een keuze voor bepaalde modelcomponenten en bandbreedte van modelparameters. Bij toekomstige bodemdalingsmodellering van andere velden kan de opgedane kennis als startpunt worden genomen en daarop verder worden voortgebouwd.

Toepasbaarheid LTS-II systematiek op de overige Wadden velden

Op hoofdlijnen zijn de geologische kenmerken voor de gasvelden in en rond de Waddenzee vergelijkbaar met die van de Ameland velden. Dit betekent dat de gebruikte modelcomponenten in de Ameland studie ook toegepast kunnen worden op de overige Wadden velden [3, 4]. Het toepassen van de LTS-II systematiek leidt dan tot een tot een nieuwe onzekerheidsbandbreedte van de modelparameters na confrontatie met de meetgegevens die specifiek van toepassing is op deze velden. Het is waarschijnlijk dat dit in ieder geval voor een aantal parameters anders uitpakt in vergelijking met Ameland.

Datum

26 november 2018

Onze referentie

AGE 18-10.090

Blad

6/7

In de uitvoering van de Meet- en Regelcyclus 2017 voor de gaswinning van de locaties Moddergat, Lauwersoog en Vierhuizen (M&R 2017) [5] zijn de inzichten uit de LTS studie en toepassing op Ameland verwerkt in de modellering van de bodemdaling. Dit heeft onder meer geleid tot een -op hoofdlijnen- vergelijkbare bodemdalingsmodellering met die in de LTS-II studie. Het gebruik van deze modellen heeft geleid tot een betere passing met de GPS meetgegevens voornamelijk bij de productielocatie Anjum. De volledig probabilistische aanpak in de LTS-II systematiek is (nog) niet gevolgd; de statistische toetsing van bodemdalingsmodel -en meetgegevens met als resultaat een modelwaarschijnlijkheid is niet uitgevoerd. Wel is er op basis van verschillende modelrealisaties een keuze gemaakt voor een laag, midden en hoog scenario, waar het midden scenario het best overeenkomt met de bodemdalingsmeetgegevens, en het hoge en lage scenario een maat voor de onzekerheid is. TNO-AGE ziet geen technische belemmeringen om de volledige LTS-II systematiek toe te passen op de velden binnen het kader van het winningsplan MLV. Voor de keuze voor de individuele modelcomponenten (reservoirmodel, compactiemodel, invloedsfunctie en statistische toets) gaat de voorkeur uit naar: simpel waar mogelijk, complex waar nodig.

De toepassing van de LTS-II systematiek voor bodemdalingsprognose voor mogelijk nog te ontwikkelen gasvelden wijkt af van de toepassing op al producerende velden. De resultaten van de bodemdalingsmodellering kunnen immers nog niet getoetst worden bij gebrek aan meetgegevens. Het volgen van de LTS-II modelsystematiek resulteert in dit geval in een gevoeligheidsanalyse waarin aan alle modelrealisaties een gelijke waarschijnlijkheid wordt toegekend. De kennis die opgedaan is aan de hand van de nu producerende Waddenvelden kan wel meegenomen worden in de bepaling van de initiële waarschijnlijkheidsverdeling van de modelparameters.

Wenselijkheid toepassing LTS-II systematiek op de overige Wadden velden

Begrip van de tijdsafhankelijke bodemdalingseffecten voor de gasvelden die zich (deels) onder de Waddenzee bevinden is een voorwaarde voor een goede prognose van de bodemdaling.

Ondanks de kennisontwikkeling met betrekking tot de lange termijn effecten van gaswinning op de bodemdaling blijven er (tijdsafhankelijke) processen die leiden tot onzekerheid in de bodemdalingsprognose. Deze onzekerheidsbandbreedte kan doorgaans niet worden verkleind door data acquisitie. Toepassen van de LTS-II systematiek kan leiden tot verkleining van onzekerheidsbandbreedte en een grotere waarschijnlijkheid van bodemdalingsprognose.

TNO-AGE acht het wenselijk dat op de Wadden velden de (volledige) LTS-II systematiek wordt toegepast. In vergelijking met een systematiek gebaseerd op scenario's zoals beschreven in de M&R 2017 [5] is de verwachting dat de LTS-II modelsystematiek leidt tot een meer objectieve modelvalidatie op basis van een realistisch ingeschatte waarschijnlijkheidsverdeling van de modelparameters.

Datum
26 november 2018**Onze referentie**
AGE 18-10.090**Blad**
7/7

Toepasbaarheid LTS-II systematiek op de overige kleine velden binnen het territoire

Voor de overige kleine velden binnen het territoire is er momenteel geen standaard richtlijn voor het opstellen van een bodemdalingsprognose. Gangbaar is een prognose van reservoircompactie op basis van de modelmatig voorspelde drukdaling. Voor de prognose van de bijdrage van de gaswinning aan de bodemdaling wordt reservoircompactie omgezet met behulp van een invloedsfunctie cf. de methode Van Opstal. Al naar gelang de geologische omstandigheden van het gasveld en voorkeur van de uitvoerder wordt er een keuze gemaakt voor de complexiteit van het reservoir -en/of compactiemodel. Bodemdalingsmeetgegevens, indien beschikbaar, worden gebruikt voor kalibratie van modelparameters. In het geval dat er een onzekerheidsanalyse wordt uitgevoerd is dit veelal op basis van variatie van modelparameters van het compactiemodel. Dit gebeurt vaak op basis van een hoog, midden en laag scenario waarin zowel verwachte reservoirdruk als geomechanische modeparameters gevarieerd worden.

Met uitzondering van een beperkt aantal velden is in het algemeen de bodemdaling van de kleine velden van een orde van grootte kleiner dan die van Ameland en in de regel een aantal centimeters. Per veld zal moeten worden bekeken of toepassing van de LTS-II systematiek in zijn volle omvang passend is en een meerwaarde heeft voor de bodemdalingsprognose gelet op de geologische complexiteit en beschikbaarheid van data.

SodM heeft recent initiatief genomen om te komen tot een *industriëleidraad bodemdaling deel 2* (de bestaande Leidraad handelt over de geodetische aspecten). TNO-AGE ondersteunt dit initiatief en beveelt aan de lessen die geleerd zijn uit de LTS studie mee te nemen in de opstelling van de industriëleidraad.

Referenties

- [1] NAM, 2015, Wadden Sea Long term Subsidence Studies –Overview report, EP201506209625.
- [2] NAM, 2017, Ensemble Based Subsidence application to the Ameland gas field – long term subsidence study part two (LTS-II) continued study, EP201710200509, 20-10-2017.
- [3] SodM, 8 feb 2018, Long Term Subsidence vervolgstudie en dwangsombesluit AWG.
- [4] TNO, 2018, Langetermijneffecten van gaswinning op bodemdaling; Evaluatie van de LTS-II model systematiek toegepast op het Ameland gasveld review LTS-II. TNO 2018 R10859.
- [5] NAM, 2018, Gaswinning vanaf de locaties Moddergat, Lauwersoog en Vierhuizen; Resultaten uitvoering Meet- en regelcyclus 2017, EP201802200641.