

# Verslag workshop Data-inwinning en visualisatie Purmerringdijk

15 juni 2023

Op donderdag 15 juni organiseerde het Netwerk Dijkmonitoring in samenwerking met het Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier, Geodan en Deltares een workshop over de data-inwinning en visualisatie bij de Purmerringdijk.

Erik Vastenburg trapte de workshop af met een warm welkom bij het Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier (HHNK), waarna hij het woord gaf aan Wouter Zomer.

Wouter gaf een introductie over het Netwerk Dijkmonitoring. Waar dijkmonitoring een aantal jaar geleden nog een nieuw onderwerp was, wordt het nu steeds meer structureel toegepast door waterschappen. Dijkmonitoring levert natuurlijk data op, waar je uiteindelijk wat mee wil doen. Daar gaat deze workshop over. De Purmerringdijk is een soort field lab geweest om een digitale tweeling van op te bouwen. Het uiteindelijke doel van een digitale tweeling is het overeenkomen van de digitale werkelijkheid met de echte werkelijkheid. Stefan de Graaf en Chris Bremmer vertelden over de feitelijke digitale tweeling, de data zelf en de digitale tweeling met de verwerkte dijksterkte data. Erik Vastenburg presenteerde aansluitend over real-time dijksterkte en waterspanningsmeters en de stip die het waterschap op de horizon ziet waarna de komende jaren toegewerkt wordt.

In 2023 is organiseert het Netwerk Dijkmonitoring technisch georiënteerde workshops: van data-inwinning naar informatie en beslissingsondersteuning. Daarnaast staat de afronding van het Spoorboekje Implementatie Dijkmonitoring op de planning. Als laatste gaat het Netwerk Dijkmonitoring starten met het actualiseren van de website [www.dijkmonitoring.nl](http://www.dijkmonitoring.nl). Ook wordt een Wiki-omgeving voorzien voor monitoringstechnieken en hun toepasbaarheid. Het Netwerk wil de toekomstige generatie waterveiligheidsprofessionals bij deze projecten betrekken.

## Digital Twin voor Dijkmonitoring: Opslag, beheer en visualisatie van 3D data

Stefan de Graaf is softwareontwikkelaar bij Geodan. Hij gaf een presentatie over de opslag, het beheer en de visualisatie van de 3D dijkmonitoring data van de Purmerringdijk. In zijn presentatie ging hij in op data gedreven dijkmonitoring en Digital Twinning. Aan het eind van de workshop gaf hij nog een demo van de ontwikkelde digitale tweeling.

Geodan heeft aan meerdere Digital Twin projecten gewerkt, maar de Purmerringdijk spreekt Stefan extra aan door de aandacht voor de ondergrond.

Er zijn verschillende definities voor een Digital Twin. Een Digital Twin is volgens Stefan een omgeving die eruitziet als de echte wereld, zich gedraagt als de echte wereld en gebaseerd is op data. Een Digital Twin voor dijkmonitoring is specifiek gericht op het integreren van de volgende mogelijkheden:

- Actueel beeld van de stabiliteit
- Monitoring van degradatie en stabiliteit van waterkeringen
- Voorspellen van de ontwikkeling van de degradatie: wanneer is onderhoud nodig?
- Modelleren van scenario's

Op het voorspellen en modelleren komt Chris terug in zijn presentatie. Stefan richt zich vooral op de technische aspecten van de verwerking, visualisatie en beheer van (3D-)data.



Er zijn steeds meer data beschikbaar: open data maar ook eigen meet- en monitoringsdata. Alles is er om Digital Twins te maken. Maar er uiteindelijk komen is de uitdaging. Data fusie en organisatie van de data moet worden toegepast. Er wordt onderscheid gemaakt tussen statische data en (real-time) observaties. Met de statische data is de ondergrond gemodelleerd. De (real-time) observaties zijn gebruikt om de modellering van het gedrag van de dijk te valideren. Tegelijkertijd geven deze observaties en modellering een directe aanleiding om beheer toe te passen.

In de Cloud(bibliotheek) van de Digital Twin komen verschillende componenten samen: de (open)data bovengronds en ondergronds en de data fusie van rekenmodellen en scripts. We willen zo min mogelijk de data verspreid hebben staan. Daarom is de Digital Twin gericht op het koppelen en combineren van de data. Daarmee kan je in één omgeving de data visualiseren en kan je modelleren. De output van het modelleren gaat ook weer terug naar de Digital Twin.

In de User interfase van de Digital Twin van de Purmerringdijk kan je zelf de datalagen selecteren die je op dat moment op je scherm wilt zien. Er was een uitdaging: de grote hoeveelheid data visualiseren in een browser zonder dat de software crasht. Hiervoor heeft *Cesium* de 3D-tiles standaard geïntroduceerd, hetgeen inmiddels ook een OGC-standaard is. De data zijn hiërarchisch verdeeld in tilesets. Dat zorgt ervoor dat hoe meer je inzoomt, hoe meer detail tevoorschijn zal komen. Daarnaast zorgt het ervoor dat je computer alleen de data hoeft te laden van de locatie waar jij op dat moment in de Digital Twin aan het kijken bent.

De Digital Twin is uit vele lagen opgebouwd: achter het voorportaal zit brondata, ETL Tooling en een opslag & hosting locatie. Elke soort data heeft een unieke dataverwerkingsprocedure nodig voordat het in de Digital Twin geplaatst kan worden. De ingewonnen data kunnen bijvoorbeeld als tekstbestanden geleverd worden. Deze tekstbestanden gaan een aantal verwerkingsstappen door voordat de data in 3D in de Digital Twin belandt. Ook belangrijk is een stukje beveiliging. Een inlogscherf voor de omgeving bijvoorbeeld.

Wat bijvoorbeeld ook in de Digital Twin te zien is, zijn verschillen door de tijd. Met observaties met drones en de iPhone zijn bijvoorbeeld scheurvormingen gemonitord. Daarnaast zit er een meettool in de Digital Twin. Hiermee kan je bijvoorbeeld opmeten hoe groot deze scheur is. Peilbuizen zijn ook 3D weer te geven. Ook hierbij kan je door de tijd heen gaan om de variatie in grondwaterstanden te zien. Voorspellende gedragsmodellen zijn ook geïntegreerd: bijvoorbeeld afschuifcirkels of risicoanalyses die bruikbaar zijn voor het plannen van onderhoud. Voor de oriëntatie binnen de Digital Twin zijn de omgevingsdata ook meegenomen: gebouwen, bomen, kabels en leidingen, straatmeubilair. Dit kan van belang zijn bij planning en onderhoud.

Het is erg belangrijk zicht te houden op de data, het databeheer. Wanneer je het niet goed structureert, kan je het overzicht kwijtraken.

Stefan rond zijn presentatie af met een aantal conclusies: de digital Twin infrastructuur is breed toepasbaar, schaalbaar en herbruikbaar. Ze zijn begonnen met deze digital Twin infrastructuur voor dijken bij HHNK met de Digital Twin Purmerringdijk (beloond met de Beste Digital Twin award 2023). Hierna volgde Waterschap Hollandse Delta (WSHD) al redelijk snel, waarbij de focus lag op piping en waterspanningen. De portal van WSHD is open voor iedereen en te zien via de link <https://wshd.beta.geodan.nl>. Daarnaast heeft Geodan meegewerkt aan de Andijk Hackaton.

De vervolgstappen die Stefan voor zich ziet zijn Real-time data & dashboards, dataverwerking automatiseren, data-analyse mogelijkheden en de modellering & model updating vanuit de viewer.

## Op weg naar een Digital Twin voor waterkering en ondergrond

Na de presentatie van Stefan nam Chris Bremmer het over. Chris is werkzaam bij Deltares als Expert Advisor en had het over de weg naar de Digital Twin van de Purmerringdijken en wat Deltares daaraan bijgedragen heeft. Hij gaf een toelichting op het TKI-project 'Digital Twin voor Waterkering en Ondergrond'. De Purmerringdijk was één van de vier cases waar Deltares de ontwikkelde tools op heeft getest. De partners van het project waren, naast Deltares, BZIM, Geodan, HKV, Fugro, TNO, Hoogheemraadschap Hollandse Noorder Kwartier, Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden, Waterschap Hollandse Delta en Waterschap Aa en Maas.

De huidige opgave van de waterschappen bestaat uit grofweg vier onderdelen:

- Beoordelen en versterken
- Beheer en onderhoud
- Beschermen en beheersen
- Creëren draagvlak

Deze onderdelen hebben een overlappend thema: data. Er zijn steeds meer gegevens over dijken beschikbaar. Deze kunnen helpen om grip op het proces te behalen.

De Digital Twin komt oorspronkelijk uit de industriewereld, gebruikt voor onderhoud en onderhoudsvoorspellingen. Chris geeft aan dat een Digital Twin modulair moet zijn: het is niet iets wat je in één keer neerzet. Daarnaast vindt hij het belangrijk dat het navolgbaar en transparant gehouden wordt. De ontwikkeling door Deltares op gebied van Digital Twins hebben het organiseren en ten nutte maken van data om het versterkingsproces te ondersteunen gemeen.

De organisatie van het TKI-project is opgedeeld in zogenaamde Werkpakketen, te zien als fases. Elke fase wordt informatie verzameld. Hierbij speelt data een belangrijke, bijna cruciale rol bij de waterschappen. Maar ook processing, data fusie en numerieke modellering zijn onderdelen waaraan gedacht moet worden. De Digital Twin moet volgens Chris de stand van digitalisering beter ondersteunen en het product tijdens de hele levenscyclus goed begrijpbaar maken. Het model moet een functionele betrouwbare weergave van de werkelijkheid zijn. Hier hoeft niet alles in te zitten, maar wel de verdienste beantwoorden.

De workflow en het datamanagement rondom de dijk worden in dit Digital Twin project onderbouwd. Daarnaast moet het beschikbaar zijn voor derden, en moet er dus opensource gewerkt worden. Er is gewerkt aan tools waarmee modellen voor macrostabiliteit en piping automatisch geüpdatet kunnen worden. Digishape heeft hier een Hackaton over gehouden. Hierin maakten de deelnemers kennis met de tools en hebben ze ook data verwerkt en gemodelleerd, en beschikbaar gemaakt voor visualisatie. Chris vertelt dat het mooi was om te zien hoe ver je in één dag kan komen.

Ook de User Requirements zijn belangrijk: het moet aansluiten op de wensen van de toekomstige gebruiker. Voordat de digital Twin opgezet is, is een workshop georganiseerd om de gebruikseisen inzichtelijk te maken. Hier kwam uit dat de digital Twin de mogelijkheid moest hebben om databronnen te ontsluiten en visualiseren, en dat het een geavanceerde analyse omgeving moest worden. Hier is geprobeerd op aan te sluiten. De cases zijn gedetailleerd en hebben ruimte voor ontwikkeling.

Om aan deze User Requirements te gaan voldoen heeft Deltares een Data Fusie Toolbox ontwikkeld. Hierbij is het ook mogelijk om in een later stadium gegevens toe te voegen. In deze Toolbox kan je



bijvoorbeeld EM-metingen combineren met sonderingen. De Tools zijn beschikbaar gesteld en toegepast in de cases van de Purmerringdijk.

Bij de Purmerringdijk was Squeezing een groot vraagstuk. Dit is een instabiliteit faalmechanisme waarbij slappe lagen in de ondergrond van de kering worden weggeperst, vaak bij de aanleg en het ophogen van een dijk. De Purmerringdijk was versterkt en verzwaid, maar tegelijkertijd was er sprake van instabiliteit en verzakking. Voor inzicht in situ wilden ze dit in beeld krijgen en koppelen aan modellen.

De cases gaven na het koppelen van metingen aan elkaar, de uitkomst dat er een verbeterde prognose te verkrijgen was. Het ondergrondmodel kon worden geüpdatet op basis van data fusie en data-assimilatie. Er is meer inzicht verkregen in de invloed van de variatie van de dikte en eigenschappen van de Holocene kleilaag op vervormingen. En de dataset is aangevuld met de EM-survey en handheld LiDAR metingen.

De resultaten van de Purmerringdijk zijn op de website van dit project te zien (Public Wiki Deltares), dit is een aanrader om even op te kijken. De verkregen data zijn gebruikt in D-Stability software en de resultaten zijn vervolgens over het hele traject in het dashboard van Geodan geplaatst.

Op deze website zijn ook de links naar de Toolbox te zien. Ze zijn open voor iedereen om te gebruiken, voor alle ontwikkelaars. Op dit moment wordt er nog veel aandacht besteed aan bugs etc. Wat we nu hebben is een prototype. Verdere ontwikkeling en de volgende stappen zijn het robuuster maken ervan. De Purmerringdijk was een goede case voor uit ontwikkelen, waar de focus op de opbouw van de dijk een grote rol speelde. Als partner heeft Deltares nieuwe tools weten te ontwikkelen en in te zetten. De afsluitende vraag van Chris was: Kunnen we de stap zetten naar breder gedragen ontwikkelingen?

### [Real-time dijksterkte op basis van waterspanningsmeters](#)

Als laatste vertelde Erik Vastenburger over *real time* dijksterkte inzicht op basis van waterspanningsmeters en de toekomstvisie van HHNK. Erik is technisch manager van de primaire waterkeringen bij HHNK. In zijn presentatie spitst hij zich toe op meten en monitoren, waarom HHNK wil meten en monitoren en de vervolgstappen. Dit alles vanuit de blik van het waterschap.

HHNK beheert alle waterkeringen boven het Noordzeekanaal. Dit is 1522 km aan keringen. Het waterschap werkt aan 3 cyclussen:

- De inspectiecyclus
- De onderhoudscyclus
- De toetscyclus

Al deze drie gaan over het in stand houden van waterkeringen en proberen het moment van versterken zo ver mogelijk uit te rekken (=levensduur van de waterkering). Het waterschap werkt al veel datagestuurd en wil naar continu inzicht, risico gestuurd beheer en een actueel oordeel van de keringen. Niet alleen meer elke 12 jaar de keringen beoordelen en je laten overvallen door het oordeel, maar continu inzicht. Ook wil HHNK een manier vinden om veranderingen t.o.v. de 'nul-situatie' in beeld te brengen en het effect op het oordeel. Beter inzicht in het gedrag van de keringen door observeren, monitoren, voorspellen, rekenen en visualiseren in een dashboard horen ook tot de doelen. Daarbij speelt de volgende vraag vaak een rol: hoe slaan we de data centraal op? Hierbij speelt de proeftuin Purmer een rol.

Het verloop van de levensduur van de dijk is een soort zaagtandgrafiek. De dijk degradeert in de tijd door toenemende belasting, zettingen, veroudering (asfalt) bekleding etc. De vraag is: wat is de



hellingshoek van deze degradatiecurve. Met andere woorden gaat de degradatie snel, of is de lijn vlakker? En: waar zitten we nu op deze curve? De proeftuin Purmer moet meer inzicht geven in hoe deze lijn beter te bepalen.

De Purmerringdijk bestaat al 400 jaar en is vooral op stabiliteit afgekeurd. De dijk is versterkt aan de binnenkant met grote bermen. Toch zijn er nog steeds problemen: slappe kleilaag, 'pindakaasklei', die ervoor lijkt te zorgen dat er beweging in de dijk zit. Na de versterking zijn er ook nog (lokale) afschuivingen geweest. Het is dus een kwetsbare dijk, waar inzicht benodigd is.

HHNK heeft een lijst opgesteld van de in haar beleving belangrijkste parameters die te meten zijn en veranderen in de tijd. Dit zijn geometrie, bodemopbouw, grondeigenschappen, hydraulische belastingen, polderpeil, neerslag en verdamping, freatisch vlak, waterspanningen watervoerende lagen, bekleding en verkeersbelasting. De grondeigenschappen veranderen in de tijd in de vorm van het verfijnen van de metingen. Met deze parameters kan tot een scherper veiligheidsoordeel gekomen worden.

In het freatisch vlak vormen verdamping en neerslag de belangrijkste parameters voor regionale keringen. Op basis van de ligging van de freatische lijn in de waterkering worden zogenaamde 'Fragility curves' opgesteld.

Vervolgens zoomde Erik verder in op de meettechnieken welke gebruikt zijn om de parameters te monitoren in de proeftuin Purmer. Visueel waarnemen blijft volgens Erik het belangrijkste. Als waterschap hoor je bijvoorbeeld vaak van mensen die met de hond over de dijk lopen hoe de dijk zich door de tijd heen gedragen heeft. Om inzicht te verkrijgen in het freatisch vlak, zijn peilbuizen geplaatst. Op een viertal locaties wordt de freatische grondwaterstand gemeten: de binnenkruin peilbuislocatie is hierbij ook erg belangrijk. Deze doet misschien wel het meeste in de veiligheidsbepaling. Ook de stijghoogte in het eerste watervoerende pakket wordt gemeten.

Er wordt al vaak in een systeem gewerkt waar in je je grondwaterstandsmetingen in mooie grafieken gepresenteerd ziet. Maar, meestal wordt er weinig gedaan qua interpretatie. Om aan het doel 'continu inzicht' te voldoen voorziet Erik hier een *hickup* in het werkproces. In 2023 gaat HHNK samen met HKV verder met het beter bepalen van de conditionele faalkans met behulp van de *fragility curves*. Hierbij zal de aandacht vooral uitgaan naar het beter bepalen van de locatie op de *fragility curve*.

Een ander doel is DAM Live: het inschatten van de momentane (geotechnische) stabiliteit van de waterkering op basis van real-time grondwaterstandsmetingen. De hele westkant van de Purmerringdijk is in DAM Live gezet. DAM Live is gekoppeld met FEWS. FEWS is dan weer gekoppeld met het externe dashboard Continu Inzicht.

Vervolgens gaf Erik een demo van de Continu inzicht viewer. Hierin kunnen we de waterstanden, grondwaterstand, neerslag en het neerslagoverschot bijvoorbeeld bekijken. Het is op calamiteiten gericht: het doel is dat we 48 uur vooruit en achteruit in de tijd kunnen kijken. Daarnaast zijn er inspectiegegevens en foto's daarvan op locatie te zien. Ze willen AI-modellen trainen voor voorspellingen. Voorspellen tijdens calamiteiten wordt als grote meerwaarde gezien. Ook laat Erik zien hoe je doorbraaklocaties kan bekijken en daarmee de overstromingsdiepte in beeld krijgt.

De resultaten van DAM live is een onderdeel van het Continu inzicht dashboard. Hierin krijg je de actuele veiligheidsfactor in beeld. De stabiliteitssom komt als pakketje in de DAM Live viewer. Bijvoorbeeld de werkelijke freatische lijn. De spreiding en de onbekendheid hiervan zit gevangen in de rekenwaardes. Om de invloed van de rekenwaarden en verkeersbelasting inzichtelijk te maken



rekenet DAM live met zowel rekenwaardes, als karakteristieke waardes, maar ook met en zonder verkeersbelasting. Zo krijg je een gevoel van de veiligheid en wat een actie kan doen om het in calamiteitsituaties te verbeteren.

Concluderend vertelt Erik dat een beter begrip van de ligging van de grondwaterstanden als gevolg van een verandering in belasting direct leidt tot een betere inschatting van de faalkans van de kering. Daarnaast worden de grondwaterstanden in deze pilot automatisch ingevoerd in de stabiliteitssom, wat direct inzicht geeft in de conditionele faalkans. Er zijn nog wel optimalisaties mogelijk in de rekensnelheid. Het is de moeite waard om de combinatie van fragility curves en DAM Live te verkennen. Punt van aandacht is hoe de lokale grondwatermetingen en fragility curves naar een dijkvak vertaald mogen worden.

Tot slot gaat Erik nog in op het hoe nu verder. Vragen als Hoe ga je de organisatie mee krijgen? spelen een rol. Het waterschap draait zelf aan de ambitieknop. Erik hoopt de komende 4 jaar gas te kunnen geven op opschaling. Met de Pilot Purmerringdijk zitten ze nu in de planvorming fase. Het waterschap is van plan een gefaseerde aanpak te gebruiken voor de ontwikkeling. Bijvoorbeeld door het areaal in te delen in representatieve groepen. De eerste stap is altijd beginnen met meten en meetreeksen gaan opbouwen. Dit levert namelijk altijd meer inzicht op.