

Retouradres: Postbus 80015, 3508 TA Utrecht

Ministerie van Economische Zaken en Klimaat  
Energie & Omgeving  
T.a.v.  
Postbus 20401  
2500 EK DEN HAAG



**Onderwerp**  
Adviesbrief Bias, deel grondversnellingsmodel

Geachte

Deze brief ontvangt u naar aanleiding van uw verzoek van 27 maart 2017 per mail om een advies betreffende de NAM risicoberekening in het kader van het winningsplan Groningen.

U vraagt om kwalitatief te beoordelen, of de NAM risicoberekening leidt tot een seismisch risico in Groningen, waarbij conservatieve aannamen op conservatieve aannamen worden gestapeld (te somber) of andersom (te rooskleurig). In wetenschappelijk termen: zijn er indicaties voor bias<sup>1</sup> in de NAM berekeningen? Tevens vraagt u om tijdens het onderzoek rekening te houden met verschil van inzicht tussen experts, met ongepubliceerde argumenten en met voortschrijdend inzicht.

### NAM risicoberekening

Dit advies beperkt zich tot het middendeel van de NAM risicoberekening, het zogenoemde groundbewegingsmodel (GMM). Dit model beschrijft de voortplanting<sup>2</sup> van trillingen in de ondergrond tussen de bevingsbron en het maaiveld<sup>3</sup>. De andere delen van de NAM risicoberekening beschrijven het optreden van bevingen door gasproductie<sup>4</sup> en de reactie van gebouwen op blootstelling aan de trillingen<sup>5</sup> in relatie tot de gestelde norm. De risicoberekening als geheel gaat uit van een regionale schaal. De andere delen van de risicoberekening zijn buiten beschouwing gelaten.

### Het groundbewegingsmodel

Het GMM bestaat uit door de NAM afgeleide, empirische relaties. De NAM onderbouwt deze relaties op grond van theoretische overwegingen, analyse van de Groningse bevingscatalogus en modellering.

<sup>1</sup> Bias is een systematische fout.

<sup>2</sup> verspreiding, demping, duur

<sup>3</sup> TNO-AGE laat de bevingsbron (inclusief de zogenaamde *stress drop*) buiten beschouwing.

<sup>4</sup> seismiciteit

<sup>5</sup> bezwijkgedrag per bouwtype

Princetonlaan 6  
3584 CB Utrecht  
Postbus 80015  
3508 TA Utrecht

www.tno.nl

T +31 88 866 42 56

**Datum**  
4 juli 2018

**Onze referentie**  
AGE 18-10.057

**E-mail**

**Doorkiesnummer**

Op opdrachten aan TNO zijn de Algemene Voorwaarden voor opdrachten aan TNO, zoals gedeponeed 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](http://www.tno.nl).  
Op verzoek zenden wij u deze toe.

Handelsregisternummer 27376655

**Datum**

4 juli 2018

**Onze referentie**

AGE 18-10.057

**Blad**

2/4

Er zijn meerdere modelversies van het GMM. V2 ligt ten grondslag aan het instemmingsbesluit van het winningsplan Groningen 2016. De NAM heeft V5 in juni 2018 gepubliceerd op haar website ([www.nam.nl](http://www.nam.nl)), inclusief de vergelijkingen en de parameterwaarden van het model. Het model is daarmee reproduceerbaar door derden.

**Aanpak**

De belangrijkste, geraadpleegde bronnen zijn:

- Van Elk, J. en Doornhof, D. (eds.) oktober 2012 "V2 Ground-Motion Model (GMM) for the Groningen Field." NAM publicatie
- Van Elk, J. en Doornhof, D. (eds.) oktober 2017 "V5 Ground-Motion Model (GMM) for the Groningen Field." Julian J. Bommer, Benjamin Edwards, Pauline P. Kruiver, Adrian Rodriguez-Marek, Peter J. Stafford, Bernard Dost, Michail Ntinalexis, Elmer Ruigrok en Jesper Spetzler. NAM publicatie
- International panel of experts in earthquake ground motion modelling (15 januari 2018) "Endorsement letter" (Bijlage B)
- Diverse wetenschappelijke publicaties over het GMM model<sup>6</sup>

TNO-AGE heeft een eigen dimensie-analyse uitgevoerd (Bijlage 1).

Met experts van de volgende organisaties zijn vervolgens gesprekken gevoerd om de verkregen inzichten te verifiëren en aan te vullen:

- KNMI 27 november 2017
- TNO 30 november 2017
- Deltares 8 januari 2018
- NAM 23 januari 2018

De verslagen en onderliggende stukken vindt u in Bijlage 2-5.

**Bevindingen**Onzekerheid

Variatie en onzekerheid in de samenstelling en eigenschappen van de Groningse ondergrond beïnvloeden de modellering van de voortplanting van de trillingen. De NAM geeft in haar documentatie aan, dat de invloed van de modelonzekerheid<sup>7</sup> in het GMM op het berekende risico - in deze fase van onderzoek - minder is, dan de modelonzekerheid afkomstig uit andere delen van de risicoberekening.

TNO-AGE kan zich hierin vinden.

Validatie

De NAM heeft haar modelberekeningen gevalideerd met behulp van veldgegevens (tot ca. magnitude 3,6). In V5 is volgens de NAM geen sprake (meer) van bias tussen de modelberekeningen en de veldgegevens. TNO-AGE ziet deze richting terug in het door de NAM ter beschikking gestelde materiaal.

Extrapolatie

De NAM documenteert enkele bronnen van mogelijke bias in het GMM, die zich buiten het validatiebereik bevinden.

TNO-AGE heeft een dimensieanalyse uitgevoerd (Bijlage 1). De resultaten van daarvan zijn op hoofdlijnen in overeenstemming met de door de NAM afgeleide empirische relaties (V2).

Bias

In specifieke subonderdelen van het GMM zijn indicaties vastgesteld voor bias in beide richtingen (somer en rooskleurig).

<sup>6</sup> Een overzicht is aanwezig op de NAM website.

<sup>7</sup> epistemische onzekerheid, los van de toegekende gewichten in de beslisboom

**Datum**

4 juli 2018

**Onze referentie**

AGE 18-10.057

**Blad**

3/4

De NAM documentatie van het GMM besteedt hier aandacht aan, met uitzondering van het onderdeel "site respons". TNO-AGE heeft deze aanvullende informatie als bijlage toegevoegd<sup>8</sup> (Bijlage 6).

Op grond van de huidige informatie ziet TNO-AGE op regionale schaal weinig tot geen indicaties voor substantiële bias in het GMM, inclusief de daaraan ten grondslag liggende data en aannames.

**Vooruitblik**

De ontwikkelaars van het grondversnellingsmodel geven unaniem aan, dat het GMM een zekere mate van volwassenheid heeft bereikt. Ze verwachten, dat toekomstige modelversies daarmee in beperkte mate zullen leiden tot aanpassingen in het berekende, regionale risico.

**Overig**

Ten opzichte van een analyse op regionale schaal resulteert een meer lokale analyse potentieel in een kleinere onzekerheid en reëlere schattingen voor het seismisch risico per gebouw of wijk. Over dit principe bestaat consensus tussen de geraadpleegde experts. De praktische vraag is, in hoeverre de beschikbaarheid van aanvullende informatie op lokale schaal (bijvoorbeeld via meetcampagnes) daadwerkelijk leidt tot het verminderen van de spreiding en dus de onzekerheid.

De NAM ziet uitbreiding naar lokale risicoanalyse als een wetenschappelijke ontwikkeling, welke aanpassingen vergt in de gehele risicoberekening. Deze ontwikkeling wordt door de NAM vooralsnog niet voorzien.

De geraadpleegde experts brengen in dit verband de volgende punten naar voren:

- In kaart brengen van substantiële afbuiging in de propagatiepaden door zoutstructuren in de Groningse ondergrond (Bijlage 2-5).

Daarmee kan nader worden bepaald:

- a. ligging van lokale schaduw- en concentratiezones in de grondbeweging aan maaiveld
  - b. overlap tussen deze verschillende zones voor verschillende bevingsbronnen en
  - c. lokale grondbeweging aan maaiveld buiten de in de mijnbouwvergunning vastgestelde contouren van het Groningen gasveld<sup>9</sup>.
- Analyseren van gegevens, die worden gebruikt in de modellering van de opslingering van trillingen in de ondiepe ondergrond. Een aanzienlijk deel van deze gegevens zijn indertijd voor andere doeleinden verzameld (Bijlage 6). Dat kan resulteren in bias. De mate, waarin dit relevant is voor het seismisch risico<sup>9</sup>, verschilt per gebouwtype en grondprofiel.

Binnen de context van de NAM risicoberekening als geheel dienen deze punten zorgvuldig te worden afgewogen ten opzichte van de invloed van de andere delen van de risicoberekening (welke hier buiten beschouwing zijn gelaten).

**Advies**

De praktische duiding van het bovenstaande is, dat het NAM grondbewegingsmodel naar de huidige inzichten geschikt is om te worden toegepast voor het berekenen van het reële, regionale risico in Groningen. In weerwil van het regionale karakter en bovenstaande punten is het op dit moment tevens de best beschikbare benadering van het lokale risico per wijk of gebouw. In deze duiding zijn de andere delen van de risicoberekening buiten beschouwing gelaten.

<sup>8</sup> voor zover dit betrekking heeft op het publiek beschikbare GeoTOP model (zie ook [www.dinoloket.nl](http://www.dinoloket.nl))

<sup>9</sup> Tevens relevant met het oog op schade.

**Datum**  
4 juli 2018

**Onze referentie**  
AGE 18-10.057

**Blad**  
4/4

Hopend u hiermee van dienst te zijn geweest en met vriendelijke groet,

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

## Bijlage 1 Dimensieanalyse, wat kunnen we ervan leren?

Manuel Nepveu

### Inleiding

Dimensieanalyse is een simpele methode om bij een vraagstuk, waar nog niet al teveel over bekend is, conclusies te trekken over functionele verbanden. Deze vorm van analyse vervangt een gedegen mathematische analyse niet, maar kan wel tot niet-triviale, inzicht genererende conclusies leiden.

Op Wikipedia is er het nodige over te vinden onder het lemma "Buckingham  $\pi$  Theorem". De methode berust op wat de stelling van Buckingham genoemd wordt:

*"Als een probleem bepaald wordt door  $n$  fysische variabelen en die variabelen kunnen in totaal door  $k$  onafhankelijke eenheden worden beschreven, dan zijn er  $(n-k)$  dimensieloze grootheden, die het probleem beschrijven."*

Deze stelling kan worden bewezen met methoden uit de lineaire algebra.

### Algemene aanpak.

De eerste stap is cruciaal:

*Bedenk welke grootheden in het te onderzoeken probleem een rol zullen spelen.* Hier is fysische intuïtie van groot belang en het kan hier dus ook al fout gaan! Wie een cruciale variabele over het hoofd ziet, mist een mogelijkerwijze fundamentele relatie. In het omgekeerde geval mis je niets, maar krijg je mogelijk keuzeproblemen, die je alleen kunt oplossen door langer na te denken.

De tweede stap:

*Vind een combinatie van de vorm  $v^a w^b \dots z^d$ , die dimensieloos is –  $v$  t/m  $z$  zijn de fysische grootheden.* Daartoe schrijf je de fysische grootheden in fysische eenheden uit en eist vervolgens, dat het totale product voor elke eenheid nul moet worden. Je vindt dan – met de notatie van boven –  $k$  lineaire vergelijkingen met  $n$  variabelen. Naast de triviale oplossing (alles = 0) vind je dan  $(n-k)$  niet-triviale setjes voor  $a, b, \dots, d$ .

De derde stap:

*De interpretatie.* In het Wikipedia-lemma staat het beroemde voorbeeld van G.I. Taylor. Hij maakte een schatting van de energie, die vrijkwam bij een atoombomexplosie. Hij gebruikte daarvoor een foto van de "atomaire paddenstoel" en dimensieanalyse. Hij kreeg te maken met twee dimensieloze grootheden. Eén daarvan kon hij op fysische gronden naar nul praten, waardoor die uit het zicht verdween. Overigens kon Taylor de energie alleen aangeven door een numerieke parameter te schatten – uit onschuldige experimenten, noodzakelijke extra input. Zijn uiteindelijke bevinding zat heel behoorlijk in de buurt van de werkelijke waarde.

In dit voorbeeld blijkt één van de gevonden dimensieloze uitdrukkingen dus onfysisch. Dimensieanalyse zegt niet, dat alle gevonden dimensieloze grootheden betekenis moeten hebben!

## Toepassing in GMM

Het probleem in GMM is in algemene termen eenvoudig te formuleren. Er vindt in het Groningse gasveld een aardbeving plaats en de vrijkomende energie richt aan de aardoppervlakte schade aan, bij door de mens gebouwde structuren. *Kunnen we met dimensieanalyse iets zeggen over de gevolgen als functie van de energie, die bij de aardbeving vrijkomt?*

Dit probleem knippen we op in twee delen: de beving zelf en de gevolgen aan de oppervlakte.

### 1. Van welke fysische parameters hangt de energie $E$ van een aardbeving af?

In eerste instantie denk ik dan aan  $\sigma - \sigma_c$ , waarbij het laatste symbool de kritische stress aanduidt. Verder kan ik me voor stellen, dat de dichtheid van het gesteente  $\rho$  meedoet. En natuurlijk het oppervlak van de breuk en het verzet. In principe zijn dit drie parameters. Ik breng ze samen in de combinatie lengte  $\times$  breedte  $\times$  verzet. Dit heeft de dimensie van een volume  $V$ . Dus samengevat hebben we  $E, \rho, V, (\sigma - \sigma_c)$ .

Laten we zoeken naar een combinatie  $E^a \rho^b V^c (\sigma - \sigma_c)^d$ , die dimensie nul heeft. Elk van de grootheden wordt opgeknipt in fysische grondeenheden kg, m, s. We hebben dan vier fysische variabelen en maar drie eenheden. We krijgen dus volgens Buckingham maar één dimensieloze grootheid.

We vinden na enige vereenvoudiging de relaties:

$$a + b + d = 0,$$

$$2a - 3b + 3c - d = 0,$$

$$a + d = 0$$

Afgezien van de triviale oplossing is er nog een hele schaar van oplossingen, die veelvoudig van elkaar zijn: als  $a, b, c, d$  voldoen, voldoen ook  $\alpha a, \alpha b, \alpha c, \alpha d$ . Maar die betekenen fysisch precies hetzelfde. Kies  $a = 1$  en dan is  $b = 0, c = -1, d = -1$

Dit betekent, dat  $E \propto (\sigma - \sigma_c) V$  (1)

Dus mijn vermoeden, dat de dichtheid een rol zou spelen, wordt door de analyse geloochenstraft.

Merk op, dat ik alleen evenredigheidsafhankelijkheden vind en dat numerieke factoren zo niet worden gevonden. Welk gedeelte van de vrijkomende energie aan het oppervlakte vrijkomt, kunnen we op deze manier niet te weten komen. Daarvoor is een volledige analyse van het probleem nodig.

[Om te weten welk deel van de energie op een bepaald oppervlak aankomt, kun je in eerste instantie volstaan met een simpele meetkundige beschouwing - een kegel met de punt op de plek van de beving en het grondvlak bij de structuur in kwestie.]

### 2. Welke schade kunnen we verwachten aan de structuren aan de oppervlakte?

Stel je voor, dat (een deel van) de energie in de buurt van het oppervlak komt. In de ongeconsolideerde laag gaat deze energie voor schade zorgen. Stel dat een zeker volume ongeconsolideerde grond flink door elkaar getrild wordt, wat is daarop van invloed?

We hebben nu met een fundamenteel andere situatie te maken.  $E$  speelt een rol, het volume  $V$  en de dichtheid  $\rho$  van de ongeconsolideerde grond. En omdat er nu grond in trilling gebracht wordt, speelt de zwaartekracht vermoedelijk een rol. Mijn vierde (vermoede) parameter is  $g$ , de versnelling

van de zwaartekracht. Weer hebben we vier fysische grootheden en drie eenheden. We zullen dus weer één dimensieloze parameter vinden.

De relatie vinden we volgens het bekende recept. Het blijkt, dat

$$V^{4/3} \propto E (\rho g)^{-1} \quad (2)$$

Dit is een niet-triviale relatie, althans ik had hem niet intuïtief kunnen “opdrumen”. Een simpele toepassing uit de krijgskunde is, dat als je een bomkrater met een afmeting  $R$  wil creëren, je de lading van de bom moet schalen als  $R^4$ . Relatie (2) zegt dus iets over de grootte van het volume, dat door de energie in wanorde wordt gebracht.

Als we het over schade willen hebben, is het misschien logischer om te kijken welke *snelheden* worden gegenereerd in relatie tot de energie van de beving.

De parameters, die we in een dimensieloos verband willen brengen, zijn in eerste instantie de snelheid  $v$ ,  $E$ ,  $\rho$  en  $g$ . Resultaat:

$$v \propto (E/\rho)^{1/8} g^{3/8} \quad (3)$$

Dit nu is een opmerkelijke relatie. De afhankelijkheid van de energie-input is bepaaldelijk zeer gematigd.

Maar... hier is nog een optie. Als we het over *huizen* hebben en niet over grond, dan is het misschien mogelijk om nog een parameter bij de analyse te betrekken, namelijk de stijfheid  $Y$  van de constructie.

Dan hebben we dus de 5 parameters  $v$ ,  $E$ ,  $\rho$ ,  $g$  en  $Y$ . We weten, dat we twee dimensieloze grootheden kunnen vinden. Een eerste hebben we al, nl. (3).

Een tweede, die voor constructies meer opportuun lijkt, wordt

$$v \propto (E/Y)^{1/6} g^{1/2} \quad (3a)$$

Dat leidt tot de volgende interpretatie. Stel, dat twee gelijkwaardige huizen - vlak naast elkaar - heel verschillende schade ondervinden, dan moet dat met de *grond* te maken hebben ( $\rho$ ) of met hun *stijfheid* ( $Y$ ).

Hier zien we nog een fenomeen, namelijk dat domeinkennis van eminent belang is. Immers, ik heb twee dimensieloze combinaties gekozen. Maar er zijn uit de vijf variabelen ook andere te verzinnen. Immers, ik heb bij de ene de dichtheid weggelaten en bij de ander de stijfheid. Het zou kunnen zijn, dat een zekere combinatie van beide voor de domeinkenner logischer is. Dit is meteen de zwakte van de dimensieanalyse: er zijn twee, onafhankelijke, dimensieloze parameters bepaald. *Welke zinvol zijn is aan de domeindeskundige!* Daarover doet deze eenvoudige analyse geen uitspraak.

In (3) en (3a) hebben we gezien, wat er met de *snelheid* van de grondbewegingen gebeurt. Kunnen we iets over versnellingen aan structuren zeggen?

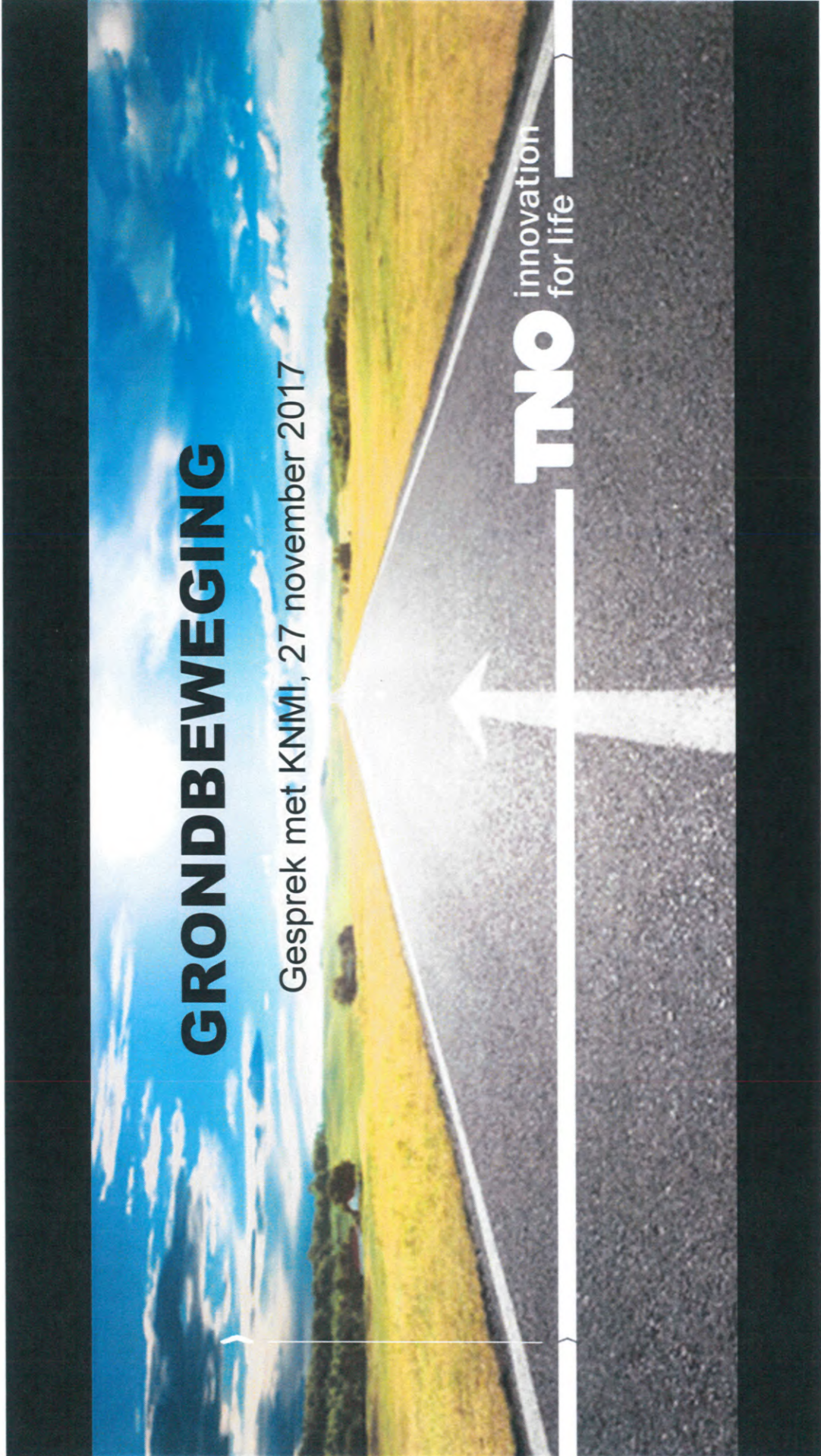
Stel we nemen als bepalende variabelen  $a$  (= de versnelling),  $E$ ,  $\rho$  en  $Y$ . Als we met deze variabelen aan de gang gaan krijgen we de relatie  $a \propto Y^{4/3} \rho^{-1} E^{-1/3}$ . Maar dit is een volslagen onfysisch resultaat, gezien de bizarre relatie tussen  $a$  en  $E$ : natuurlijk kan de versnelling niet groter worden als  $E$  afneemt! Klaarblijkelijk moeten er ofwel *andere*, ofwel *meer fysische variabelen* een rol spelen. In het laatste geval missen we klaarblijkelijk de relevante relatie – zie “Algemene aanpak”.

Op zich is dat een zinvol resultaat. Ook een mislukking kan, zoals wij allen weten, leerzaam zijn.

# GRONDBEWEGING

Gesprek met KNMI, 27 november 2017

**TNO** innovation  
for life





## **KNMI EXPERTS**

Bernard Dost (KNMI)  
Elmer Ruigrok (KNMI, UU)  
Jesper Spetzler (KNMI)

## **NORM**

KNMI onderschrijft, dat de NPR gemeenschap uitgaat van een bewuste, conservatieve aanpak. Van de KNMI & NAM curves wordt daarom de omhullende curve gebruikt voor de norm. Deze omhullende is geassocieerd met de hoogste hazard.

## TREND IN BIJSTELLINGEN

KNMI herkent neerwaartse trend in NAM hazard (GMPE V1 naar V2) en schrijft deze trend grotendeels toe aan terugdringen onzekerheden in GMM:  
V1 diverse, analoge gebieden elders;  
V2 Groningen data + simulatie voor M>3,6.

KNMI verwacht, dat bijstellingen in GMM vanaf V4 minder effect zullen hebben op de hazard.

## NAM PROCEDURE

KNMI geeft aan, dat de NAM altijd veel aandacht besteedt aan invloed van bias in het GMM.

Binnen GMM is geen centraal moment in de procedure opgenomen, waarop wetenschappelijke bias of het bewust maken van conservatieve keuzes integraal kan worden afgewogen of getoetst. Er is sprake van een optelsom van deelkeuzes. KNMI ziet hiervoor geen alternatief.

KNMI beveelt aan om alle kritische parameters in de modelketen te onderwerpen aan een SSHAC *expert elicitation* (zoals uitgevoerd voor de Mmax).

De NAM laat alle rapporten voorafgaand aan publicatie reviewen door ca. 8 internationale experts (zie NAM website). Het betrekken van internationale experts met weinig of geen lokale kennis kan zodoende leiden tot zowel minder als meer bias in de hazard.

## **GMM ALGEMEEN**

KNMI verwacht, dat bias in het GMM waarschijnlijk beperkt effect heeft op de hazard (pers. comm. Dost). De onzekerheid is het grootst voor hoge bevingsmagnitudes. Het effect hiervan op de hazard wordt beperkt door de relevante herhalingstijden (zie Mmax notitie).

KNMI geeft aan, dat dit voor het seismisch bronmodel anders kan liggen. KNMI beveelt daarom aan gebruik te maken van verschillende GMM modellen - voor zover beschikbaar - en in te zetten op de ontwikkeling hiervan.

## GMM PER ONDERDEEL

### Excitatie

- Stress drop is meest bediscussieerde parameter.  
Data laat 10-100 bar daling zien. Theoretische bovengrens is de gemeten totale drukdaling (200 - 300 bar) in afwezigheid van extra tectonische spanning.
- Van puntbron naar lijnbron is een verfijning.
- KNMI gaat uit van het *normal faulting* mechanisme en een seismogene zone tot maximaal 10 km diepte (Cloetingh, '80). NB Relevante diepte van mogelijke seismische bronnen staat ter discussie, zeker voor hogere magnitudes.

## GMM PER ONDERDEEL

### Excitatie

- Magnitude conversie (ML versus Mw) is een aparte, belangrijke stap in het GMM.
- KNMI heeft een eigen *shear velocity* model ontwikkeld voor de bovenste 200 m. Dit model is gebruikt als vergelijkingsmateriaal voor de NAM/Deltares modellen.

## **GMM PER ONDERDEEL**

Locatie van bevingen

- Overstap van huidige 1D aanpak naar 3D aanpak is nodig, i.h.b. rondom zoutdiapieren.
- Ray-tracing kan daarom aanleiding geven tot verdere ontwikkeling. Voornaamste onzekerheid vormt het geologisch model. PM Nieuwe meetcampagne van de NAM focust hierop.



## GMM PER ONDERDEEL

### Pad

- Het referentie-interface, waarop amplificatiefactoren worden berekend, is verlegd van 400 m (V2, Brusselse zanden) naar 800 m (V4 en V5, basis Noordzee met her en der zoutintrusies). Dit vanwege de aanwezigheid van een meer continu dichtheidscontrast tussen kalksteen en ongeconsolideerde sedimenten.
- Deltares legt nadruk op de bovenste 800 m onder maaiveld, tot aan het referentie-interface, vanwege mogelijke impact op de doorgifte van met name de lage trillingsfrequenties.

## GMM PER ONDERDEEL

### *Site respons* en magnitude relatie

- KNMI ziet dit als de belangrijkste aanpassing tussen GMPE V2 en GMPE V4 cq. V5.
- KNMI heeft *site respons* model gevalideerd middels een eigen, afgeleid *shear velocity* model voor de bovenste 200 m. In de validatie is gebruik gemaakt van beschikbare, onafhankelijke boorgatmetingen (werk in uitvoering). Hiermee kunnen gemiddelde *shear velocities* worden berekend voor de structuur tussen 2 gefoons op diepte (0-50-100-150-200 m). Voorlopige bevindingen: op hoofdlijnen overeenkomst, op enkele locaties afwijkingen.

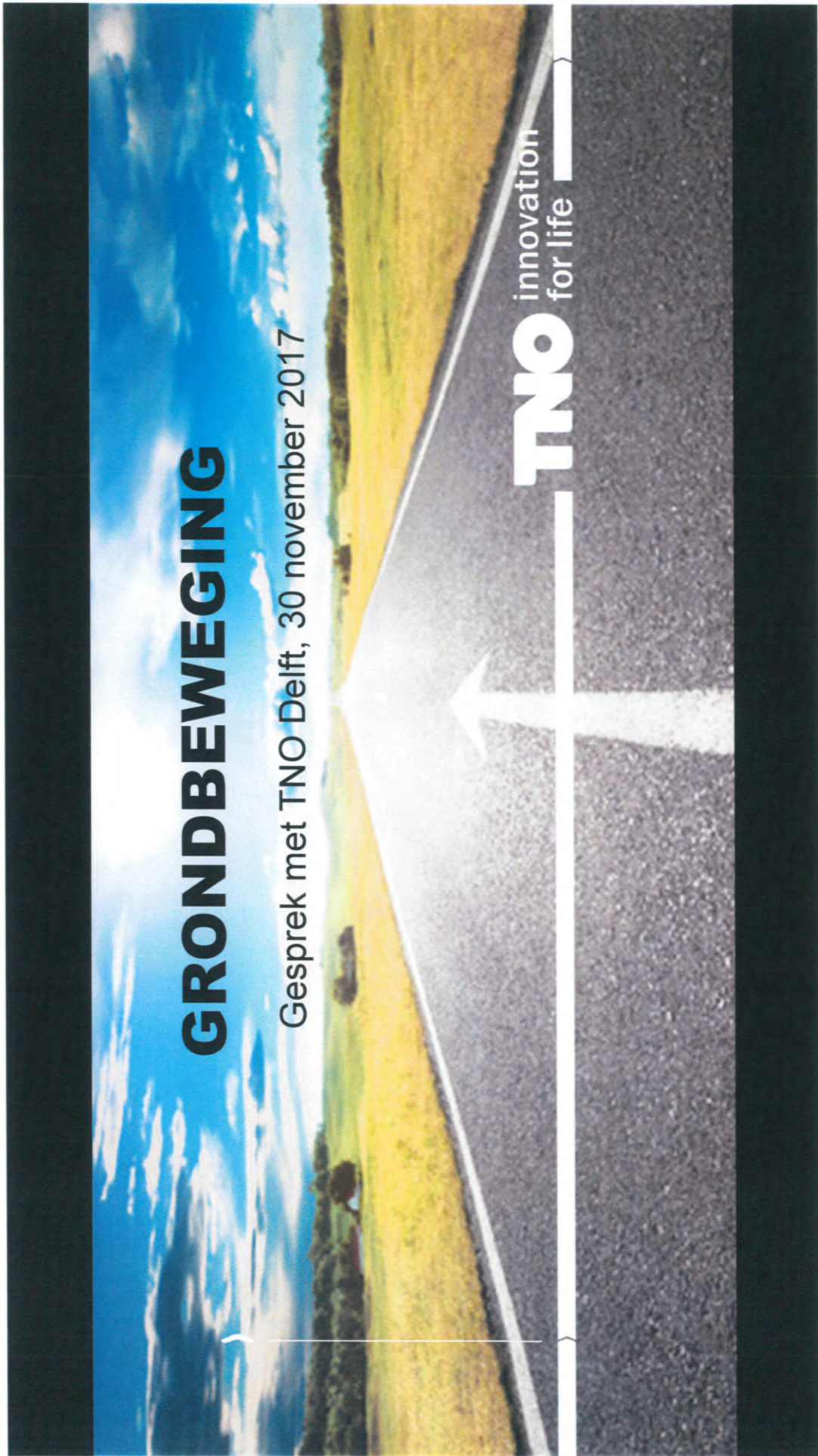
## **SUGGESTIES VOOR REVIEW**

KNMI verwijst naar bestaande expert reviews, uitgevoerd in opdracht van de NAM en suggereert gebruik te maken van experts uit Japan (bijv. Kyoto University), ETH Zürich (i.e. Donat Faeh) of Frankrijk.

# GRONDBEWEGING

Gesprek met TNO Delft, 30 november 2017

**TNO** innovation  
for life



# TNO EXPERT

Jitse Pruiksmā, TNO

## **NORM**

Norm uitgewerkt per toepassing:

- Gebouwen (NPR)
- Dijken
- Industriële installaties

Verschil bronmodel NAM (B&O) en KNMI in NPR richtlijn:

- # bevingen per jaar
- ruimtelijke verdeling
- b-waarde

PM Arup heeft eigen, hybride bronmodel ontwikkeld vanuit deze verschillen.

## GMM PER ONDERDEEL

### Pad

- GMPE V1 (maaiveld; NPR 30 m onder maaiveld), V2 (400 m onder maaiveld), V4 en V5 (800 m onder maaiveld)

De golven arriveren diagonaal op 800 m diepte. Dat geeft bias in de Vs.

Aanbeveling: integrale berekening tot maaiveld, dan terugrekenen -50 m (basis GeoTOP model)

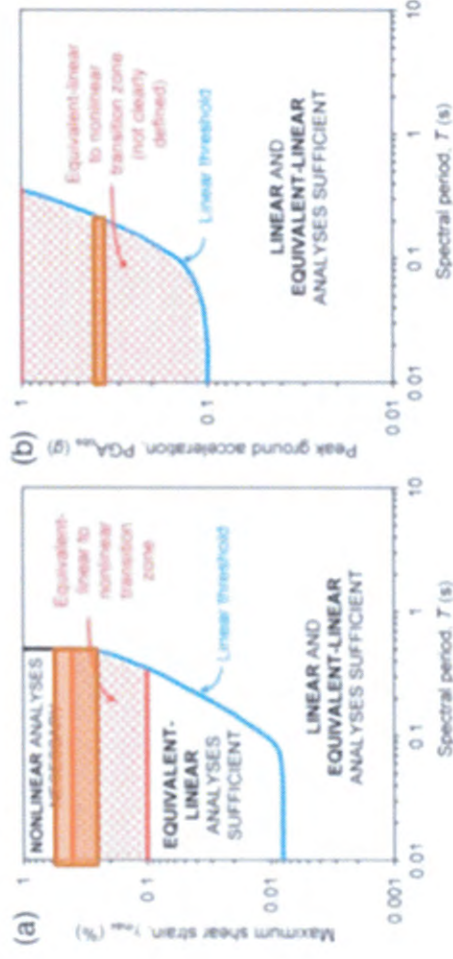
- Kritische parameters zijn frequentie, horizontale compressie en energiedichtheid.

## GMM PER ONDERDEEL

Site response

“Equivalent-lineaire site response analyse op basis van *random vibration theory* i.p.v. niet-lineaire SRA (V4, p 176,180-182)”

Aanbeveling: onzekerheid in ligging “oranje gebied” bepalen als onderdeel versiebeheer modelketen Groningen



Oranje is Loppersum profiel.  
Bron: Pruiksmas, 2016 bewerking  
van Kaklamos et al., 2013).



## GMM PER ONDERDEEL

Site response

- Methodiek om hysteresegedrag te berekenen

Dit is voor een deel van de gebouw-typologiën Groningen van belang. Equivalent-linear is een snelle, numerieke benadering voor niet-lineair hysteresegedrag, (i.e. damping ratio, shear modulus).

Verskil is voornamelijk merkbaar bij constructies met relatief korte trillingsperiodes, zoals bij bakstenen rijtjeshuizen. Voor hoogbouw en in de randgebieden zijn de verschillen tussen beide methoden minder.

NB Historisch gezien is equivalent-linear de norm in grondverwekingsmodelontwikkeling, daarom is datacalibratie nodig voorafgaand aan de overstap naar niet-lineaire modellen.

- Klei-veen profiel bias in PGA tot 30-50%, afhankelijk van de periode en bevestigingsintensiteit (Pruiksma, 2016).

## GMM PER ONDERDEEL

### Site response

De V2 hazard in de vorm van het maaiveldspectrum bij bijv. 475 jaar herhalingsperiode komt redelijk overeen met het 475 jaar response spectrum uit V1, zoals doorgerekend naar het maaiveld. In andere woorden: de door experts ingeschatte en gecorrigeerde (optimistische) bias in V1 kwam op hoofdlijnen overeen met de -beter onderbouwde- schatting in V2.

De maaiveld response spectra in de huidige hazard berekening met V4/5 liggen met name in het centrum gebied lager, dan de berekende spectra met V2 in de toenmalige hazard berekening.

Aanbeveling: evaluatie van de verschillende bronmodellen met hetzelfde GMPE model en verschillende GMPE modellen met hetzelfde bronmodel om de reden hiervan te achterhalen.

## **GMM SITE RESPONSE**

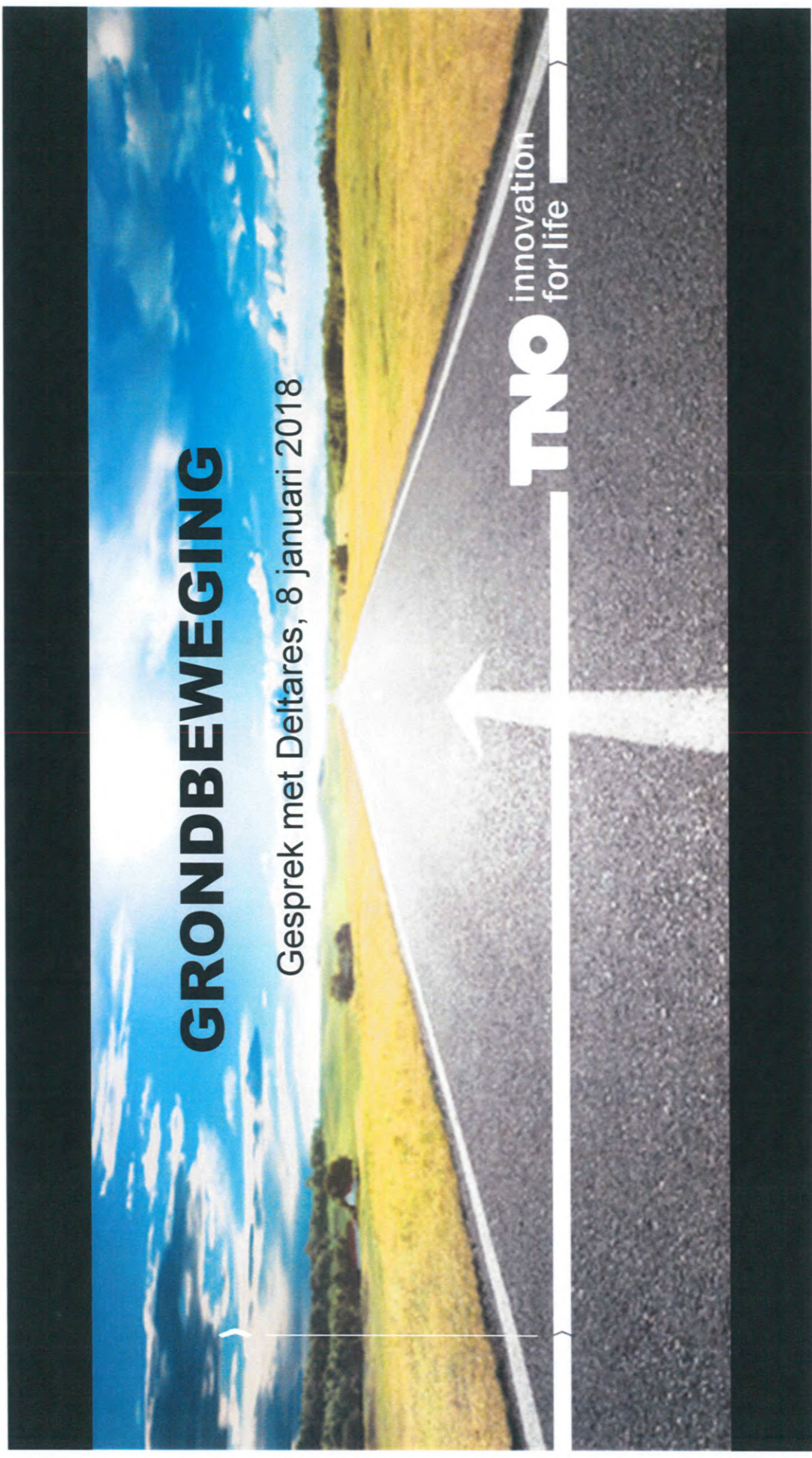
Navragen bij Deltares:

- Procedure voor kwaliteitscontrole
  - In hoeverre is de standaard STRATA tool van toepassing op de situatie in Groningen?
  - Bias in Vs veenlaag?
  - Oorzaak tweede piek bij lange periodes?
- NB Mogelijke oorzaak is gelegen in het failure criterium, want plastisch gedrag beperkt energiedoorgifte lange periodes. Dat geeft een relatie met de sterkte van de sedimenten.

# GRONDBEWEGING

Gesprek met Deltares, 8 januari 2018

**TNO** innovation  
for life



## **DELTA RES EXPERTS**

Ger de Lange  
Pauline Kruiver

## GMM GENERIEK

### Deltares

- Documentatie  
GMM is goed gedocumenteerd via publiekelijk beschikbare NAM rapporten en peer reviewed papers. Dat geldt in mindere mate voor het gebruik van GMM in de hazard en risicoanalyse.  
PM Dit speelt ook in NEN-NPR verband.  
Deltares heeft beperkt inzicht in de toepassing van haar werk door de NAM in het hazard model.
- Ontwikkeling  
Deltares merkt op, dat de mate van veranderingen tussen de versies afneemt, i.e. de laatste versies zijn vrij stabiel (inclusief eventuele bias).

PM In hogere versies is in toenemende mate gebruik gemaakt van nieuw grondonderzoek, zodat een eventuele bron van bias door gebruik van niet locatiespecifieke data is afgenomen.

## GMM GENERIEK

### Deltares

- Onderbouwing

Deltares kan zich vinden in de NAM wijze van statistische onderbouwing van het gehele risicospectrum v.w.b. de site respons.

- Procedure QC

Wetenschappelijke review door internationaal vermaarde experts op verzoek van de NAM. Professor Bommer werkt zoveel mogelijk volgens de SSHAC richtlijnen. PM Deze zijn voor de Mmax formeel gerealiseerd.

Deltares is gevraagd door de NAM om tijdens haar werkzaamheden aandacht te geven aan verbeterpunten en kritisch te zijn op (parameter)keuzes, i.h.b. terugbrengen onzekerheid. Er is geen speciale aandacht besteed aan controle of documentatie op bias. Bij de geomechanische parameterkeuze is uitgegaan van de mediaanwaarden.

## **GMM BIAS**

### Deltares

- Uitdaging

Overgang tussen modelcalibratie op Groningen data en de range van magnitudes, waar de hazard door bepaald wordt.

Gekozen aanpak: logic tree.

### Modelcalibratie:

Er vindt een match plaats van de berekende waarden met de in de meetstations gemeten waarden.

Er worden uit de fit correctiefactoren afgeleid en onzekerheidsverspreidingen.



## GMM BIAS

### Deltares

- Benadering via STRATA is equivalent linear. Dat geeft over het algemeen een bias (conservatief) t.o.v. niet-lineaire modellen (vb. Deepsoil). Dit is getest met een aantal Groningse grondkolommen.

PM Goede datacalibratie is nodig bij de overgang naar niet-lineaire modellen & rekentijd neemt snel toe bij gebruik van niet-lineaire modellen.

- 1-D berekeningen

Zijn een vereenvoudiging van een 3-D vraagstuk:

- a. golfgedrag (zelfs bij horizontale geometrie van de lagen) en
- b. variatie in ondergrondse geometrie (i.e. glaciële tunneldalen).

Aanbeveling: doorrekenen casus in 3D vanwege de modelonzekerheid  
PM Effect is waarschijnlijk variabel, afhankelijk van de trillingsperiode.

## **GMM BIAS**

### Deltares

- Dynamisch grondgedrag is wetenschappelijk gezien onvoldoende bekend, zeker in vergelijking met statisch grondgedrag.

Aanbeveling: fundamenteel onderzoek naar dynamisch grondgedrag ter nadere onderbouwing en verrijking van de huidige generatie modellen. Dergelijk onderzoek dient in het bijzonder te worden gericht op de in Groningen aanwezige bodemgesteldheid.

PM Veencurve geïntroduceerd op grond van literatuur (V3), inclusief Groningen data en labdata (V4/5) in oktober 2017 (zie NAM website).

PM Labdata zijn uitgevoerd door meerdere labs, om bias in de metingen uit te sluiten.

## GMM BIAS

### Deltares

- Amplificatiefactor (AF)  
Er is een onzekerheidsfactor toegevoegd bovenop de statistische spreiding in AF resultaten om modelonzekerheid en variatie in de *modulus reduction and damping* curves mee te nemen.
- Schatting minimale onzekerheid in  $V_s$  (0-50 m) in de data. Dit zorgt niet voor een bias, wel voor een iets bredere bandbreedte in de onzekerheid rond de mediane AF.

## GMM VOORTSCHRIJDEND INZICHT

### Deltares

#### Monitoring

- Beschikbaarheid van nieuwe metingen uit de monitoring (Vs data, sonderingen) neemt toe.
- Nieuwste metingen in lijn met bestaande relatie naar diepte, die in de extrapolatie wordt gebruikt.
- Kwaliteit van de meetstations is toegenomen, daarom neemt de bias in de meetdata af.
- Deltares signaleert geen verschil in bias tussen korte en lange perioden voor de site respons.

## GMM VOORTSCHRIJDEND INZICHT

### Deltares

#### Parameters

- Aanpassing van aantal parameters tussen V2 en V5 (o.a. drukafhankelijkheid van geomechanische parameters) heeft beperkt effect op resultaten.
- Verdiepen van site respons naar 800 m (V5) heeft aantal voordelen:
- ✓ Er wordt beter voldaan aan de elastische half-space aanname in 1 D, vanwege de aanwezigheid van een impedantiecontrast.
- ✓ De 2-3 secondenpiek, die in V2 aanwezig was, wordt veroorzaakt door resonantie in de niet volledig meegenomen Noordzeegroep in V2 en is nu verdwenen.

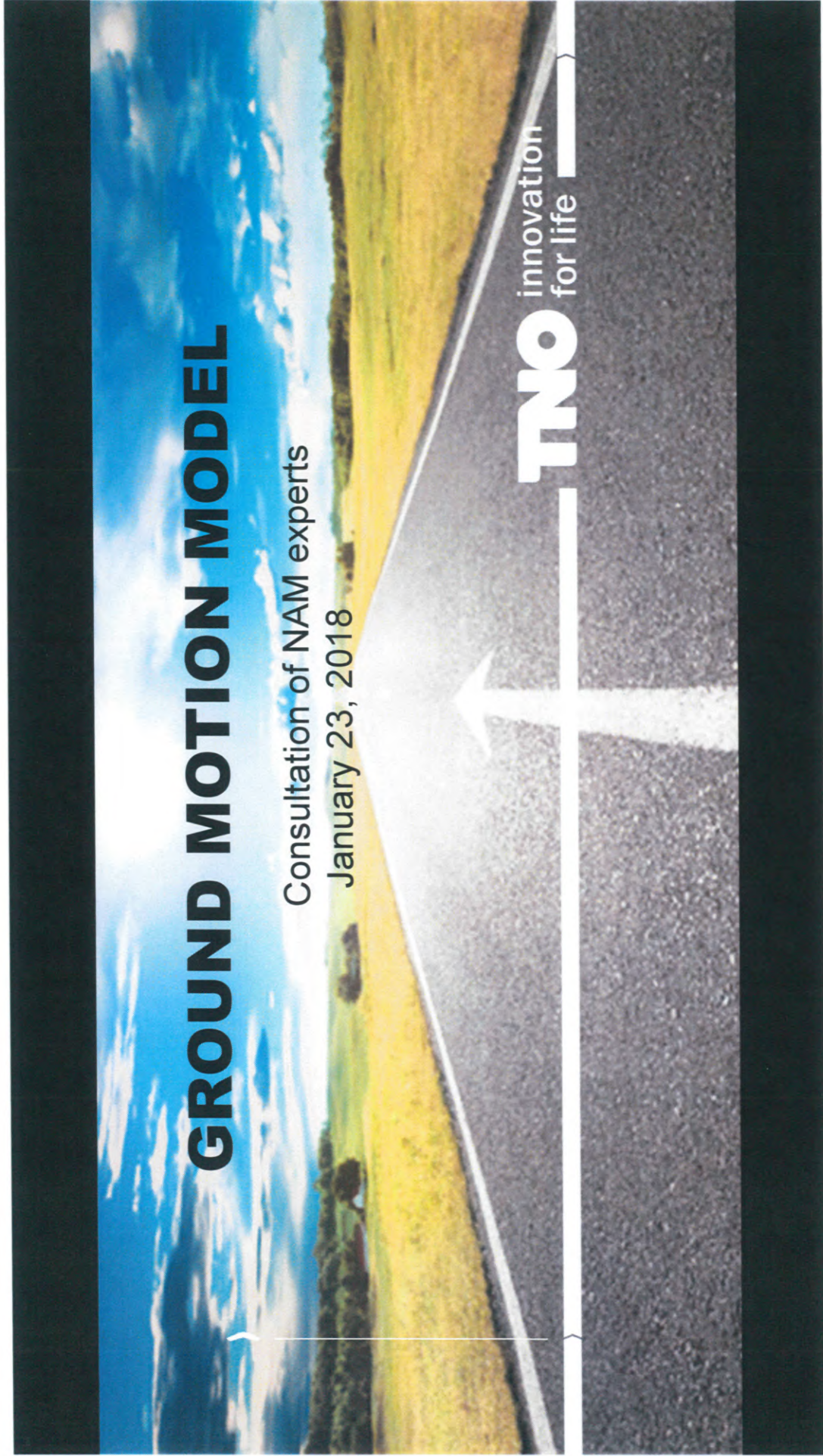
PM Deltares heeft de mate van afbuiging van de golfpaden op deze diepte (VH ratio) niet in de site response berekeningen meegenomen en wijst erop, dat in V5 de afleiding van de vertical response spectra en de onzekerheid is geadresseerd (laatste alinea paragraaf 2.2).

PM Deltares geeft aan, dat KNMI dit heeft gemeten op 200 m diepte (“net niet volledige afbuiging, dus geen zuivere verhouding tussen horizontale en verticale golfcomponenten”).

# GROUND MOTION MODEL

Consultation of NAM experts  
January 23, 2018

**TNO** innovation  
for life



## **NAM EXPERTS**

Jan van Elk (NAM)  
Dirk Doornhof (NAM)  
Julian Bommer (consultant NAM)  
Ben Edwards (consultant NAM)  
Pauline Kruiver (Deltares)

## QUALITY CONTROL PROCEDURES

- General approach supervised by Dr. Julian Bommer.
- The overall objective has been to develop unbiased distributions, representing the best estimates and their associated uncertainties.
- During the early developmental phases the approach to modelling has been to err on the side of conservative choices, such that refinement in the subsequent phases would more likely lead to reductions than increases. Any potential conservatism is noted in the documentation at the level of single technical decisions, for the few cases where it may be appropriate.
- The panel review has been undertaken from this perspective. This review is executed before formal publication by NAM. Review comments have challenged potential biases in the model.
- The GMM V5 model is not biased with respect to the field data.



## REVIEW PANEL

With respect to V5:

- Review panel suggestions are currently being processed by NAM.
- Suggestions and new documentation are to be published within the coming months.
- Review panel considers V5 (see formal letter in NAM ppt):

*“well suited for its purpose of regional ground motion prediction to support hazard and risk studies in the Groningen field”.*

External Expert	Affiliation	Main Expertise Area
Norm Abrahamson	UC Berkeley	Ground Motion Prediction
Gail Atkinson	Western University, Ontario, Canada	Ground Motion Prediction
Hilmar Bungum	NORSAR, Norway	Ground Motion Prediction and panel for the maximum magnitude of earthquakes
Fabrice Cotton	GFZ Potsdam, Germany	Ground Motion Prediction
John Douglas	University of Strathclyde, UK	Ground Motion Prediction
Jonathan Stewart	UCLA, California, USA	Ground Motion Prediction
Ivan Wong	AECOM, Oakland, USA	Ground Motion Prediction Member and panel for the maximum magnitude of earthquakes
Bob Youngs	AMEC, Oakland, USA	Ground Motion Prediction Member and panel for the maximum magnitude of earthquakes

Table D.3 The assurance team for “Ground Motion Prediction”. Hilmar Bungum, Ivan Wong and Bob Youngs sit also in the panel for the maximum magnitude of earthquakes.

Source: NAM, nov. 2017

## **GMM GENERIC**

- The level of sophistication of the Groningen GMM is comparable to the approach used to assess the seismic hazard at some nuclear power plants.
- The current approach (V5) includes innovative features, such as the scenario-dependence of short-period amplification factors.
- GMM results are observed to be rather stable, i.e. modifications between V2 and V5 are relatively minor (finetuning of models). This is expected to be the case for future updates (V6) as well.

## GMM REGIONAL VERSUS SPECIFIC

Spatial correlation in subsurface will be relevant for Group Risk (not for LPR), specifically for the combination of weak buildings in the presence of a high local variability in the subsurface.

- The exploration of spatial correlation is a more general feature of the ground-motion. Current NAM efforts are directed toward development of a field-specific spatial correlation model and exploration of whether this is well approximated by the current approach of imposing near-perfect correlation within each site response zone.
- Implementing a source-path-site-specific (i.e. fully non-ergodic) model would lead to reductions in variability that would lead to reduced estimates of both hazard and risk. This is a major scientific development and not a short-term refinement.
- Measurements have shown that the field-wide VS profiles and site response model are very good.

Therefore, site-specific measurements or further refinements of this component of the model are unlikely to have a major impact. In other words, the suggestion to perform CPT measurements at every house would not bring any appreciable (technical) advantages.

## GMM ELEMENTS

### Excitation model

- Weight distribution is equally likely among upper 3 branches of logic tree, lowest branch is considered to be unlikely ( $p=0, 1$ );
- Earthquakes of  $M > 5$  are considered to be triggered (rather than induced) and to be associated with ruptures that propagate into the Carboniferous below the gas reservoir (report by the expert panel on Mmax). A finite rupture model is invoked in V5 to simulate triggered quakes.

PM Finite rupture is modelled as a series of point sources with time delay (summed);

- Magnitude conversion (ML to Mw) is a separate step in the analysis and does influence the source terms (stress drop) rather than the path or site terms.

## **GMM ELEMENTS**

### Propagation paths

- In V5 artefacts in EXSIM model could generate bias (overestimation) in ground-motion durations.
- The applied, averaged empirical relations in the risk model have been based on observations as well as physics / seismological theory and waveform modelling.

## GMM ELEMENTS

### Site response

- A Vs30-based amplification factor for duration has been adopted, since such a factor is difficult to determine from site response analyses. The duration model does account for lateral variations in the Groningen surface soil conditions.

PM CPT data are centered at where the people are.

- By comparing calculated amplification factors with those inferred from inversion of observed surface motions, it has been demonstrated that the 1D site response is working well.

## LATEST INSIGHTS

- Amount of new records recorded during the Zeerijp quake (67) demonstrates substantial improvement in monitoring network since Huizinge quake (2012).
- A potential bias (0,2 offset in magnitude, proposed in work with KNMI and used only in V4) has since been found not to apply based on recent measurements.

## LATEST DEVELOPMENTS

- A report is in preparation summarising the liquefaction hazard assessment. Preliminary results indicate that the liquefaction hazard is marginal (i.e. moderate liquefaction that would not pose a threat to buildings) even at a few very susceptible locations. The liquefaction hazard is driven by earthquakes of  $M > 5$  that have low probability of occurring.
- NAM is working towards an integrated database (KNMI data, TNO sensor network, NAM high resolution temporary array data);



## Brainstorm "Mogelijke bron voor bias in GeoTOP en scenario's DGM-bereik"

Datum: 26 oktober 2017

### Gegevens

Mogelijke bron bias (dan wel onzekerheid)	effect lithologisch	schatting Vs	significant?
Geen / onvoldoende rekening gehouden met het verdwijnen van veen nadat het is aangeboord.	Overschatting oppervlakkig voorkomend veen	↘	+
Effect in inklinking van grond, door bebouwing of landbouw, is niet goed verdisconteerd in dichtheidsmodel.	(Compactie)	↘	?
Vervanging van slappe grond door funderingslaag of cunet	Klei of veen is vervangen door zand	↘	+
Antropogene laag bestaat uit ander materiaal dan zand (zoals aangenomen in GeoTOP). In de regel zal dat gaan om grond.	Ophoogmateriaal is kleiiger en/of humeuzer	↗	+?
Verzadigingstoestand is verkeerd ingeschat (aanname is freatische grondwaterspiegel altijd op 1 m onder maaiveld)	Geen	?	?
Klei en veen is over-gerepresenteerd in de data (in verband met het ondiepe voorkomen).	Teveel klei / veen (<50m) (m.n. in noorden?)	↘	+?
Stevige grond is over-gerepresenteerd in de data (omdat bouw bij voorkeur plaatsvindt op een steviger ondergrond).	Teveel zand	↗	??
Er is in het studiegebied of delen daarvan sprake van een consistente afwijking van de gemiddelde eigenschappen van de voor dit probleem relevante lithoklasse "kleiig zand en zandige klei".	Onbekend, mogelijk regionaal variabel.	?	?
Aan basisveen is in GeoTOP een minimale dikte toegekend van 0.5m	Overschatting voorkomen veen aan de basis Holoceen op diepten tot 20m	↘	+/-
Onderschatting erosie Holocene geulen.	Overschatting voorkomen veen aan de basis Holoceen op diepten tot 20m	↘	?
Van eenheden die over het algemeen fining upward zijn is alleen de top doorboord.	Onderschatting korrelgrootte binnen die eenheid, mogelijk teveel klei	↘?	?
Effect ijsbelasting op Fm van Drachten en oudere eenheden is niet goed verdisconteerd in het dichtheidsmodel.	Geen	↘?	?

Kartering REGIS II leidt tot onrealistisch continue kleivoorkomens en (daarmee) tot overschatting van het aandeel klei in de ondergrond.	Te veel klei in het dieptebereik 50-500m.	↘	?
Diepte Peelogeulen is onderschat.	Te weinig (pot)klei in het dieptebereik ~100-500m.	↗	+?
Klei is onder-gerepresenteerd in geroerde boringen.	Te weinig klei in het dieptebereik 10-500m	↗	+?
Classificatie / beschrijfmethode leidt tot onderschatting ondergeschikte lithologieën, afhankelijk van boormethode.	Divers	?	?
Seismische CPTs vnl. in noorden gezet en mogelijk niet representatief	NVT	?	?
Wierden, met vaak oude bebouwing, niet expliciet opgenomen in model	Lithologische samenstelling variabel en veelal onbekend	?	?

### Methodologisch

GeoTOP: mogelijk sprake van bias bij het berekenen van de 'meest waarschijnlijke' lithoklasse.	?	?	?
Scenario's: i.t.t. GeoTOP zijn de scenario's met het oog op de toepassing opgesteld zodat een focus gelegd is op het voorkomen klei en veen, en introduceert zo een bias bij projectuitvoering.	?	↘?	?

NB: Een ander methodologisch punt bij GeoTOP was het niet meenemen van afwezigheidsinformatie; dit blijkt voor een aantal ondiepe dunne eenheden (NIHO, NIBA, NINB, NIGR, BXS11) gedaan te zijn.