



## **Wereldwijde tilt meter monitoring en de meerwaarde van tilt meters in Groningen**



© Peter van der Gaag – Holland Innovation Team BV, Rotterdam  
Juli 2017 (eindconcept 11 juli) definitief rapport 20 juli



**In opdracht van de Groninger Bodem Beweging  
naar aanleiding van openstaande vragen vanuit  
de wetenschappelijke wereld  
ondernemingen  
de burgerij**



## **Inhoudsopgave**

### **Samenvatting**

#### **Hoofdstuk 1: Inleiding** **9**

- 1.1 aanleiding en doel onderzoek*
- 1.2 expertise HIT BV*
- 1.3 Opbouw van het rapport, leeswijzer*

#### **Hoofdstuk 2: Wat zijn tilt meters of tilt sensoren** **11**

- 2.1 Inleiding tilt meters (of tilt sensoren)*
- 2.2. tilt meter uitleg wereld wijd*
- 2.3 vergelijking van tilt meters*

#### **Hoofdstuk 3: Wereldwijde toepassingen van tilt meters** **15**

- 3.1 inleiding*
- 3.2 toepassingen van tilt meters in de olie- en gas industrie*
- 3.3 toepassingen van tilt meters in de kolen mijnbouw*
- 3.4 tilt meters toepassingen bij zoutmijnbouw –*
- 3.5 tilt meter toepassingen bij CO2 opslag*
- 3.6 toepassingen van tilt meters bij wateronttrekkingen*
- 3.7 tilt meter toepassingen bij geothermie*
- 3.8 tilt meter toepassingen bij ondergrondse gas opslag*
- 3.9 tilt meter inzet bij bewaking van tunnels, dammen, spoorlijnen, grote gebouwen*
- 3.10 tilt meter inzet voor het meten van ongelijkmatige zetting*
- 3.11 tilt meter inzet bij monitoring van breuken*

#### **Hoofdstuk 4: Prestaties, meerwaarde met andere apparatuur, -verdere ontwikkelingen** **23**

- 4.1 Tilt meters met GPS en (D)INSar*
- 4.2 Tilt meters met versnellingsmeters*
- 4.3 Tilt meters met seismometers en geofoons*
- 4.4 prijzen, weten, voorschriften*
- 4.5 verdere ontwikkelingen*

#### **Hoofdstuk 5: De geschiedenis van tilt meters in Nederland** **24**

- 5.1 Inleiding*
- 5.2 rapport– COB ondergronds bouwen 1998*
- 5.3 inzet tilt meters Nederlandse ingenieursbureaus*
- 5.4 meten na Huizinge*

- 5.5 *industriëleidraad*
- 5.6 *Nederlandse firma's in het buitenland*
- 5.7 *Dieptepunt in de wetenschappelijke ontwikkeling van meten in Nederland*
- 5.8 *conclusies*

**Hoofdstuk 6: De meerwaarde van tilt meters in Groningen** **25**

- 6.1 *Inleiding*
- 6.2 *Overwegingen voor en tegen*
- 6.3 *Tilt meters zijn onmisbaar voor antwoorden op vragen – hebben grote meerwaarde*
- 6.4 *Ontlading van drukopbouw tijdens aardbevingen*
- 6.5 *Afkalving van oevers – deformatie op wierden*
- 6.6 *Scheiding van ondiepe en diepe oorzaken*
- 6.7 *Verweking*
- 6.8 *Grondwaterhuishouding veranderd? Meer kwel? Minder draagkracht?*
- 6.9 *Additionele toepassingen van tiltmeters in Groningen*
  - 6.9.1 *meten van bodemdaling bij kleine gasvelden*
  - 6.9.2 *meten van grondwateronttrekking en vloeistof injectie (Borgsweer)*
  - 6.9.3 *meten van bodemdaling bij zoutwinning*
  - 6.9.4 *meten van stabiliteit van gebouwen op potklei en knipklei*

**Hoofdstuk 7: Korte review van het Antea Group rapport (27 juni 2017)** **33**

- 7.1 *inleiding*
- 7.2 *Wat meet het huidige meetnet?*
- 7.3 *Wat meet het huidige net niet?*
- 7.4 *Is het huidige meetnet van accelerometers dekken, vraagtekens*
- 7.5 *Analyse – conclusies – aanbevelingen*

**Hoofdstuk 8: Uitgebreide conclusies en aanbevelingen** **37**

- 8.1 *Conclusies en aanbevelingen*

**Bijlagen en referenties** **40**

## **Samenvatting**

Holland Innovation Team BV heeft van de Groninger Bodem Beweging opdracht gekregen om een rapport te schrijven over tilt meters en hun werking, de toepassingen ervan in de wereld alsmede referenties (en prestaties) plus de nieuwe ontwikkelingen op tilt meter gebied. Verder wordt de geschiedenis van tilt meters in Nederland en de huidige stand van zaken besproken. Ten slotte wordt de meerwaarde van het gebruik van tilt meters in Groningen uitgelegd. Het rapport eindigt met conclusies en aanbevelingen.

### ***Tilt meters***

Tilt meters of tilt sensoren zijn meetinstrumenten. Ze kunnen worden getypeerd als uiterst nauwkeurige elektronische waterpassen. Er zijn verschillende soorten tilt meters, voor verschillende doeleinden. De meest nauwkeurige tilt meters hebben een precisie van 1 miljoenste graad of nog beter. Een oorspronkelijk min punt van drift is inmiddels van de baan of wordt gecompenseerd.

Tilt meters worden ingezet bij tal van geologische- en kunstmatige processen. Hierbij moet worden aangetekend dat een enkele tilt meter niet veel toevoegt. Een goed geplaatst stelsel tilt meters kan de relatie leggen tussen een massa/volume van gesteente/gas dat uit de aarde wordt gehaald en de reactie daarop aan het maaiveld. Het maaiveld zal altijd reageren met daling wanneer er een massa uit de ondergrond wordt gehaald en stijging wanneer er iets in de aarde wordt gebracht, hoe miniem ook.

Het voordeel van tilt meters is dat ze niet alleen de tilt (hoekverdraaiing) meten maar dat ze dat ook continu doen, zodat tevens een versnelling in hoekdeformatie gemeten kan worden. Dat geeft de mogelijkheid om van een systeem tilt meters een waarschuwingssysteem te maken.

Een ander voordeel is dat tilt meters eveneens lange golflengtes meten zoals worden geproduceerd door Rayleigh golven bij aardbevingen. Deze golven worden niet of nauwelijks gemeten door versnellingsmeters. Tilt meters worden steeds nauwkeuriger. Inmiddels zijn er gevoelige tilt meters die kunnen wedijveren met de beste seismografen.

### ***Tilt meter toepassingen in de wereld***

Tilt meters worden op tal van plaatsen in de wereld gebruikt. Door geotechnici, geodeten, geologen en andere wetenschappers worden tilt meters als uiterst effectieve meters beschouwd die op tal van plaatsen kunnen worden ingezet en hun effectiviteit hebben bewezen.

Bij olie- en gas winning worden tilt meters gebruikt bij het managen van het reservoir. Men gebruikt ze voor bodemdalingkaarten, fracken en verdere optimalisatie van de olie- en gaswinning.

Bij injecties in de ondergrond worden tilt meters gebruikt om te zien waar het water ondergronds heen gaat en of het water geen gevaarlijke breukzones binnen treedt. Bij geothermie kan men zelfs met tilt meters de beste plaats van de tweede boring bepalen. Bij iedere injectie (bodestijging) en extractie (bodemdaling) kan de reactie aan het maaiveld continu worden bepaald. Grondwaterwinning leidt op vele plaatsen tot deformatie aan het maaiveld. Bij bepaalde grondwateronttrekkingen staat een serie tilt meters geïnstalleerd voor monitoring en bodemdaling aan het maaiveld inzichtelijk te maken.

Bij verzakkingen gebruikt men tilt meters om de relatie te leggen tussen mijnbouw en opgetreden schade aan panden. Bij oploszoutmijnbouw gebruikt men tilt meters om schade door verzakking en inzakken van cavernes te meten. Zelfs het meten van de versnelling van zakking aan het maaiveld van cavernes door tilt meters wordt algemeen geaccepteerd.

Bij bouwputten, het boren van tunnels, het gedrag van gebouwen in een bewegende ondergrond bewijzen tilt meters hun nut.

Een van de meest belangrijke toepassingen van tilt meters is het constateren van ongelijkmatige zetting (zakking) van een gebouw, boerderij of ander object. Doordat men uit de data van vier tilt meters (iedere hoek 1 tilt meter) het gedrag van het object kan volgen, is het mogelijk om met juiste tijdsregistratie scheuren direct te "verbinden" aan een gebeurtenis (bijvoorbeeld aardbeving)

## ***Prestaties, meerwaarde met andere apparatuur, -verdere ontwikkelingen<sup>1</sup>***

Tilt meters hebben voor hun prestaties vele onderscheidingen gekregen vanwege de goede monitoring resultaten bij het meten van bodembewegingen in o.a. de Verenigde Staten en Australië, echte mijnbouwlanden.

In landen als Hongkong en Japan horen tilt meters tot standaard bodem onderzoeken en bouwvoorschriften.

Tilt meters worden sterk aangeraden bij grote werken als ondergrondse gasopslagen en worden geaccepteerd door gedupeerden, schadeveroorzaker en rechtbank, daar waar onenigheid bestaat over mijnbouwschade (oploszoutmijnbouw).

Doorontwikkelingen van tilt meter systemen wordt gesubsidieerd in aardbevingslanden (bijvoorbeeld Nieuw Zeeland).

De Europese gemeenschap ziet tilt meter systemen als veelbelovende systemen voor monitoring van ondergrondse CO2 opslag (CGS Europe<sup>2</sup>)

Steeds geavanceerdere tilt meter systemen komen op de markt in landen, waar verzekeringen eisen dat schade aan huizen, gebouwen en verdere infrastructuur goed wordt gemonitord en zo mogelijk met een tilt meter waarschuwingssysteem kunnen worden voorkomen.

In landen als China en Japan worden steeds meer tilt meters geïnstalleerd, daar worden tilt meters ook gebruikt om bewegingen van breuken in de ondergrond te monitoren en ze helpen bij het voorspellen van aardbevingen..

### ***Tilt meters samen met andere meetsystemen***

Tilt meters worden gebruikt tezamen met satelliet waarnemingen. Men doet dit bij CO2 opslag in Algerije., waarbij tilt meters ook de INSAR data kalibreren.

Daar bodemdalingskaarten worden afgeleid van tilmeter data, kunnen GPS waarnemingen helpen om met werkelijk hoogteverschillen de contourlijnen van de tilt meter bodemdalingskaarten (nog) beter te maken.

Tilt meters worden ook gebruikt met seismometers en versnellingsmeters. Hierbij geven seismometers aan dat er een plotselinge gebeurtenis (aardbeving) heeft plaatsgevonden. Tilt meters geven dan aan of door deze gebeurtenis een permanente deformatie is opgetreden, iets dat versnellingsmeters en seismometers alleen zeker niet kunnen. Daarentegen kan een systeem tilt meters mits goed geplaatst opereren zonder accelerometers wanneer een seismisch station op grotere afstand heeft aangegeven dat de gebeurtenis (in dit geval een aardbeving) heeft plaatsgevonden.

Tilt meters en gefoons worden steeds vaker samen ingezet. Men plaats beiden in boorgaten. In de olie en gasindustrie wil men nu een boorgat tilt meter en gevoelige gefoon ontwikkelen in een enkel apparaat

### ***Tilt meter (geschiedenis) in Nederland***

Het tilt meter gebruik in Nederland is beperkt gebleven. Toch zijn er voorbeelden waarbij bijvoorbeeld Fugro en Arcadis tilt meters inzetten om ofwel de relatie tussen schade en bouwen te leggen ofwel juist schade te voorkomen. In Limburg worden Italiaanse tilt meters ingezet om schade door verzakkende mergelgangen te voorkomen. Het minieme gebruik van tilt meters in Nederland komt door gebrek aan kennis of door sturing door de overheid<sup>3</sup>. In de leidraad industrie – geschreven naar aanleiding van de aardbevingen van o.a. Huizinge - over beter meten wordt geen aandacht geweid aan de inzet van tilt meters. In deze industrieleidraad wordt "tilt meter" slechts eenmaal

---

<sup>1</sup> Een uitgebreide lijst verwijst in hoofdstuk 2 naar handboeken met referenties

<sup>2</sup> <http://repository.cgseurope.net/eng/cgseurope/knowledge-repository/key-reports/monitoring/2/2/1.aspx>

<sup>3</sup> Interview Bouwwereld maart 2004: <http://www.ground-control.nl/Bouwwereld.pdf>

genoemd met de vermelding dat drift een nadeel is<sup>4</sup>. Dit onderstreept dat de kennis over meten van 2004 tot 2015 en zelfs op dit moment in NL niet is toegenomen<sup>5</sup>.

Ondanks verschillende Kamer moties die pleiten voor gebruik van tilt meters en ondanks dat zowel NAM als gedupeerden van de aardbevingen in voorkomende gevallen voor tilt meters kiezen, blijven overheidsinstanties en kennisinstellingen gebruik van tilt meters categorisch afwijzen.<sup>6</sup> Opvallend hierbij is dat dochterondernemingen van Nederlandse ingenieursbureaus in het buitenland tilt meters als goed presterende monitoring instrumenten aanprijzen.

Het is een bekend feit dat aardbevingen kunnen leiden tot ongelijkmatige zettingen (dus mogelijke permanente deformatie) in klei, in zand, door grondwaterfluctuaties, aan kanaal oevers en bijvoorbeeld door drukontlading in knipklei. Dat is met tilt meters te aan te tonen.

### ***Specifieke inzet van tilt meters in Groningen***

In Groningen wordt meerdere malen gesproken over verweking en schade door verweking. Ook wordt gemeld dat na aardbevingen ongelijkmatige zetting is opgetreden dan wel versnelde zakking.

Ondanks vele aanbevelingen om deze aannamen te verifiëren, te controleren of te weerleggen worden nog steeds geen meters gebruikt die hiertoe in staat zijn, te weten tilt meters

Vooraf in Groningen heeft inzet van tilt meters grote meerwaarde daar de huidige meetsystemen nalaten de causaliteit tussen deformatie en schade enerzijds en bodembewegingen en aardbevingen anderzijds te bewijzen. Geen enkel meetstelsel dat in Groningen is geïnstalleerd meet daarbij continu bodembewegingen, laat staan een versnelling van een beweging.

Hierbij moet worden opgetekend dat het geen zin heeft om lukraak honderden tilt meters boven het Slochteren veld te plaatsen, daar dat tot registratie leidt van bodembewegingen, veroorzaakt door ondiepe bodemprocessen en dus geen goede weergave van de gehele bodemdaling door gaswinning van het Slochteren veld geeft..

Tilt meter systemen moeten door experts doelgericht worden geïnstalleerd op die plaatsen waar causaliteit tussen gebeurtenis en schade moet worden bewezen.

Vooraf omdat bewezen is dat schade kan ontstaan in de buitengebieden door aardbevingen – ook wanneer accelerometers kennelijk niet uitslaan? – zou plaatsing van tilt meters kunnen bewijzen dat er wel degelijk schade kan ontstaan, doordat die continu meten en dus een signaal geven tijdens een geregistreerde aardbeving.

Hierbij kunnen tilt meter systemen verschillende oorzaken van elkaar scheiden. Op dit moment is er geen systeem dat bewegingen door gaswinning kan scheiden van bewegingen door ondiepe natuurlijk processen of menselijke activiteiten.

Registreren van al dan geen verweking, druk ontlading in knipklei gebieden, afkalving van oevers dan wel omhoogkomen van grondwater, voorbeelden van processen die lokaal kunnen optreden tijdens maar ook na aardbevingen kunnen worden geregistreerd met goed geplaatste tilt meters.

### ***Het Antea Group rapport***

Op 27 juni 2017 is het Antea Group rapport verschenen. Het doel was de vraag te beantwoorden of het huidige meetstelsel voldoende info genereert voor overheid, ondernemingen, wetenschap en burgerij.

---

<sup>4</sup> “Andere meettechnieken die ingezet kunnen worden voor deformatie monitoring op land zijn tilt meters en laseraltimetrie. De beperkende factor bij tilt meters is de drift in de tijd”. Industrieleidraad blz. 58 van 101.

<sup>5</sup> Een dieptepunt in kennisontwikkeling over bodembewegingen moge blijken uit recente uitlatingen aan gedupeerde dat er geen methoden bestaan om ongelijkmatige zetting te constateren met de huidige meetapparatuur omdat die niet nauwkeurig genoeg is (lintvoegmeting) en omdat er geen methoden bestaan die dat wel kunnen (overheidsinstelling, 12 juni 2017)

<sup>6</sup> Zo staat in het acquisitie plan van NAM (eind 2012) reeds een aanbeveling om tilt meters te gebruiken.

In het rapport wordt niet ingegaan op vele aspecten die een rol spelen bij de problematiek van bodembewegingen en aardbevingen in Groningen. Ook zijn slechts summier druk opbouwende processen beschreven die tot ontlading kunnen komen tijdens of vlak na een aardbeving.

Te veel is uitgegaan van (niet verklaarde) modellen (zoals GMPE) die vooralsnog in de kinderschoenen staan en zeker niet gebruikt mogen worden om bijvoorbeeld schade in de buitengebieden uit te sluiten. Dit blijkt uit gemelde- en uitgekeerde schade in de buitengebieden bij soms aardbevingen met lage magnitude.

Duidelijk is dat voor het meten van permanente deformatie (ontstaan van scheuren, dan wel scheuren door differentiële zetting) tijdens of na een beving – ook door reeds aanwezige spanning opbouw van een veelheid aan processen - het huidige meetnet niet voldoet. Laat staan dat versnelling van zetting door het huidige meetnet kan worden gemeten. Juist deze discussie is actueel zonder een poging tot waarheidsvinding.

Ook kunnen diepe- en ondiepe oorzaken niet met het huidige meetnet worden onderscheiden.

Er is ten behoeve van het Antea Group rapport naast een enkele tilt meter leverancier slechts gesproken met overheidsstakeholders. In de tussenliggende periode tussen verschijnen conceptrapport op 30 mei en publicatie op 27 juni is zelfs louter gecommuniceerd met overheidsstakeholders zoals TCBB en commissie bodemdaling.

Gezien de vele openstaande vragen, die niet kunnen worden *beantwoord* met het huidige meetnet, moet de vraag of het huidige meetnet voldoende info geeft vooralsnog negatief worden beantwoord tenminste waar het gaat om burgerij, ondernemingen en wetenschap.

De Antea Group gaat voorbij aan de wens van geologen, burgers en ondernemingen om meer te weten van bodembewegingen, versnellingen in geologische processen, causaliteit tussen aardbevingen en schade in de buitengebieden en ontlading tijdens aardbevingen van drukopbouw die door andere geologische processen zijn veroorzaakt. Tilt meters kunnen juist hier een bijdrage aan leveren..

### **Conclusies en aanbevelingen**

In het laatste hoofdstuk van dit rapport staan uitgebreide conclusies. De hoofdconclusie is dat tilt meters een aanzienlijke meerwaarde hebben niet alleen bij het doorgronden van de bodem en bodemprocessen inclusief aardbevingen in Groningen. Gerichte inzet van tilt meters is een eerste vereiste voor verdere kennisontwikkeling van de Nederlandse ondergrond.

Hiervoor worden in het laatste hoofdstuk aanbevelingen gegeven.



## Hoofdstuk 8 conclusies en aanbevelingen

### Conclusies

Tilt meters worden wereldwijd met goed resultaat ingezet bij tal van geologische processen en menselijke activiteiten in de ondergrond.

Ze worden aangeprezen en gebruikt als monitoring instrumenten bij bouwputten, tunnels, waterwinning en mijnbouwactiviteiten. Kortom tilt meter worden ingezet bij ieder menselijke activiteit in de ondergrond die mogelijk schade kan veroorzaken. Ze worden gebruikt als waarschuwingssysteem om schade te voorkomen zoals bij diepe bouwputten in weerbarstige slappe ondergrond. Ze worden gebruikt om olie en gas reservoirs beter te managen , inclusief bodemdaling en fracking.

In de V.S. wordt gebruik van tilt meters sterk aangeraden en in Aziatische landen zijn tests met tilt meters standaard. In ieder geodetisch- dan wel geotechnisch handboek worden tilt meters vermeld als waardevolle meet instrumenten behalve in Nederland. Er lijkt hier zelfs op voorhand een niet wetenschappelijke afwijzing van tilt meters te bestaan door overheidsstakeholders bij de aardbevingen en bodembewegingen in Groningen..

Tilt meter systemen hebben een grote meerwaarde in Groningen omdat er geen enkel meetsysteem is dat op dit moment:

1. Continu bodembewegingen monitort
2. Versnelling van bodembewegingen/zetting kan meten
3. De causaliteit kan bewijzen tussen aardbeving en schade aan een woning
4. Ondiepe bodembewegingen kan scheiden van bewegingen door de gaswinning
5. Bodemdaling t.g.v. ondiepe processen scheidt van bodemdaling door gaswinning
6. Permanente deformatie meet aan oevers, wierden en dijken
7. Meet of er wel of geen verweking plaatsvindt
8. Kan meten of er schade is door een aardbeving in de buitengebieden
9. Meet of er versnelde ongelijkmatige zetting plaatsvindt door bijvoorbeeld toenemende kwel ten gevolge van aardbevingen
10. Bewegingen door ondiepe geologische processen meet

### Aanbevelingen

Aanbevolen wordt om per direct tilt meters te installeren op plaatsen in Groningen waar verschillende- en in bepaalde zaken tegenstrijdige meningen bestaan over de relatie tussen schade, bodembewegingen en aardbevingen. Het wordt daarbij aangeraden om (series) tilt meters te zetten in de directe nabijheid van versnellingsmeters (mits die beter geplaatst worden dan tot nu toe) omdat de combinatie extra meerwaarde heeft bij het onderscheiden van processen die de bodem doet bewegen.

### *Versnelling in zetting na aardbeving*

Aanbevolen wordt om kelders van boerderijen (en monumenten) tilt meters te plaatsen (ten minste in iedere hoek van de kelder 1) zodat kan worden bepaald of een boerderij scheefzakt, hoe hard hij scheefzakt, of hij tijdens een aardbeving of vlak erna (harder) zet/scheefzakt<sup>7</sup>.

### *Causaliteit tussen aardbeving en scheefzakking/zetting – mogelijke verweking*

Aanbevolen wordt om op plaatsen waar verweking wordt aangewezen als mogelijke oorzaak, tilt meters te plaatsen. Deformatie bij een object - gefundeerd in verwekingsgevoelig zand - geconstateerd door tilt meters ten tijde van een aardbeving (of vlak er na) kan hiervoor direct bewijs leveren.

---

<sup>7</sup> Er wordt overlegd met experts op het gebied van bouwwerken en constructies om tot nog betere en gerichtere aanbevelingen te komen

### ***Bodemdaling door gaswinning versus bodembewegingen door ondiepe processen***

Aanbevolen wordt om tilt meters op verschillende niveaus te installeren. Men plaatst een serie tilt meters ondergronds op vast Pleistoceen zand en een tweede op het maaiveld boven de eerste serie. Op deze manier zijn ondiepe bodembewegingen te onderscheiden van bewegingen van de zandlaag die slechts invloed ondervindt van de gaswinning.

### ***Invloed van bemaling versus vrije trilling en/of lateral spreading bij aardbevingen***

Aanbevolen wordt om tilt meters te installeren nabij kanaal oevers en in panden naast kanaaloevers – men kan dan zien of zakking plaatsvindt bij bemaling (veranderende waterstand) en of deze reversibel is. Tegelijkertijd kan men meten of tijdens een aardbeving tilt eerder optreedt naar het open water niveau (huis gaat zakken in de richting van het open water niveau).

### ***Metten van bewegingen aan het maaiveld door golven met lange golflengte***

Lange golven met kleine amplitude worden op dit moment slechts opgemerkt door de weinige tilt meters die er staan. Berichten uit de bevolking over golvende landschappen kunnen slechts worden geverifieerd met tilt meters, daar de huidige meetssystemen deze golven niet opmerken.

### ***Knipklei en pot klei***

Aanbevolen wordt om tilt meters te plaatsen in knipklei gebieden om te bezien of drukopbouw in knipklei lagen tot bodembewegingen leidt en of deze drukopbouw wordt ontladen bij aardbevingen

### ***Monitoring van grondwaterstijging en maaiveld stijging door verhoogde waterdruk***

Er zijn berichten over grondwater stijging vanuit de eerste (niet freatische diepere aquifer) en golving van het maaiveld (oscillatie). Het wordt aanbevolen om rondom waterputten naast waterspanning meters tilt meters te installeren om te bezien of maaiveld wordt beïnvloed door deze stijging/oscillaties.

### ***Monitoring van toenemende kwel door aardbevingen en daardoor vermindering van draagkracht***

Er komen steeds meer meldingen over toenemende verzilting door aardbevingen en gaswinning. Daar waar kwel sterk omhoogkomt kan lokaal de draagkracht van de bodem verminderen. Dit kan onderzocht worden met een gericht systeem tilt meters.

### ***Interpretatie***

Aanbevolen wordt om gezien de achterstand in kennis met betrekking tot tilt meters in NL (internationale) experts in te huren – na bevraging van de burgerij - voor het uitkiezen van de juiste cases, de juiste opstellingen van systemen tilt meters en evaluatie (en resultaten) van tilt meter data over te laten aan onafhankelijke experts.

Het is kortom aan te bevelen de vaststelling dat het huidige meetnet voldoet te herzien en de interpretatie van een additioneel onafhankelijk meetnet door onafhankelijke wetenschappers te laten uitvoeren.

## ***Inzet van tilt meters in Groningen niet direct gerelateerd aan bodembewegingen en aardbevingen door de gaswinning***

### ***Bouwputten in Groningen***

Met een stelsel goed geplaatste tilt meters op een bouwplaats kan zowel stijging als daling van de bodem worden gemeten alsmede scheefstelling van gebouwen rondom de bouwput. Veel problemen hadden kunnen worden voorkomen (Forum, Ossenmarkt parkeer garage) wanneer tilt meters waren gebruikt. Een treffend voorbeeld is de dreigende instorting van de parkeer garage te Heerlen.

### ***Monitoring van gasopslag***

Aanbevolen wordt om rondom injectie- en extractie putten van gasopslag tilt meter systemen neer te zetten zodat er een relatie gelegd kan worden tussen bewegingen aan het maaiveld en respectievelijk geïnjecteerd en uitgepompt volume gas. Ook hier kan plaatsing op twee niveaus bewegingen van verschillende processen onderscheiden.

### ***Monitoring van waterinjectie (en geothermie)***

Aanbevolen wordt om een systeem tilt meters neer te zetten rondom waterinjectie putten (bijvoorbeeld Borgsweer) om de reactie te bepalen tussen geïnjecteerd volume water en maaiveld stijging.

Aanbevolen wordt om met dit systeem te bepalen waar het geïnjecteerde water ondergronds blijft, hoe het zich in het gasreservoir verspreidt en of er een breuk wordt bereikt door het geïnjecteerde water.

Geadviseerd wordt een tilt meter systeem neer te zetten rondom het Zernike geothermie project.

### ***Monitoring van fracking***

Sterk aanbevolen wordt om iedere toekomstige frack job te monitoren met een systeem tilt meters.

### ***Monitoring van kleine nieuwe gasvelden – nul situatie***

Aanbevolen wordt om bij het bepalen van de nul situatie (nul meting) van een nieuw klein gasveld (bij voorkeur met 1 operationele winningsput) een systeem tilt meters te plaatsen zodat de bodemdaling schotel vanaf het begin van de winning kan worden gemonitord en de relatie gelegd kan worden tussen hoeveelheid gewonnen gas en bodemdaling.

### ***Monitoring van zoutmijnbouw***

Bij het winnen van zout kan een tilt meter opstelling de bodemdaling volgen; het is zelfs mogelijk om de bodemdaling op te splitsen in een aandeel van gaswinning en een aandeel van zoutwinning indien nodig.

### ***Waterwinning***

Aanbevolen wordt om tilt meters te plaatsen in een opstelling rondom een waterwinningsput (veehouderij) of industriële winning, bijvoorbeeld Campina, Bedum) om de bodemdaling en de diameter van de bodemdaling cirkel rondom de put inzichtelijk te krijgen

Lijst met referenties en bijlagen