

## Voorbeeld Toepassing dijkmonitoring

### Titel

Monitoring Ommelanderzeedijk

### Keywords

Monitoring, DDSC, Macrostablieit, WBI

### Indiener voorbeeld

BZ Ingenieurs en Managers

### Aanleiding onderzoek

Waterschap Noorderzijlvest heeft tijdens de derde toetsingsronde in 2010, 22 km van hun dijken langs de Waddenzeekust afgekeurd. Dit was aanleiding om (samen met Stichting IJkdijk) te starten met monitoring van hun dijken. De monitoringsprojecten zijn gericht op trajecten op de Ommelanderzeedijk en de Lauwersmeerdijk. In dit voorbeeld wordt gefocust op het op onderzoek dat heeft plaats gevonden op de Ommelanderzeedijk.

Dit project kenmerkt zich door de grote hoeveelheid en verscheidenheid aan monitoringstechnieken op het deeltraject. Daarbij omvatte de monitoringsperiode een tijdsbestek van 3 jaar. Het voorliggende voorbeeld heeft als doel om uit te lichten hoe integraal meten en monitoren van meerwaarde kan zijn bij de WBI-beoordeling.

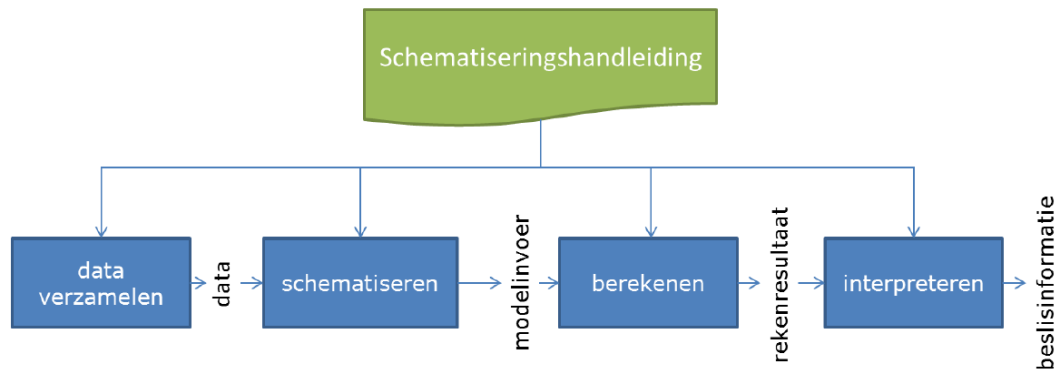
### Doel onderzoek/ probleemstelling

Het doel van het beschreven onderzoek is het bewaken van de veiligheid van de afgekeurde dijken tot deze zijn verbeterd, het leveren van aanvullende informatie t.b.v. de verbeterwerken en het monitoren van de dijkvakken voor, tijdens en na de verbeterwerken om een beter inzicht te krijgen in het gedrag van de dijk. Het toepassen van het Dijk Data Service Centrum (DDSC) binnen het onderzoek heeft als doel: het landelijk opslaan van betrouwbare beschikbare en complete waterveiligheidsinformatie. Vanuit het DDSC kan data geëxtraheerd worden voor integrale analyse. Ook kan informatie vanuit het DDSC makkelijk gedeeld worden met collega waterkering beheerders.

Een van de onderwerpen van het onderzoek bij de Ommelanderzeedijk is de onzekerheid over de grondwaterstand in de versterking van zand achter en deels boven de oorspronkelijke zeedijk van klei. Tijdens de derde toetsronde is geen rekening gehouden met de aanwezigheid van deze oude kleidijk.

### Type voorbeeld

De fasering in het ontwerpen is ongeveer gelijk aan de fasering in de beoordeling (zie figuur 1). Het uitgevoerde onderzoek betrof voor het overgrote deel de fase "data verzamelen". Hierbij is ook aandacht besteed aan het ontsluiten van de ingewonnen data om de data verzamel fase en de schematiseringsfase te verbinden. Er is tevens een globale inschatting gemaakt van het effect op de berekeningsfase in de vorm van een reductie in versterkingsopgave.



Figuur 1 Stappenplan

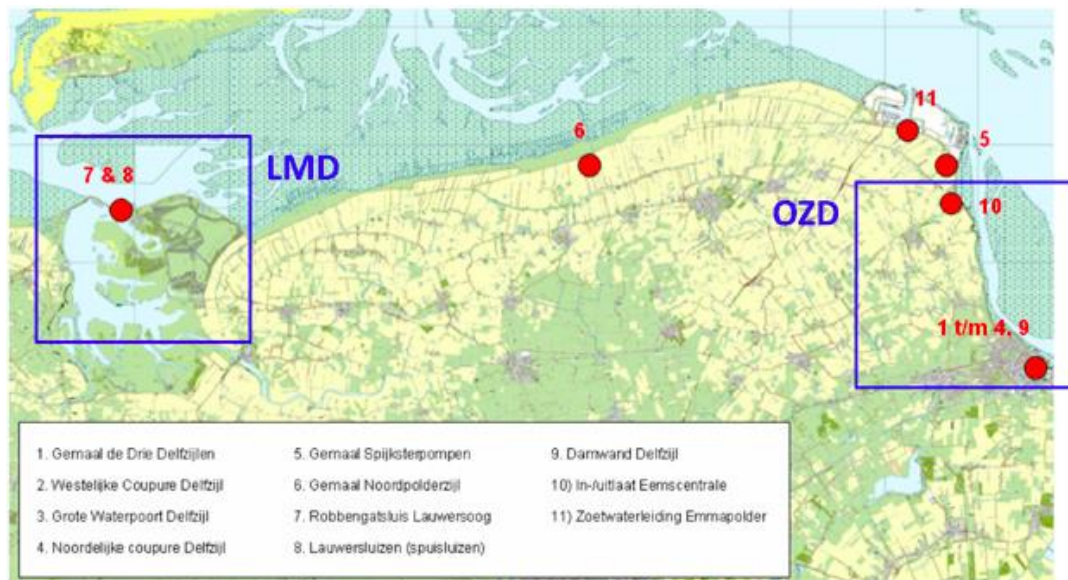
Het in dit voorbeeld beschreven onderzoek heeft aangetoond van meerwaarde te zijn voor de gedetailleerde toetsing en mogelijk ook voor een toets op maat. Het ging hierbij met name om het nauwkeuriger schematiseren van freatische lijnen en grondlagen ten behoeve van stabiliteitsberekeningen.

#### Status voorbeeld

De status van het voorbeeld is dat de Ommelanderzeedijk wordt versterkt, waarbij toegepaste sensoren na versterking opnieuw zijn ingebracht om data in te winnen over het gedrag van de versterkte dijk ten behoeve van een volgende toetsing. Dit voorbeeld richt zich op de reeds ingewonnen data voor de versterking.

#### Casebeschrijving

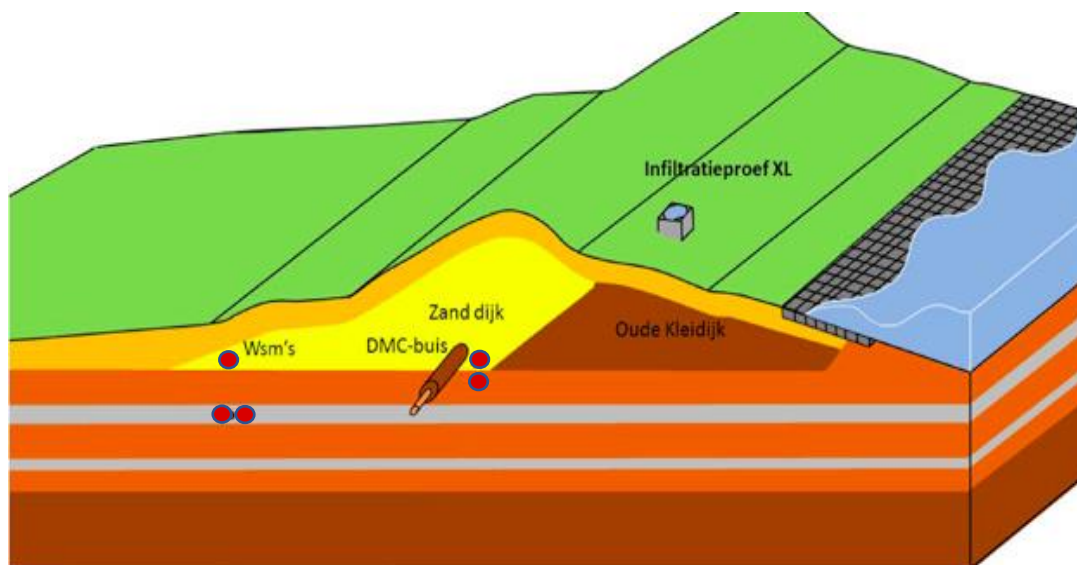
De Ommelanderzeedijk en de Lauwersmeerdijk zijn op dit moment de grootste zeedijken van Nederland die zijn uitgerust met een sensor-monitoringsysteem waardoor real-time gemeten wordt. Dit meetsysteem in heeft veel nieuwe inzichten opgeleverd. In figuur 1 is de geografische ligging van deze dijken weergegeven.



Figuur 1: Geografische ligging Ommelandersdijk (OZD) en Lauwersmeerdijk (LMD)

Waterschap Noorderzijlvest heeft tijdens de derde toetsingsronde circa 12 kilometer van de Ommelandersdijk afgekeurd op de criteria “macrostabiliteit” en “overgang grasbekleding op harde bekleding”. De belangrijkste reden voor het afkeuren van de Ommelandersdijk is onvoldoende binnenwaartse stabiliteit tijdens maatgevende omstandigheden.

De Ommelandersdijk bestaat, zoals meer van onze zeedijken, uit een oorspronkelijke zeedijk van klei, met daarachter een versterking bestaande uit zand (figuur 2). Het was onbekend in hoeverre de oude kleidijk infiltratie van buitenwater voorkomt en hoe ondoorlatend de kleideklaag aan de buitenzijde van de dijk is. In het uitgevoerde onderzoek is met name getracht deze onzekerheid te verkleinen.



Figuur 2: schematische weergave dijkbouw en plaatsing sensoren

Een belangrijk aspect bij het toepassen van monitoring op een schaal als dit voorbeeld, is het effectief ontsluiten van de grote hoeveelheid vrijgekomen data. Hiervoor is de eerste operationele versie van het Dijk Data Service Centrum toegepast (DDSC).

#### Opzet onderzoek

In het onderzoek bij de Ommelanderzeedijk zijn verschillende sensor/monitoringsystemen toegepast. Op het 12 kilometer lange traject zijn de volgende technieken toegepast:

- 38 waterspanningsmeters
- 7 peilbuizen
- 2 trajecten DMC van beide ca. 100m
- 2 neerslagmeters
- Vlakdekkende infraroodmetingen
- EM+GPR-metingen bij het DMC-traject

De grote hoeveelheid waterspanningsmeters en peilbuizen zijn gebruikt voor het monitoren van de (grond)waterstand in het zandpakket van het dijklichaam. Hiermee is essentiële informatie ingewonnen over het verloop van de freatische lijn. Het DMC-systeem is een 'intelligente' drainagebuis die ervoor zorgt dat de waterstand in de dijk gereguleerd kan worden door middel van het onttrekken van water. Omdat dit voorbeeld expliciet het aspect monitoring omvat, zal het effect van de DMC op de grondwaterstand niet worden mee genomen in dit voorbeeld.

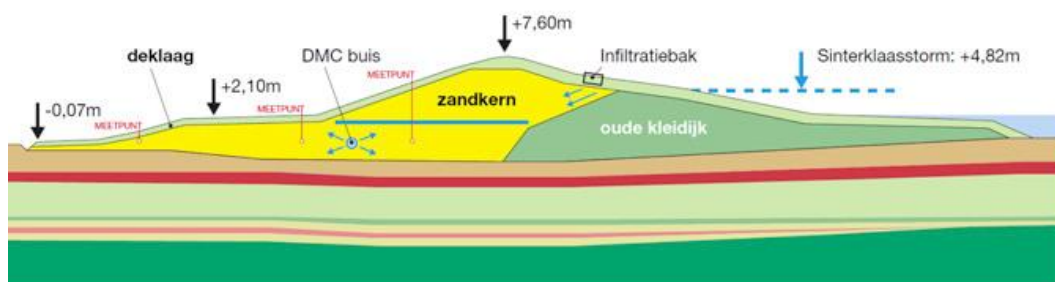
De verwerking van de ingewonnen data heeft in het onderzoek een centrale plek gekregen. Om de grote hoeveelheid ingewonnen data voor het beheer, beoordeling en dijkversterking toe te passen, moet ingewonnen data effectief worden opgeslagen en worden beheerd. Om hier invulling aan te geven is DDSC toegepast. Het DDSC kan zowel series met vlakdekkende meetgegevens als tijdreeksen vastleggen gekoppeld aan de betreffende locatie. De kern van het DDSC bestaat uit een database technologie. De technologie is geschikt voor het identificeren van patronen in datareeksen. Voor de analyse van het gedrag van een dijk onder verschillende omstandigheden is dit veelbelovend. In combinatie met de standaard kaartlagen uit de GIS-omgeving van het waterschap, die zijn ingelezen in de DDSC, kan de ingewonnen data online geraadpleegd worden.

In de 3-jarige periode is met name de data tijdens extreme omstandigheden van waarde gebleken, zoals ingewonnen tijdens de "Sinterklaasstorm" op 5-6 december 2013. Tijdens deze storm is een waterstand van 4,82m+NAP voorgekomen, deze is weergegeven in figuur 3. Hierbij is gekeken in hoeverre de oude kleidijk effect had op waterspanningen in de dijk als gevolg van de hoge buitenwaterstand.

Om echter te onderzoeken hoe de dijk reageert met betrekking tot waterspanningen wanneer er een waterstand op zou treden die boven de oude kleidijk uit komt, is een infiltratie proef uitgevoerd. In figuur 3 is schematisch weergegeven waar de infiltratie bak is geplaatst, net boven de bestaande oude kleidijk. De infiltratie proef op het buiten talud bestond uit het onder vrij verval infiltreren van water door middel van een vierkante bak

van 1 x 1 m. Op basis van drukopnemers en handmetingen is bepaald hoe snel het water infiltreert. Hierdoor kon de doorlatendheid van de deklaag worden bepaald.

Daarnaast is middels het DDSC, in real-time, de metingen in de dijk gevolgd, waarmee aanwijzingen werden gegeven aan de DMC-bediening. In het DDSC kon vervolgens ook real-time worden gecontroleerd of de instructies in het veld juist en tijdig waren uitgevoerd.



Figuur 3: schematische weergave dwarsprofiel tijdens infiltratieproef

Een tweede infiltratieproef is uitgevoerd middels het opvoeren van de waterstand in de dijk door water in één van de DMC's te pompen. Tijdens deze proef zijn vlakdekkende infrarood metingen ingezet om kwelstromen beter in kaart te brengen. Doormiddel van, met infrarood gemeten temperatuurverschil van uitstromend kwelwater ten opzichte van het binnendijkse water/grondoppervlak, kan uittredend water worden gedetecteerd. Bij het DMC zijn tevens geofysische Ground Penetrating Radar (GPR) en Electro Magnetische (EM) metingen verricht ten behoeve van het detecteren van wellen. Op basis hiervan zijn gevoelige locaties bepaald voor het faalmechanisme micro-instabiliteit. De tweede DMC-streng is gebruikt als referentie, hierbij is gekeken hoe ver de waterspanningen af nemen over de lengte van de dijk

Tot slot is in het onderzoek bepaald in welke mate de schematisering van de dijk kan worden aangepast op basis van de vrijgekomen data. Het ging hierbij met name om water waterspanningen en (non-) uniformiteit van de ondergrond.

### Resultaten

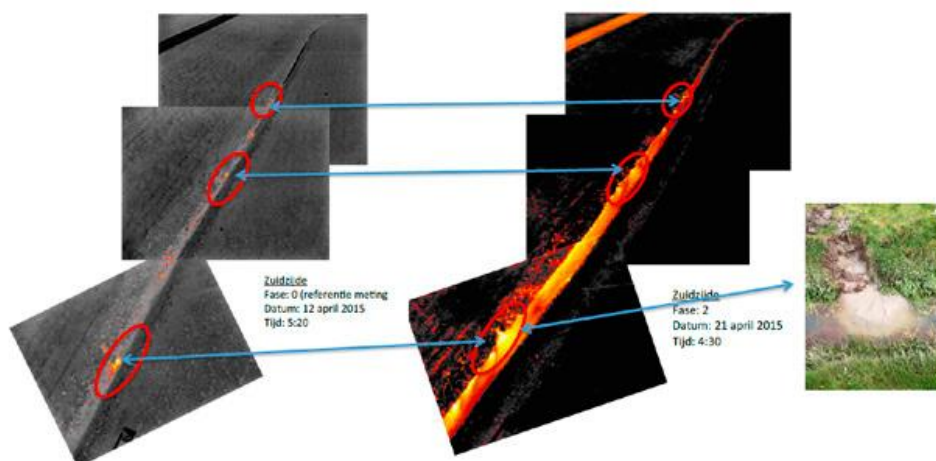
Op basis van de gemonitorde waterspanningen in de dijk is de effectiviteit van de aanwezige oude kleidijk bepaald op het tegen gaan van een verhoogde waterspanning in dijk tijdens extreme omstandigheden. In figuur 4 is het waterstandsverloop te zien in combinatie met de gemeten waterspanningen in de dijk. Zoals in het figuur te zien is er geen reactie te zien in de waterspanning in de dijk op de buitenwaterstand. Hieruit is geconcludeerd dat oude kleidijk hoger is dan de waterstand die is voorgekomen tijdens de Sinterklaasstorm rond 5/6 december 2013. Hierbij moet opgemerkt worden dat de waterspanningen in de diepe zandlaag onder de dijk wel reageerde op de waterstand (niet weergegeven in de grafiek in figuur 4). Daarnaast werd in de binnenteen van de dijk ook een toename van waterspanning waargenomen. Op basis van neerslagmeters is geconcludeerd dat deze waterspanningen echter veroorzaakt werden door neerslag, en niet door het buitenwater. Dit is geverifieerd op basis van proefsleuven.



Figuur 4: tijdreeks waterstand tegen stijghoogte in dijk tijdens Sinterklaasstorm

Tijdens de eerste infiltratieproef, door middel van de infiltratie bakken, is het waterspanningsgedrag gemonitord op basis van een gesimuleerde hoge waterstand boven de oude kleidijk. Hieruit is een doorlatendheid van de deklaag buitendijks van 1m/dag bepaald. Voor de dijkstrekking is op basis van gemonitorde waterspanningen en 2m lagere ligging van de freatische lijn geschematiseerd (veilige vertaling van de gemonitorde 3,5 m lagere freatische lijn ter plaatse van de beproefde doorsneden).

In de tweede infiltratieproef zijn uitredepunten in het achterland gedetecteerd zoals weergegeven in figuur 5. Deze locaties zijn opgeslagen in het DDSC en kunnen tijdens het beheer gebruikt worden voor het monitoren van deze zwakke punten op het faalmechanisme micro instabiliteit. Dus hoewel de wellen lijken op kwelwater komend uit zandlagen onder de dijk, zijn deze wellen het gevolg van overdruk in de dijk waardoor de bekleding op barst. Er is dus geen sprake van het faalmechanisme piping.



Figuur 5: Wellen detectie door middel van infrarood metingen

Op basis van de analyse van stijghoogte data in combinatie met de neerslag metingen, zijn aan te nemen fluctuaties door neerslag beperkt worden aangenomen tot circa 0,5m. Dit houdt ook een aanscherping van de schematisatie van stijghoogten in.

In totaliteit is met het uitgevoerde onderzoek op basis van monitoring aan alle drie gestelde doelen invulling gegeven. Door de monitoring kon meer inzicht worden verkregen in de actuele veiligheid van de dijk. Daarnaast werd er gedurende een lange periode informatie verzameld over de grondwaterstand in de dijk, ook bij extreme omstandigheden, hieruit is onder andere een jaarlijks signaal in de freatische lijn gevonden. Verder is gebleken dat door een scherpere bepaling van de grondwaterstand de versterkingsopgave kan worden verminderd door de gunstige invloed van de lagere grondwaterstand op de stabiliteitsfactor. Daarnaast zal het systeem worden benut om de dijkvakken ná eventuele verbeterwerken in de gaten te kunnen houden. Het systeem wordt ook ingezet voor het bewaken van de veiligheid van de afgekeurde dijken tot deze zijn verbeterd.

Het DDSC maakte het mogelijk om data te delen met vele betrokkenen op verschillende locaties. Dit bleek met name waardevol in risicovolle omstandigheden. Dit kan betrekking hebben op hoge buitenwaterstanden, zoals de Sinterklaasstorm, maar ook op werkzaamheden op of in de dijk, zoals de infiltratieproef. Ook het zelf kunnen bundelen van metingen in één grafiek blijkt voor de beheerder een nuttig hulpmiddel om beter en sneller inzicht te verkrijgen. Daarnaast is de dataset via het DDSC beschikbaar voor toekomstig gebruik voor allerlei andere doelen.

#### Beslisproces en uitvoeringsschema

In het onderzoek is gebruik gemaakt van een gefaseerde aanpak. Dit is gedaan omdat tijdens het onderzoek verwacht werd dat tijdens de uitvoering de kennis over de dijk zou toenemen, waardoor de monitoring gericht zou kunnen worden geplaatst. Dus hoewel een gefaseerde aanpak is gebruikt bleek het van belang dat het meetplan niet op voorhand volledig was uitgekristalliseerd. Dit heeft als reden om zo veel mogelijk flexibiliteit te behouden omdat tijdens het meten vaak nieuwe inzichten aan het licht komen.

#### Benodigde kennis

Voor het in dit voorbeeld beschreven onderzoek was verschillende kennis benodigd. Ten eerste moet er kennis aanwezig zijn betreffende de toepasbaarheid van verschillende sensors voor het inwinnen van de gewenste gegevens. Dan moet de ingewonnen data geanalyseerd worden en omgezet naar informatie op basis van de datakwaliteit en toepasbaarheid. Vervolgens moet men de verschillende informatiebronnen combineren om tot conclusies te komen ten aanzien van het optimaliseren van de WBI-beoordeling. Betreffende het analyseren van de vrijgekomen data wordt verwacht dat dit uitgevoerd kan worden met basiskennis in data-analyse, in combinatie met geotechnische kennis.

Het realiseren van dijkmonitoringsprojecten waar succesvolle innovatieve meetsystemen worden toegepast bevatten naast technische uitdagingen, ook organisatorische uitdagingen. De benodigde kennis is beschikbaar op de markt, echter moeten verschillende partijen elkaar weten te vinden. In dit beschreven voorbeeld was een actieve sturing van een derde, onafhankelijke partij nodig om tot realisatie te komen.

### Kosten en baten

In totaal is voor het monitoringsproject op de Ommelanderzeedijk ca. 1,5m€ excl. Btw besteed. Voor een ruwe inschatting van de baten is uitgegaan van 20m steunberm besparing als gevolg van een ca 2m lagere schematisatie van de freatische lijn. Het type versterkingsmaatregel is echter te bepalen door de beheerder waardoor uiteindelijke baten lastig in te schatten zijn. De aangegeven steunbermbesparing kan op basis van de kostenkengetallen uit ENW-onderzoeksrapport 'Piping, realiteit of rekenfout' (2010) eend besparing van ca 4m€/km betekenen.

Naast de baten uitgedrukt in geld, zijn er tevens 'zachte baten' die een rol spelen bij dijkmonitoring. Door beter inzicht in de dijksterkte uit de zachte maten zich in minder onzekerheid bij bestuurders en burgers over de actuele veiligheidssituatie tijdens een extreme hoogwater situatie. Dit kan tevens leiden tot betere besluitvorming.

### Dilemma's en gevoeligheidsanalyse

In sectoren zoals wegbeheer, gezondheidszorg, beveiliging en astronomie wordt het gebruik van "Big Data" al meer toegepast. Het combineren van verschillende databronnen blijkt in projecten zoals in dit voorbeeld succesvol. Op grote schaal vergt de verwerking van data een andere methode, met name patroonherkenning in grote datasets zou kansrijk kunnen zijn. De uitdaging ligt hierbij met name bij het omgaan van deze steeds grotere datasets.

### Verificatie

De betrouwbaarheid van de sensoren is op de volgende drie aspecten beoordeeld:

1. Factory Acceptance Test (functionele test en kalibratie in lab)
2. Site Acceptance Test (nulmeting direct voor en na installatie)
3. Consistentietest (check op data gekoppeld aan probleem door specialist)

Op basis van deze 3 testen is gebleken dat niet alle sensoren gedurende het onderzoek naar behoren functioneren. Van de waterspanningsmeters die op basis van de testen onvoldoende scoorden, is een groot aantal in veenlagen geplaatst. Van deze situatie is bekend dat de waterspanningsmeters te maken krijgen met veengassen, waardoor er onjuiste drukopbouw voor komt in de sensoren.

De resultaten van de betrouwbaarheidstesten laten zien dat het belangrijk is om de resultaten van waterspanningsmeters kritisch te beschouwen. Zeker als gedurende lange tijd wordt gemeten is het voortdurend analyseren van de betrouwbaarheid van belang omdat is gebleken dat de betrouwbaarheid van een meetpunt geen constante is in de tijd.

### Rekenfiles en documentatie

LiveDijk XL Noorderzilver State of the Art 2015