

Tilt metingen

Welke toegevoegde waarde hebben tiltmetingen voor het duidelijk maken van de relatie tussen trillingen/bevingen en schade.

Van belang voor o.a. het aardbevingsbestendig bouwen/herstellen.

Inleiding

In Groningen is er sterkte behoefte om betere data te krijgen over activiteiten in de ondergrond die gepaard gaan met de gaswinning. Ook is er behoefte om processen in kaart te brengen (te meten) die direct of indirect gerelateerd zijn aan de gaswinning en mogelijk ongelijkmatige zettingen kunnen veroorzaken. Niet in de laatste plaats is het van groot belang om bij aardbevingen de relatie tussen de veroorzaakte schade en de trillingen (op het tijdstip van de aardbeving) weer te geven.

Terwijl er tot de aardbeving van Huizinge nauwelijks en zeker niet nauwkeurig is gemeten, wordt nog steeds – ondanks twintig jaar aanbevelingen en meer dan twintig jaar ervaring in het buitenland – op onvoldoende wijze (en zeker niet adequaat) gebruik gemaakt van tiltmeter methoden die continu nauwkeurig kunnen meten. Tiltmeter methoden zijn uitstekend in staat de relatie te leggen tussen productie snelheid en bodemdaling, tussen fraccen en reactie van de ondergrond, tussen injectie en verspreiding van water in de ondergrond, het onderscheid tussen ondiepe en diepe geologische processen, en het exact bepalen van het tijdstip van het ontstaan van een scheur ten tijde van een aardbeving.

Voor experts is het (nog) niet duidelijk of gebrek aan kennis bij Nederlandse kennisinstellingen de oorzaak van het niet inzetten van tiltmeters is, of onwil om de relatie tussen schade en aardbevingen vast te stellen.

Chiel Seinen, voorlichter van de NAM zei op 29 juni jl.: “TNO heeft een partij gezocht die apparatuur kan leveren die meet wat wij **willen** meten en daar is StabiAlert niet als winnaar uit de bus gekomen. De leverancier die TNO koos doet wat het moet doen. Daar zijn we zeer tevreden over.”

“Onderzoek wat wij aan het doen zijn is om onveilige situaties in de toekomst te voorkomen. Daarom zijn er gebouwsensoren. Schade als gevolg van de aardbevingen **is** vervelend maar een **ander vraagstuk dan waar wij de sensoren voor gebruiken om dit aardbevingsonderzoek vorm te geven.**”

Zie: <http://www.rtvnoord.nl/artikel/artikel.asp?p=150941>

Beide antwoorden spreken duidelijke taal.

Om te weten waarom is het goed te weten waar het over gaat en waarom tiltmeters naast versnellingsmeters/accelerometers dienen te worden gebruikt.

De onderwerpen zijn:

1. Heeft de kracht op de schaal van Richter iets te maken met mate van schade?
2. Heeft de intensiteit iets te maken met schade?
3. Geven accelerometers (versnellingsmeters) een indicatie voor schade?
4. Wat meten tiltmeters?
5. Valt zettingsschade hier ook onder?
6. Zijn ze niet eerder aanbevolen als ze zo belangrijk zijn?
7. Opmerkingen
8. Conclusies
9. Aanbevelingen

1. De schaal van Richter

Bevingen kunnen in Groningen, anders dan elders in de wereld, gezien worden als golven in het landschap. Deze ervaring is door verschillende bewoners ook vastgesteld.

Aardbevingen kunnen **gekaracteriseerd** worden **door twee schalen**. De magnitude, bekend als de schaal van **Richter**, is een maat voor de sterkte van de bron van de trillingen.

Chiel Seinen zegt op 10 augustus 2014 dat de les van alle onderzoeken naar de bevingen in Groningen is dat **de schaal van Richter voor Groningen niet geschikt** is. Die schaal moet in feite worden herijkt. Hij heeft hierin gelijk.

De schaal van Richter (of zoals nu 'de moment magnitude') zegt iets over de kracht van een beving. Het is te vergelijken met een rotje dat af gaat op enkele meters afstand. Laat dat zelfde type rotje afgaan in je hand. Beide rotjes hebben dezelfde kracht echter is de impact van de krachten in de hand vele malen erger. Zo is de diepte van de beving enorm belangrijk voor de uitwerking aan het oppervlak.

Een vaste relatie tussen de magnitude en de gevolgen aan het oppervlak bestaat dus niet voor Groningen.

Naast de **diepte** is ook de **grondsamenstelling** van de bovenste 30 tot 60 meter grondlaag bepalend voor de reikwijdte van de aardbeving golven. Er zijn verschillende grondsoorten waardoor de trillingen zich op verschillende manieren voortplanten.

2. De intensiteit

De **intensiteit** is **een maat voor het effect van een aardbeving op een bepaalde locatie**. De intensiteit van een aardbeving is een aanduiding voor wat op een bepaalde plaats wordt waargenomen van een aardbeving, dus wat de effecten zijn op bijvoorbeeld mensen en gebouwen en het landschap. Deze hangt in de eerste plaats af van de magnitude van een beving, maar ook van de afstand tot het epicentrum, de diepte van de beving, de opbouw van de bodem en de ervaring van de bewoners. Het vaststellen van de intensiteit geeft op brede schaal inzicht in de relatie krachten/schade. Ook de schade kan volgens het SodM achteraf worden meegenomen in het vaststellen van de intensiteit.

Maar de intensiteit wordt niet voldoende onderzocht. Dit was ook het geval bij de Huizinge-beving met een magnitude van 3.6. De schade was toen ook vele malen groter dan de 20-35% schade die past bij een snelheid van 34.5mm/s.

De intensiteit bij de Huizinge-beving is door het KNMI vastgesteld op **VI** op de EMS-schaal, terwijl alles wijst een intensiteit **VII** op de EMS-schaal. Een eenvoudig onderzoek heeft dit aangetoond. (Zie <http://www.ondergroningen.nl/2-de-intensiteit/> En: <http://www.ondergroningen.nl/1-evaluatie-van-de-huizinge-beving-op16-augustus-2012/>)

Bij deze beving is een versnelling geconstateerd van maximaal 85 cm/s² en snelheden tot 34,5 mm/s. Hieruit is een PGA berekend van $\approx 0,1g$.

Op 22 januari 2013 schreef het SodM in een brief aan de minister: "Bij de aardbeving van Huizinge (aug. 2012) is de intensiteit geclassificeerd als "VI" op de EMS-schaal (European Macroseismic Scale). Bij een aardbeving met een sterkte van 5 wordt waarschijnlijk een intensiteit van "VII" gehaald."

Een volslagen ongeloofwaardige uitspraak.

Het KNMI doet vrolijk mee: "Als er een vergelijking wordt gemaakt met gas- en olievelden elders in de wereld dan varieert de maximale sterkte van deze bevingen tussen 4,2 en 4,8. De maximale intensiteiten (schaal van Mercalli) die horen bij deze ondiepe aardbevingen met een

magnitude van **4 tot 5** zullen op **VI en VII** zitten. Dat betekent dat er **kans is op omvallen van voorwerpen tot (lichte) structurele schade aan gebouwen.**”

Bron: KNMI Nieuws Magnitude Huizinge wordt 3.6

http://www.knmi.nl/cms/content/111428/magnitude_beving_huizinge_wordt_36

Ook hier worden niet de diepte en de bodemsoorten meegenomen.

Dat de beving enkele seconden langer duurde dan ‘te doen gebruikelijk’ en twee pieken telde, en daarom niet meegenomen wordt bij verschillende berekeningen, betekent niet dat bevingen in de toekomst niet vaker een onvoorspelbaar karakter kunnen hebben en dat versnellingen die een paar seconden langer duren niet meer zullen voorkomen.

Daar komt bij dat deze beving meer vragen oproept:

- a) Wanneer bij een magnitude van 3.6 dermate hoge versnellingen geconstateerd worden die op geen enkele manier in te passen zijn in een toekomstig scenario, wat is het dan geweest? Was de magnitude beving dan toch hoger (zoals door het Duitse Geofon is geconstateerd)? Of was de beving ondieper dan verteld? De grootte van het gebied en de enorme schade stond niet in verhouding met de kracht van 3.6 op 3 km. diepte.
- b) Lag het hypocentrum misschien boven het zout? Dan zou de kracht inderdaad te verklaren zijn, gezien het uitgestrekte gebied en de enorme schade.
- c) Er is m.b.t. de Huizinge-beving van 16 augustus 2012 onvoldoende onderzoek gedaan naar de intensiteit. Waarom werden gegevens van deze beving door Arup gebruikt voor het berekenen van de kans op schade in de toekomst hoewel bekend moet zijn geweest dat het onderzoek veel mankementen en omissies kende?
- d) Om welke reden(en) heeft er geen zorgvuldig onderzoek naar de intensiteiten plaatsgevonden?
- e) Heeft het KNMI haar apparaten wel geijkt aan die van het buitenland?
- f) Waren de accelerometers goed geijkt?
- g) Waarom stonden er destijds zo weinig (8) meters in het meest kwetsbare gebied, waarvan 5 verouderd waren en/of deels niet accuraat werkten?
- h) **Waarom stonden er in 2012 geen tiltmeters**, terwijl in **2009** dit in een rapport van Arcadis in opdracht van Rijkswaterstaat al was aanbevolen? De NAM was bovendien vanaf 2009 met een leverancier van tiltmeters in gesprek.

3. Versnellingsmeters

De bewegingen aan het oppervlak geven dus meer inzicht in het berekenen van (kans op) de schade dan de magnitude.

Na de Huizinge-beving werd de focus verlegd op de g-krachten (PGA's: Peak Ground Acceleration = piekgrondversnelling) i.p.v. op de intensiteit. Wel begrijpelijk, vanwege de kosten en duur van een dergelijk onderzoek, maar evenals het bepalen van de productieplafonds ontoereikend om gedupeerden in de toekomst voldoende schadeloos te kunnen stellen.

De NAM berekent tegenwoordig de relatie tussen trillingen/bevingen en schade d.m.v. van het meten van **versnellingen** (PGA's, in principe een onderdeel van de intensiteit). Dit gebeurt door middel van **versnellingsmeters ook wel accelerometers** geheten.

- Deze meters hebben een klein bereik van hooguit 3 km.
- Er staan in het Groningenveld slechts 4 geregistreerd.
- Ze meten alleen de versnelling, niet in hoeverre iets scheef gaat staan.
- Het is een statisch proces: ze meten slechts één moment.

Een versnellingsmeter geeft een beperkter en dus onvollediger beeld dan de intensiteit, waarbij veel meer componenten worden meegenomen. Zoals de grondsoort die zo verschillend is dat de kansberekeningen m.b.t. schade voor alle gebieden hierop onvoldoende kunnen worden

gebaseerd. Klei bv. kan een trillingen een extra opslingering geven, zand geeft grotere kans op 'verweking' en veengrond geeft de trillingen gemakkelijker door. Ook de plaats waar een gebouw staat maakt verschil: naast water kan er sprake zijn van 'lateral spreading'. Ook weersinvloeden hebben hun invloed: een natte/drogetijd kan voor spanningsverschillen in de woning zorgen die door kleine trillingen kunnen worden ontladen in scheurvorming.

Een **versnelling** kan dus eigenlijk alleen ter plaatse worden gemeten en de relatie met schade kan niet voorspeld worden voor alle gebieden. Het kan achteraf de schade inventariseren, maar **geen direct inzicht geven in de mate van schade en de kansberekening daarvoor.**

4. Tiltmetingen

Naast het meten van versnellingen moet ook de tilt/hoekverkanteling gemeten worden om de effecten van de bevingen te kunnen aantonen.

Het bedrijf dat deze tiltmeters door heeft ontwikkeld staat nb. in Groningen: StabiAlert.

Met tiltsensoren kan daadwerkelijke ontstane schade worden meten.

Ze meten hoogfrequent met 100 tot 400 keer per seconde en op 1/25.000ste graad nauwkeurig en registreren telkens weer, beving na beving, hoe op den duur huizen van positie veranderen. Tiltsensoren kunnen dus ook een sluimerende opbouw van schade inzichtelijk maken, lang voor dat deze voor het oog waarneembaar is. Naast het meten van de versnelling is namelijk ook de positie van het huis - dus hoe het is 'teruggekomen'- **na bevingen**, erg belangrijk.

Bij Vierhuizen was zelfs een beweging van de dijk in de lengterichting van de bocht te zien met tiltmeting. Maar ook zijn er in deze dijk aardbevingen gemeten. Direct hierop zijn tiltsensoren in de dijk langs het Eemskanaal geplaatst en ook daar werden de gevolgen van de bevingen feilloos geregistreerd. Dankzij deze metingen worden nu wel alle waterkeringen meegenomen in de aardbeving risico's. Daarvoor niet.

Heel belangrijk ook is de snelheid van dataverwerking en het leggen van verbanden tussen de sensoren onderling. Er wordt gebruik gemaakt van bv. een handige plug & play-apparatuur en deze is momenteel supernauwkeurig.

Overall kunnen sensoren worden geplaatst: net onder het maaiveld, in dijken of in gebouwen van fundatie tot in de nok.

Er wordt niet gesteld dat het KNMI niet goed meet maar anders: er is meer behoefte aan nauwkeurigheid en gerichtheid op schade/veiligheid.

Doel moet zijn om met de diverse technieken en specialisten te komen tot de Best Practice voor alle problematieken.

5. Zettingsschade

Zettingsschade is schade veroorzaakt door zetting.

Deze kan het gevolg zijn van:

- a) Natuurlijke klink.
- b) Zwarte klei die uitzet en krimpt.
- c) Veranderingen van het waterpeil/de grondwaterstand.
- d) Vervloeiing/verweking (liquefaction) van zand of zanderige grond in de ondiepe ondergrond, al dan niet in combinatie met eventueel aanwezige ondergrondse waterstromen.

- e) Lateral spreading: bevingsgolven vinden aan de waterkant gemakkelijk een uitweg met als resultaat verzakkingen bij woningen aan de rand van water.

Er kan ook sprake zijn van een (elkaar versterkende) combinatie van bovenstaande factoren.

Normaal heeft dit gebied altijd al enige vorm van zettingsschade gekend, maar niet in de mate waarin het zich nu afspeelt.

In 1986 schreef de Commissie Bodemdaling Groningen dat de daling van het maaiveld zelfs geheel onopgemerkt zou kunnen verlopen als men maar kans zou zien om de waterstand in het gebied in dezelfde schotelvorm te verlagen. Maar dit lukt volgens het rapport niet overal, de drooglegging zal dus plaatselijk groter of kleiner kunnen worden dan de gemiddelde drooglegging. De zettingen van de grond zijn in hoofdtrekken evenredig met de grootte van de grondwaterstanddaling en omgekeerd evenredig met de stijfheid van de grond. Hoe stijver de grond, hoe geringer de zetting. De oorzaken van ongelijkmatige zettingen liggen dan ook voor de hand. Bij een inhomogene grond en een variërende grondwaterstands daling kunnen de effecten elkaar zowel versterken als verzwakken.

Bron: Studieresultaten betreffende ongelijkmatige zakkingen in verband met aardgaswinning in de Provincie Groningen.
<http://www.commissiebodemdaling.nl/files/Ongelijkmatige%20zakking%20deelonderzoek%201.pdf>

Het ligt voor de hand dat zettingsschade op zijn minst onderzocht dient te worden.

Tiltmeters kunnen zien in hoeverre er een zetting optreedt in de bodem. Deze vorm van meten is tijdens het IJkdijk project gevalideerd en heeft er toe geleid dat tilsensoren direct geplaatst werden in de dijk bij Vierhuizen als meet gremium voor het in kaart brengen van de destijds zeer kritische situatie.

Wanneer een woning door zetting van welke oorzaak dan ook onder spanning staat, zal een lichte beving/trilling deze spanning kunnen doen ontladen door scheurvorming.

6. Eerdere aanbevelingen

1. Peter van der Gaag (geoloog) heeft **20 jaar geleden** reeds aanbevelingen gedaan om tiltmeters te gebruiken in Groningen. Hij kreeg nergens gehoor, noch bij het KNMI, noch bij TNO/Deltares, noch bij het ministerie van EZ. Tiltmetingen werden toen al regelmatig met succes overal ter wereld toegepast in de olie- en gasindustrie. Alleen in Nederland niet.
2. In **1996** deed Hein Haak (destijds hoofd afd. seismologie KNMI) onderzoek naar tiltmetingen en deed een aanbeveling om een gericht onderzoek te verrichten naar de praktische bruikbaarheid van tiltmetingen i.v.m. de studie van processen waarbij **bodembewegingen** een rol spelen. Dit rapport was een theoretische analyse. Deze analyse is volledig achterhaald. Enerzijds v.w.b. de nauwkeurigheid en anderzijds v.w.b. de meetfrequentie (nu 100keer/sec). Hierdoor ligt de bruikbaarheid van de meetdata nu op een zeer hoog niveau. Ook v.w.b. de kosten van een tilt sensor is deze in de tijd gezien vele malen goedkoper geworden.
 Bron: Tiltmeting: een alternatief voor waterpassing? <http://www.knmi.nl/bibliotheek/knmipubTR/TR192.pdf>
3. Tiltmeters van StabiAlert staan genoemd in een rapport van Arcadis (in samenwerking met onder andere Rijkswaterstaat) d.d. sept. **2009**. Met name over het nauwkeurig kunnen monitoren van bruggen, tunnels, etc.
4. In het rapport van de NAM: **Study and Data Acquisition Plan for Induced Seismicity in Groningen Planning Report** November **2012** staat:

“Additionally, it is planned to extend the monitoring activities to movement on buildings with **tiltmeters** on selected buildings.”

“Reference” buildings in the **Loppersum/ Middelstum** area will be identified and equipped with **tiltmeters**. Advice on the scope and extent of this type of monitoring to better assess the impact/damage after an earthquake is sought from the same “technische commissie” that monitored progress on the “Gebouwschade” study.

Zie onderstaande tabellen uit dit rapport:

Table 4 Surface studies to assess building damage as a result of expected intensity (impact on surface)

Subsurface studies coordinator Jan Willem Resink (Dirk Doornhof supporting); Jan van Elk also overall studies coordinator

Research Initiatives	Partner	Benefit and Data	Research Question	Status (1/12/2012)
Placement of tiltmeters on reference buildings.	StabiAlert	Will be placed on specific buildings to obtain indication of potential for damage on specific buildings as a result of actual earth quakes. Data will be used as basis for assessment of damage potential to similar buildings.	5	
Analysis of dependency of	In-house	Better understanding historic building damage; also	5	

5. Scoping met de stakeholder StabiAlert vond plaats in december 2012 en plaatsing tiltmeters was gepland in maart/april 2013

		Year 2012												Year 2013																											
														Week																											
		40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25		
October	November	December	January	February	March	April	May	June																																	
Data Acquisition	New Accelerometers	Order and test Accelerometer																																							
	Order Additional accelerometers																																								
	Place Accelerometers in the Field																																								
	Enhanced monitoring network operational																																								
	Run acoustic and borehole image logs in Borgsweer-5 well																																								
	VSP and Vertical Seismic sensor array in Zeerijp-1 well (based on ESG Solutions Inc.; some 3 months delay in case change supplier).	Drill Borgsweer-5 well																																							
		Log Borgsweer-5 well																																							
		Final Schlumberger Report																																							
	High resolution passive seismic monitoring network	Design vertical seismic array																																							
		Order materials																																							
		Prepare well for use as seismic monitoring well																																							
	Placement of tiltmeters ref buildings	VSP																																							
		Install vertical seismic array																																							
		Vertical seismic array operational																																							
	Analysis of Magnitude and Frequency	Design Study (P&T)																																							
		Finalise Functional specification																																							
		Commercial preparation for tender																																							
	Tender																																								
	Evaluation of bids																																								
	Scoping with stakeholders																																								
	Installation of tiltmeters on buildings																																								
	Review KNMI work																																								
	Independent and XoM assessment																																								
Assurance																																									
Shell NAM analysis available																																									

6. Het gebruik van tiltmeters werd door NAM officieel aangekondigd op **21 januari 2013** aan het SodM.

In deze brief van NAM aan SodM (Actualisatie seismologische inzichten Groningen) stond bij C.3 Voorkomen van schade:

5. Het installeren van **tiltmeters**/versnellingsmeters op referentiegebouwen: Afgerond Q2 2013 (ook opgenomen in het “Study and Data Acquisition Plan for Groningen Seismicity”).

7. Deze brief is door de minister bekrachtigd in een brief aan de Kamer op **25 januari 2013**. Hierin stond opnieuw het voorstel om tiltmeters (en versnellingsmeters) op referentiegebouwen te installeren.

7. Opmerkingen

1. Nog steeds worden magnitude, intensiteit, PGA's en productieplafond door elkaar gebruikt m.b.t. de schade en de kans op schade. Mist en ruis alom. Maar de werkelijke metingen van de versnellingen tijdens bevingen worden, met uitzondering van de Huizinge-beving, nooit genoemd, hoewel het hier volgens het KNMI en de NAM wel om draait.
2. Tiltmeters zijn niet geplaatst ondanks aanbevelingen en toezegging door de minister. De minister heeft de aanbeveling van SodM en NAM om tiltmeters te plaatsen niet

uitgevoerd. De reden waarom is onduidelijk, hoewel wij wel vermoeden waar de crux zit. De uitkomsten van tiltmetingen kunnen namelijk in combinatie met die van versnellingsmeters gebruikt worden als bewijs bij de vraag of eventuele schade is ontstaan door een trilling/beving of niet.

3. Nog steeds staan er te weinig versnellingsmeters geregistreerd in het Groningenveld.



Zie hiernaast het kaartje van NAM-Platform d.d. juni 2015. De grijze driehoekjes zijn de in 2013 toegezegde KNMI meetstations, de rode driehoekjes zijn de **geplaatste** grondversnellingsmeters. Op de interactieve kaart van de NAM staan 3 versnellingsmeters.

“In 2014 wordt dit KNMI-netwerk sterk uitgebreid met 60 nieuwe putten met als doel een nauwkeurigere bepaling van de locatie en kracht van de aardbevingen in het Groningengasveld. NAM legt dit netwerk aan en draagt het vervolgens over aan het KNMI.”

Bron: NAM-Platform juni 2015

De **geplande** meetstations zijn de (grond)versnellingsmeters. Ze hebben een bereik van 3 km **maximaal**. Ze staan gepland op een afstand van ± 6 km van elkaar.

Bron: <http://www.namplatform.nl/aardbevingen/meten-en-monitoren.html#1>

8. Conclusies

- Tiltmeters zijn een oplossing voor veel soorten schadegevallen en zullen een toegevoegde waarde hebben bij het vaststellen van bewijs van schade door bodembeweging.
- De minister heeft, ondanks diverse aanbevelingen en een toezegging in een officiële brief van 25 januari 2013 aan de Kamer, nagelaten opdracht te geven voor het installeren van tiltmeters. Wel is opdracht gegeven voor het installeren van versnellingsmeters die in dezelfde zin genoemd worden als tiltmeters.
- De in 2013 beloofde toezegging door de NAM i.v.m. het installeren van een meetnetwerk in 2014 is niet nagekomen.
- Data van metingen zijn nog steeds niet transparant/publieksvriendelijk.

9. Aanbevelingen

- De aanbeveling tiltmeters te plaatsen dient door de minister te worden uitgevoerd.
- Tiltmeters dienen in combinatie met versnellingsmeters te worden geïnstalleerd.
- De geplande versnellingsmeters dienen te worden geïnstalleerd.
- Data dienen transparant en publieksvriendelijk te zijn.
- Naast in het effectgebied dienen in gebieden waarvan vermoed wordt dat schade zou kunnen optreden, hetzij door trillingen hetzij door zetting/zakkingen, versnellings- en tiltmeters te worden geplaatst.
- Zakkingen en zettingschade dienen serieus te worden onderzocht.