

Winschoten bevingen, 19-11-2017 <draft>

R&D Seismologie en Akoestiek, KNMI.

Op 19 november 2017 werd een beving waargenomen in de buurt van Winschoten. Bij nadere inspectie bleek het een successie van tenminste 4 bevingen te betreffen met korte tussenpozen (ordegrootte 10 seconden). De epicentra lagen binnen de omsluiting van het Groningen gasveld. Echter, de signatuur van de bevingen kwam niet overeen met aardverschuivingen op de diepte van het gasreservoir. Bovendien was het Groningen gasveld nog niet seismisch actief geweest nabij Winschoten. Een mogelijke alternatieve oorzaak is zoutwinning. De epicentra liggen nabij zoutcavernes in de Heiligerlee zoutdiapier. Deze cavernes zijn gemijnd op dieptes tussen ongeveer 600 en 1600 m. Onderstaand een snelle analyse om te bepalen of de diepte van de bevingen overeen kan komen met een mogelijke verschuiving of ineenstorting bij een van de cavernes. Alleen de reistijden van de grootste beving worden gebruikt. Een meer precieze analyse vergt o.a. de implementatie van een 3D snelheidsmodel, hetgeen pas mogelijk is in januari 2017 (zie discussie).

Analyse

De bevingen werden het sterkst waargenomen bij station G57 van het KNMI seismisch netwerk (Figuur 1). Ook alle nabijgelegen stations hebben de bevingen waargenomen. De meest energieke seismische golven zijn nog tot een afstand van 15 km geregistreerd.

Figuur 1(a) toont ook de diepte van de Noordzeegroep sedimenten. De locaties van de zoutdiapieren zijn te herkennen als plekken waar bovenliggende sedimenten omhoog zijn gestulpt. In rood zijn te zien de Heiligerleediapier nabij Winschoten en de Zuidwendingdiapier nabij Veendam.

Een eerste locatie werd gedaan met het KNMI's operationele bevingen detectie- en locatiesysteem (SeisComp3). Deze locatie is op grond van aankomsttijden van de directe P-golven van de sterkste beving, gebruikmakende van een 1D snelheidsmodel. Figuur 1(a) toont de locatie als een blauwe stip nabij de apex van de Heiligerleediapier.

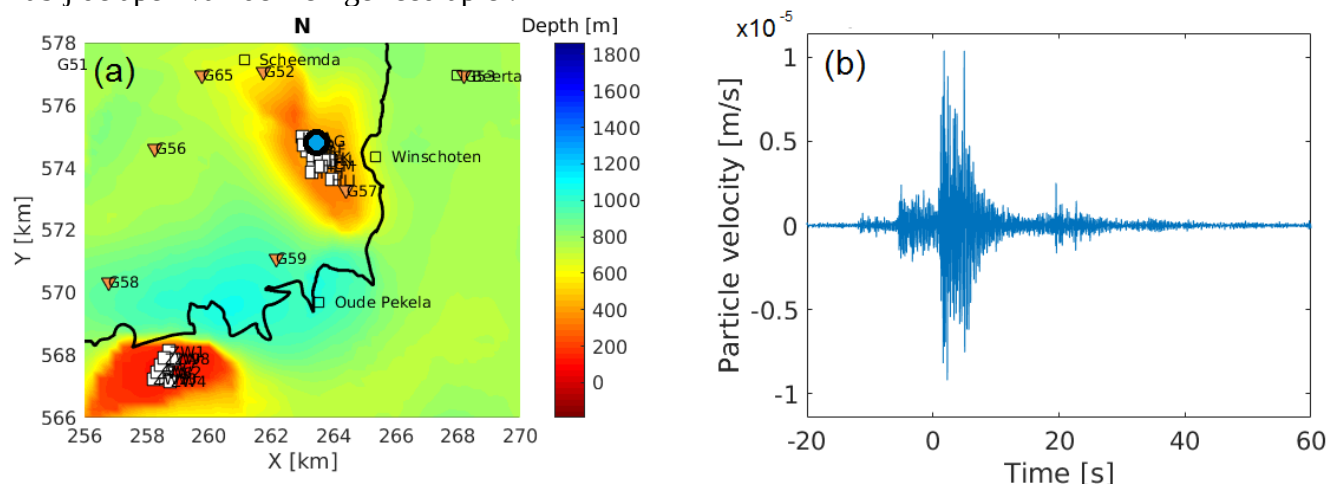


Fig. 1: (a) Gebied rondom Winschoten met weergegeven de diepte van de Noordzeegroep sedimenten (kleurenschaal), de grens van het Groningen gasveld (zwarte lijn), KNMI seismische stations (oranje driehoekjes), zoutcavernes (witte vierkantjes) en de Seiscomp3 locatie (blauwe stip). (b) verticale component registratie bij sensor G574 (het 200 m diepteniveau van station G57). De nultijd komt overeen met 14:00:48 UTC (15:00:48 lokale tijd) op 19-11-2017.

Figuur 2 toont de seismogrammen bij de twee dichtstbijzijnde stations, zowel in het tijdsdomein (boven) als in het tijds-frequentiedomein (onder). Er zijn tenminste 4 bevingen te onderscheiden, van verschillende grootte. Als nultijd is gekozen de hypocentrale tijd van de SeisComp3 oplossing voor de grootste beving. Alleen bij deze grootste beving zijn de aankomsttijden van de P- en S-golf goed te onderscheiden. Dit maakt het mogelijk een meer precieze locatie te verkrijgen.

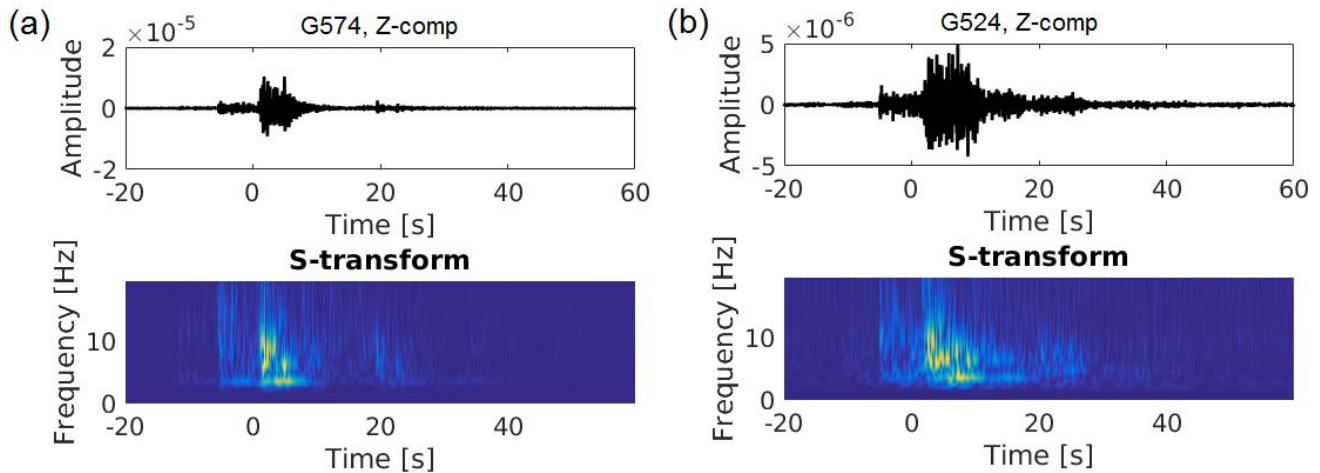


Fig. 2: Registratie van de Winschoten 19-11-2017 events bij de twee dichtstbijzijnde seismische sensoren, te weten G574 (a) en G524 (b). Op bovenliggende panels staan de registratie in het tijdsdomein, op onderliggende panels in het tijds-frequentiedomein.

Figuur 3 toont de 3 componentenmetingen van alle boorgatsensoren bij stations G52 en G57. Door het gebruik van 3 componenten (grondbeweging in 3 orthogonale richtingen) en door de golven te volgen over verschillende diepteniveaus, kunnen de reistijdsverschillen van (directe) P- en S-golven bepaald worden.

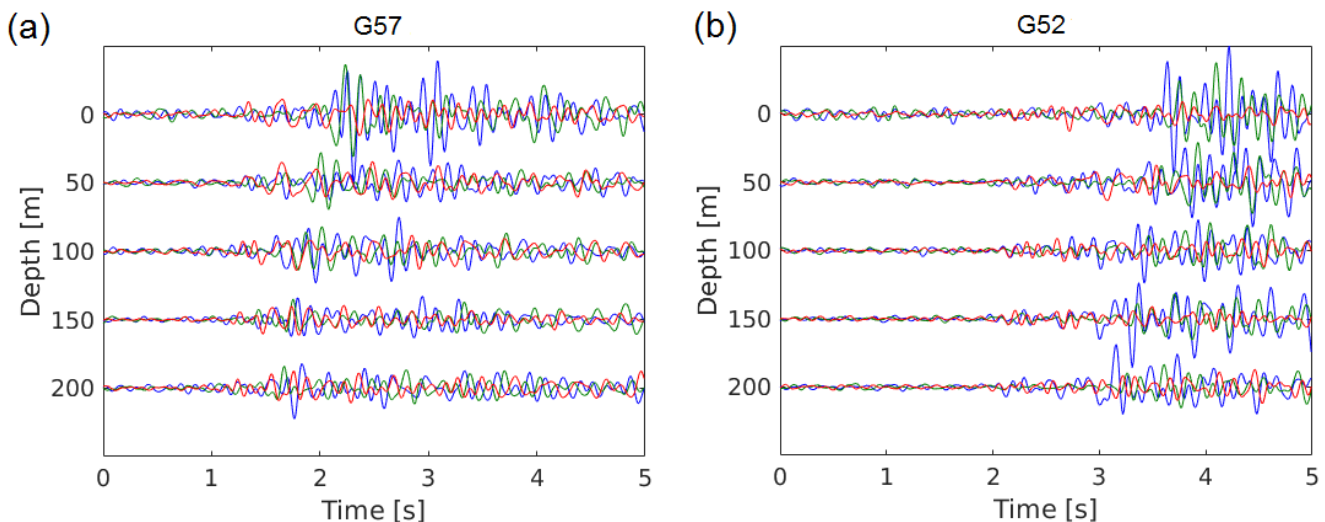


Fig. 3: 3-componentenmetingen op 5 diepteniveaus bij station G57 (a) en G52 (b). De verticale, radiale en transversale grondbewegingen worden weergegeven met, respectievelijk, rode, blauwe en groene lijnen.

In Figuur 1(a) valt te zien dat het epicentrum verkregen met SeisComp3 dichtbij de lijn tussen stations

G52 en G57 ligt. Voor deze lijn wordt een doorsnede gemaakt van het 3D snelheidsmodel (Figuur 4a). De aanname wordt gemaakt dat de beving precies in dit vlak ligt. Met deze aanname wordt het 2D snelheidsmodel in Figuur 4(a) gebruikt om het hypocentrum van de beving te bepalen. Dit hypocentrum is de snijlijn tussen de twee bogen in Figuur 4(a). Figuur 4(b) toont het SeisComp3 epicentrum (zwart rondje) en het nieuwe epicentrum (groen rondje).

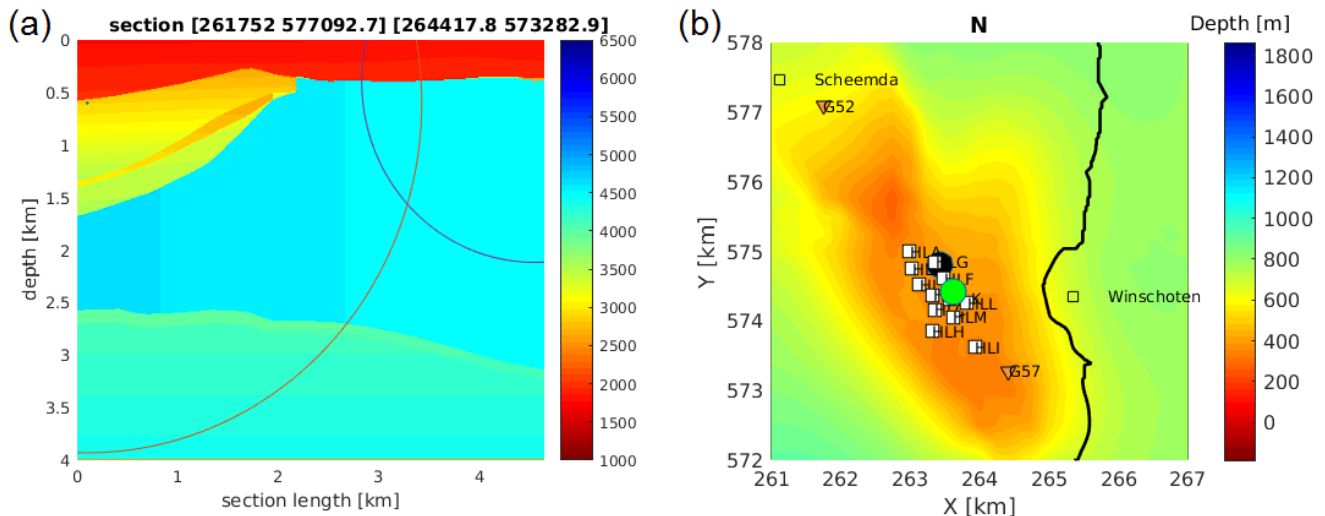


Fig. 4: (a) Dwarsdoorsnede door het DGM-deep P-golf snelheidsmodel tussen station G52 (links) en G57 (rechts). De rode en blauwe lijn geven locaties weer die overeenkomen met P-S tijdsverschillen gemeten bij, respectievelijk, G574 en G524. Het snijpunt geeft een bepaling van het hypocentrum. (b) Het SeisComp3 epicentrum (zwart rondje) en het nieuwe epicentrum (groen rondje) geplot op een dieptekaart van de basis Noordzeegroep. Ook zijn zoutcavernes in de Heiligerleediapier weergegeven met witte vierkantjes.

Bij bovenstaande analyse hebben we de karakteristieken van de kalklaag (geelgroene gebied in Figuur 4a) niet meegenomen. Dit leidt tot een overschatting van de diepte en een te verre plaatsing naar het zuidoosten. Om hiervoor weer te corrigeren hebben we de locatie voorlopig gezet op $(x,y,z) = (263.6, 574.4, 1.0)$ [km] in rijksdriehoekskoordinaten, hetgeen overeenkomt met $(\text{lat}, \text{lon}, z) = (7.0108, 53.1454, 1.0)$ [deg, deg, km] in wgs84.

Discussie

De huidige plaatsbepaling doet vermoeden dat er op 19 november instortingen hebben plaatsgevonden bij tenminste een van de Heiligerlee zoutcavernes. Alleen de locatie van de grootste beving is bepaald. De plaatsbepaling sluit een oorzaak aan het aardoppervlakte, en op de diepte van het gasreservoir, uit. De locatie van de beving is echter niet precies genoeg om een caverne en een precieze diepte aan te kunnen wijzen. De grote onzekerheid in de plaatsbepaling heeft twee voornaamste redenen.

1. Het bepalen van aankomsttijden is niet eenduidig. Dit wordt veroorzaakt door het gedeeltelijk overlappen van golfaankomsten van verschillende bevingen (tenminste 4). Daarnaast is de ondergrond zeer complex waardoor het pakket van seismische golfaankomsten bij elke station varieert.
2. De bovenste paar km van de ondergrond rondom Heiligerlee kent grote snelheidsverschillen, zowel in diepte als lateraal. Dit 3D snelheidsmodel is nog niet goed meegenomen.

Plaatsbepaling kan verbeterd worden door

- 1) Zowel P- als S- aankomsten te verkrijgen van de verschillende (sub) bevingen. P- en S- moeten consistent zijn. Dit feit maakt het mogelijk slechte picks te identificeren en te corrigeren.

2) Het 3D snelheidsmodel te gebruiken. Een 3D raytracer of fast marching methode moet geïmplementeerd worden.

Voor een verdere karakterisatie zijn de volgende stappen nodig:

3) Analyse van een paar weken data voor en na 19 november om voor- en naschokken te detecteren.

4) Zo snel een goede schatting voorhanden is van de diepte en het epicentrum moet een attenuatiemodel geschat worden. Voor dergelijke ondiepe bevingen hebben we nog geen model. Dit attenuatiemodel is nodig om de magnitude(s) te bepalen.

5) Het berekenen van Green's functies in een 3D snelheidsmodel om te kunnen inverteren voor het type beving, en de eigenlijke inversie.

Voor stappen 1-4 hebben we tools grotendeels in huis en kunnen we tot een sterke verbetering komen met 80 manuren, inclusief rapportage. Voor stap 5 zouden we nog expertise op moeten bouwen. Tot nu toe hebben we alleen moment-tensor inversies gedaan voor relatief grote bevingen (groter dan $M=1.5$) waarvoor genoeg laagfrequente golfaankomsten voorhanden zijn. Voor de Heiligerlee bevingen zou het tijdrovend zijn om goede 3D Green's functies te verkrijgen en is het nog onzeker of de data voldoende signaalruisverhouding heeft voor betrouwbare moment-tensor inversies.