

Digitale Twin voor Waterkeringen en Ondergrond

Werkpakket 4 Test en validatie



Digitale Twin voor Waterkeringen en Ondergrond
Werkpakket 4 Test en validatie

Digitale Twin voor Waterkeringen en Ondergrond

Werkpakket 4 Test ven validatie

Opdrachtgever	-
Contactpersoon	-
Referenties	TKI-projectvoorstel 'DigiTwin Waterkering en Ondergrond, nummer LWV20.109, d.d. 1 februari 2021
Trefwoorden	Digitale tweeling, Digital Twin, waterkeringen, ondergrond, data fusie

Documentgegevens

Versie	1.0
Datum	23-06-2023
Projectnummer	11206761-005
Document ID	11206761-005-GEO-0001
Pagina's	38
Classificatie	
Status	Definitief

Auteur(s)

Samenvatting test en validatie in het pilotproject DigiTwin voor waterkering en ondergrond (WP4)

Doel

Werkpakket 4 'Test en Validatie' van het TKI-project 'DigiTwin voor Waterkering en Ondergrond' heeft als doel om de tools die ontwikkeld zijn, te testen in een viertal cases. Deze cases zijn aangedragen door de deelnemende waterschappen.

Scope van de test/validatie in praktijkcases

In dit TKI-project, is gewerkt aan de praktijktoepassing en het realiseren van een eerste digitale tweeling (DigiTwin) voor waterkeringen en de ondergrond. Het systeem van een waterkering is zeer complex, net als de ondergrond. De ondergrond is cruciaal om het gedrag van de kering te kunnen voorspellen, in de tijd, gedurende de levensduur van de kering en tijdens hoog/laag water. Daarom lag het zwaartepunt op het maken van datafusie tools voor de ondergrond, het grondwater en het realiseren van een real time component. Op veel van deze componenten is het gedrag in de echte wereld complexer dan de oplossingen en modellen die wij nu hebben opgeleverd, dat geldt ook voor de integratie van alle onderdelen. Daarom is een start gemaakt om hiervoor een framework te ontwikkelen.

Het in dit project ontwikkelde framework bestaat uit een open en uitbreidbaar instrumentarium met bestaande en nieuwe modellen, algoritmes en tools voor visualisatie, datafusie en model updating. Het framework beschrijft hoe een DigiTwin kan worden opgebouwd vanuit (veld)waarnemingen naar schematisaties tot het uiteindelijke gedrag. En hoe het werkelijke waargenomen gedrag de DigiTwin weer kan verbeteren.

Er is zowel technisch als procesmatig nog een inspanning nodig om een volledige operationele DigiTwin van een waterkering te realiseren. Dit project heeft daaraan bijgedragen in een aantal praktijkcases. Wij hebben keringbeheerders gevraagd hierop te reflecteren, als belangrijkste eindgebruiker.

Het betreft de volgende vier praktijkcases bij 4 keringbeheerders:

- Sterke Lekdijk bij het Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden met TNO.
- Spui bij het Waterschap Hollandse Delta met HKV.
- Doeveren bij het Waterschap Aa en Maas met Fugro.
- Purmer bij het Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier met Geodan, BZIM en Deltares.

Per case is op basis van het framework en de beschikbare en ontwikkelde instrumenten een DigiTwin van een kleine dijkstrekking opgezet door experts van marktpartijen en kennisinstellingen. De DigiTwin is gedemonstreerd aan de keringbeheerders. Tot slot hebben de keringbeheerders de gerealiseerde DigiTwin zelf kunnen testen en valideren aan hun behoeftes en wensen.

In dit rapport wordt verslag gedaan van de tests en validatie op de gebruikswaarde in de praktijk. Dit is gedaan aan de hand van een aantal praktische vragen:

- Gedraagt de DigiTwin zich inderdaad zoals de waterkering?
- Kunnen de keringbeheerders de resultaten en inzichten uit de DigiTwin gebruiken?
- Verwachten keringbeheerders dat een DigiTwin hun taken efficiënter kunnen uitvoeren en de (overstromings)risico's kunnen reduceren?

De antwoorden hierop zijn gebaseerd op de eerste toepassingen in praktijkcases en nog niet gekwantificeerd en/of vertaald naar impact op areaalniveau of het assetmanagement over de gehele levenscyclus van de waterkering.

Uitkomsten

Het ontwikkelde framework voor DigiTwins voor waterkering en ondergrond levert in de praktijkcases een bruikbare DigiTwin op, in relatie tot deelsystemen van de waterkering. Voor verschillende waterschappen zijn verschillende elementen van de dijk in de DigiTwin betrokken. In een afsluitende sessie waarin de resultaten van de cases besproken zijn en aan de hand van de resultaten is vastgesteld dat het gedrag dat de DigiTwin beschrijft overeen komt met de verwachtingen van de keringbeheerders. De resultaten en inzichten uit de DigiTwin zijn volgens keringbeheerders waardevol ten opzichte en aanvullend op de beschikbare waterkeringsinformatie. De keringbeheerders hebben hoge verwachtingen dat een DigiTwin kan dragen aan een efficiëntere waterkeringbeheer en het reduceren van de (overstromings)risico's.

Van buzz-word naar praktijktoepassing

In dit project hanteren wij de volgende definitie:

Digital Twin wordt meestal gedefinieerd als een digitale representatie van een fysieke asset, een fysiek systeem of een proces, met voorspellingscapaciteit en real-time informatie om het functioneren te optimaliseren of andere waarde te creëren.

Met een Digital Twin kan in potentie het life-cycle management van een kering geoptimaliseerd worden, bijvoorbeeld door op een snelle en efficiënte wijze het gedrag van waterkeringen in verschillende situaties en omstandigheden te beschrijven en te voorspellen. Cruciaal is hierin de wijze hoe keringbeheerders hiermee aan de slag kunnen en in de praktijk hun taken (al dan niet) efficiënter uitvoeren en de mate waarin de digital twin helpt om de doelstelling van waterkering-beheerders te bereiken.

Door gebruik te maken van een gezamenlijk (open) framework voor het realiseren van digital twins voor waterkeringen en de ondergrond kan er op efficiënte wijze een instrumentarium worden ontwikkeld, gedeeld en (her)gebruikt. Alle betrokken partijen hebben daar in potentie baat bij, van keringbeheerders, marktpartijen tot kennisinstellingen.

Wat is het vervolg?

Om daadwerkelijk in de praktijk DigiTwins toe te passen moeten we het framework verder ontwikkelen en verbeteren. Dit pilotproject richtte zich op praktijkcases van beperkte schaal, complexiteit en omvang. De volgende ontwikkeling van een DigiTwin voor Waterkering en ondergrond kan zich, voortbouwend op dit project, in potentie richten op integraliteit en grootschalige praktijkcases.

Het is mede aan de eindgebruikers om te bepalen of er draagvlak en potentie is om die stappen als sector te zetten.

Inhoud

	Samenvatting test en validatie in het pilotproject DigiTwin voor waterkering en ondergrond (WP4)	4
1	Inleiding	8
1.1	TKI-project DigiTwin voor Waterkeringen en Ondergrond	8
1.2	Doel van de test en validatie	9
1.3	Aanpak van de test en validatie	9
1.4	Leeswijzer	9
2	Framework en tooling van een DigiTwin voor waterkeringen en ondergrond	10
2.1	Wat is een digitale tweeling?	10
2.2	Rationale achter een DigiTwin voor waterkeringen en ondergrond	11
2.3	Invulling van een DigiTwin voor waterkeringen en ondergrond	13
2.4	Tooling voor een DigiTwin voor waterkeringen en ondergrond	14
3	Aanpak test en validatie	15
3.1	Doel van de test en validatie	15
3.2	Testen en valideren door praktijkcases	16
4	Test en validatie van de praktijkcases	18
4.1	Praktijkcase Sterke Lekdijk bij het Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden met TNO	18
4.1.1	Situatie en het probleem	18
4.1.2	Invulling aan het framework en de gebruikte tools	19
4.1.3	De opgestelde pilot DigiTwin	20
4.1.4	De bevindingen	21
4.2	Praktijkcase Spui bij het Waterschap Hollandse Delta met HKV	22
4.2.1	Situatie en het probleem	22
4.2.2	Invulling aan het framework en de gebruikte tools	22
4.2.3	De opgestelde pilot DigiTwin	23
4.2.4	De bevindingen	25
4.3	Praktijkcase Doeveren bij het Waterschap Aa en Maas met Fugro	25
4.3.1	Situatie en het probleem	25
4.3.2	Invulling aan het framework en de gebruikte tools	25
4.3.3	De opgestelde pilot DigiTwin	25
4.3.4	De bevindingen	27
4.4	Praktijkcase Purmer bij het Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier met Geodan, BZIM en Deltares	28
4.4.1	Situatie en het probleem	28
4.4.2	Invulling aan het framework en de gebruikte tools	28
4.4.3	De opgestelde pilot DigiTwin	28

4.4.4	De bevindingen	30
5	Bevindingen uit de test en validatie van de praktijkcases	31
5.1	Opzet van een DigiTwin voor waterkeringen en ondergrond	31
5.2	Aansluiting op de praktijk van de keringbeheerders	32
6	Vervolgstappen in de ontwikkeling en gebruik van DigiTwins voor waterkeringen en ondergrond	34
	Referentielijst	36
A	Uitslag Mentimeter op de gezamenlijke DigiTwin-sessie om cases met elkaar te delen	37

1 Inleiding

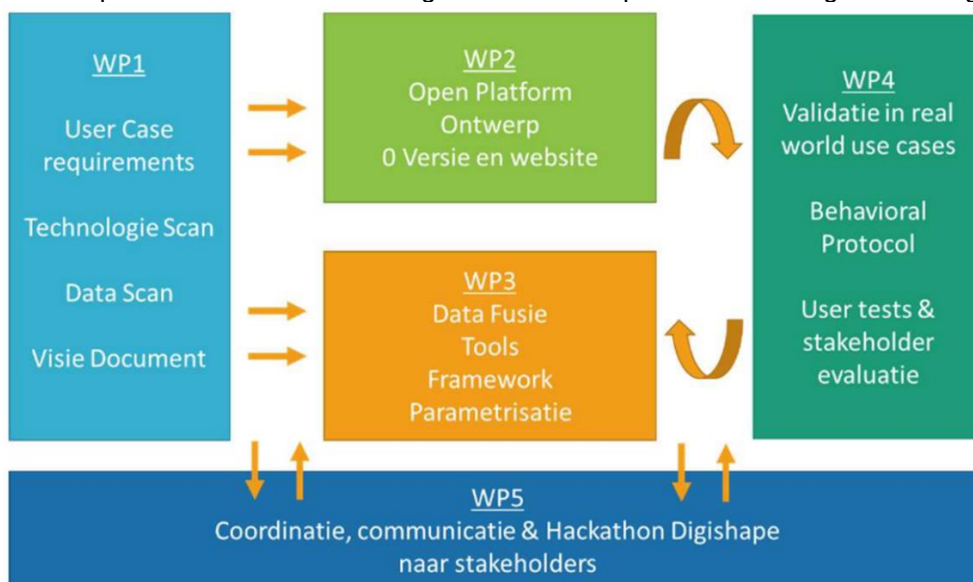
1.1 TKI-project DigiTwin voor Waterkeringen en Ondergrond

In het TKI-project DigiTwin Waterkering en Ondergrond is gewerkt aan een 'open framework' waarmee een digitale tweeling van waterkeringen en ondergrond is te ontwikkelen¹. In een digitale tweeling worden geologische, geotechnische en geofysische data en informatie gecombineerd met real-time aardobservaties en bestaande gegevens van waterkeringen. Zo ontstaat een actueel 3D digitaal model van de opbouw, eigenschappen en omgeving van waterkeringen. Met deze digitale tweeling is het de bedoeling om de toestand van de waterkering nauwkeuriger te voorspellen, scherper te beoordelen, beter te ontwerpen.

Door te werken met een 'open framework' is het mogelijk om gezamenlijk (op een toekomstigbestendige wijze) te ontwikkelen aan generieke (open) tools die in digitale tweelingen zijn toe te passen. Voorbeelden hiervan zijn tools om de data te combineren (data fusion), ver-/bewerken, visualiseren en uit te wisselen.

In dit TKI-project is ontwikkeld aan de hand van praktijkcases die door deelnemende keringbeheerders zijn aangedragen. De uitgevoerde werkzaamheden zijn onderverdeeld in werkpakketten ('WP'). Op basis van behoeften van de keringbeheerders, de beschikbare data en technieken (WP1) zijn framework en tools (WP3) ontwikkeld. Deze tools (en daarmee het onderliggende framework) zijn in de praktijkcases getest en gevalideerd (WP4). Dit is gedaan door per case een opzet te maken van een digitale tweeling waarmee de mogelijkheden van een digitale tweeling voor de specifieke case is gedemonstreerd. De tools en andere ontwikkelingen in het project zijn gedeeld in een open (web)platform (WP2). De bevindingen uit het project zijn met stakeholders gedeeld en de watersector heeft door middel van een hackathon kennis gemaakt met de ontwikkelde tools (WP5).

De werkpakketten en de samenhang tussen de werkpakketten is in Figuur 1 weergegeven.



Figuur 1: Schematisch overzicht van de werkpakketten en hun onderlinge samenhang van het TKI-project DigiTwin voor waterkeringen en ondergrond.

¹ Zie voor achtergrond van het TKI-project het projectvoorstel 'DigiTwin Waterkering en Ondergrond, nummer LWV20.109, d.d. 1 februari 2021.

Dit document betreft de rapportage van werkpakket 4 Test en validatie van het TKI-project DigiTwin Waterkering en Ondergrond.

1.2 Doel van de test en validatie

Werkpakket 4 'Test en Validatie' van het TKI-project 'DigiTwin voor Waterkering en Ondergrond' heeft als doel om de tools en het onderliggende framework die in WP 3 'Data fusie' ontwikkeld zijn, te testen door deze te demonstreren in een viertal cases. Deze praktijkcases zijn aangedragen door de deelnemende waterschappen en hebben betrekking op dijkvakken waarbij piping of macrostabiliteit een belangrijke rol spelen.

In de test en validatie ligt de focus niet op de juistheid van de afzonderlijke tools, maar of de tools in combinatie met de data, omstandigheden en ervaringen van de case leidt tot meer of beter inzichten voor de keringbeheerder zoals een digitale tweeling zou beogen.

Daarnaast levert de test en validatie bruikbare informatie op voor de (door)ontwikkeling van de tools en het open framework.

1.3 Aanpak van de test en validatie

Per praktijkcase heeft één of meerdere (industrie)partner(s) op basis van de (plaatselijke) behoefte, kennis en ervaringen van de keringbeheerder de case ingevuld. Daarbij is er gebruik gemaakt van de gelijktijdig ontwikkelde open framework en tools in WP3.

De cases betroffen niet de realisatie van een volledig operationele digitale tweeling. In de case is getracht om met het open framework en de ontwikkelde en bestaande tools voor de caserelevante aspecten invulling te geven hoe een digitale tweeling eruit kan zien en welke informatie en inzichten er uit zijn te halen. De keringbeheerder krijgt daarmee inzicht in de potentie van een digitale tweeling en daarmee een manier om zijn taken beter uit te voeren.

Per case is in een tweetal werksessies de uitgewerkte case gedeeld en besproken met een brede groep stakeholders bij het waterschap. Daarbij is ingegaan of en in welke mate de uitgewerkte case voldoet aan de behoeftes en verwachtingen van de keringbeheerders.

Tot slot, zijn de cases in een gezamenlijke sessie gedeeld en besproken met alle (consortium)partners, zodat de betrokkenen hun oordeel kunnen baseren op de bevindingen van alle uitgevoerde cases.

1.4 Leeswijzer

Deze rapportage gaat eerst in op het framework en tooling van een DigiTwin voor waterkeringen en ondergrond (Hoofdstuk 2). Daarin bespreken we de rationale achter de DigiTwin voor waterkeringen en ondergrond, maar ook de (generieke) invulling in de vorm van het open framework en de tooling.

In hoofdstuk 3 is de aanpak van de test en validatie van het framework en tooling uit hoofdstuk 2 nader toegelicht. We gaan bij de aanpak ook in op de vragen die we met de cases willen beantwoorden.

De cases en de bevindingen uit de afzonderlijke cases staan in hoofdstuk 4. De gezamenlijke bevindingen en vervolgstappen in de ontwikkeling en gebruik van een DigiTwin voor waterkeringen en ondergrond komen in respectievelijk hoofdstuk 5 en 6 aan bod.

2 Framework en tooling van een DigiTwin voor waterkeringen en ondergrond

2.1 Wat is een digitale tweeling?

Er zijn verschillende definities van een digitale tweeling (Digital Twin of DigiTwin) in omloop. In het algemeen is een DigiTwin een natuurgetrouwe kopie van het object in de werkelijkheid. Een DigiTwin geeft behalve een gedetailleerde real-time weergave van het object en de onderdelen waaruit deze bestaat, ook de mogelijkheid om (tijdsafhankelijke) simulaties uit te voeren van het gedrag van het object onder verschillende omstandigheden. In plaats van het beschouwen van een afzonderlijke aspect van het object, is het mogelijk om in een DigiTwin verschillende aspecten al dan niet gecombineerd te beschouwen.

Binnen het project hadden we niet tot doel om te komen tot een volledig passende definitie voor een DigiTwin. In deze ontwikkelfase van een DigiTwin voor waterkeringen en ondergrond is een voldragen definitie ook niet nodig. We hanteren voornamelijk de volgende werkdefinitie voor een DigiTwin:

Digital Twin wordt meestal gedefinieerd als een digitale representatie van een fysieke asset, een fysiek systeem of een proces, met voorspellingscapaciteit en real-time informatie om het functioneren te optimaliseren of andere waarde te creëren.

In de bovenstaande werkdefinitie willen we van een DigiTwin voor waterkeringen en ondergrond benadrukken dat er sprake is van continue updates door nieuwe informatie en dat daardoor de DigiTwin in de tijd steeds beter wordt. De gewenste inzichten over het object of systeem door gebruikt te maken van een DigiTwin worden daardoor ook steeds beter en kunnen zo door de (asset)beheerder optimaal worden benut. Dit sluit goed aan bij waterkeringen en ondergrond waarbij (grote) onzekerheden door beperkte informatie bepalend is. Een DigiTwin kan bij waterkeringen en ondergrond de onzekerheden in de loop van de tijd steeds verkleinen.

Intermezzo – achtergrond van Digital Twins

Sinds de eerste beschrijvingen van Digital Twins in 2003 is er veel belangstelling voor het concept Digital Twin. Oorspronkelijk bedoeld om van toepassing te zijn in de digitalisering van productieprocessen en invulling te geven aan Industrie 4.0, is het concept Digital Twin uitgewaaierd naar veel andere sectoren en toepassingsgebieden: productie, Life-cycle management, predictive maintenance, smart cities, milieubeleid en gezondheidszorg zijn voorbeelden. Hierdoor wordt veelal ervaren dat een heldere definitie ontbreekt. In navolging van Grieves (2014), een van de grondleggers van het concept, kan een Digital Twin beschreven worden als een digitaal model dat (1) een voldoende nauwkeurige beschrijving geeft van het gedrag van een object, proces of systeem, (2) automatisch ge-update wordt met sensordata afkomstig van het object, proces of systeem en (3) aan dit object, proces of systeem op een geautomatiseerde wijze informatie levert op grond waarvan het onderhoud, gebruik of beheer geoptimaliseerd wordt. Een kenmerk is dat zoveel mogelijk aan de koppeling tussen object, proces of systeem en het digitale model geautomatiseerd is.

2.2 Rationale achter een DigiTwin voor waterkeringen en ondergrond

DigiTwins worden om uitlopende redenen gebruikt in veel vakgebieden. De verwachting is dat de voordelen van een DigiTwin in het algemeen ook van toepassing zullen zijn voor waterkeringen en ondergrond. DigiTwins worden vooral gezien als een bijdrage aan het optimaliseren van Life-cycle Management en Predictive Maintenance. Daarnaast wordt het concept toegepast bij het ontwikkelen van digitale platforms voor het monitoren en testen van ingrepen in het natuurlijke systeem.

In WP1 – User Requirements is in een aantal workshops met de deelnemende waterschappen geïnventariseerd waar het concept ‘Digital Twin’ een bijdrage aan de werkprocessen van het waterschap kan leveren.

Hierbij werden de volgende aspecten genoemd:

- **Continu inzicht**
Hierin draait het vooral over inzicht in relevante gegevens van de dijk. Deze gegevens dienen overzichtelijk weergegeven te worden en eenvoudig bereikbaar te zijn voor de gebruiker. Het betreft zowel alle bekende gegevens alsmede monitoringsgegevens welke live geüpdatet worden.
- **Gedragsvoorspellingen**
Aan de hand van de voorspelde hydraulische randvoorwaarden voorspellen van de faalkansen welke optreedt bij een bepaalde water stand. Dit kan mogelijk gekoppeld worden aan een bestaand wettelijk instrumentarium.
- **Risico analyse**
Inzicht geven in de uitgevoerde berekeningen en de faalkansen. Duidelijkheid geven over welke risico's er zijn aan de hand van een uitgevoerde berekening. Deze faalkansberekening dient geanalyseerd te kunnen worden en waar nodig bijgesteld of aangepast.
- **Data integratie en uitwisseling**
Het mogelijk maken binnen de DigiTwin-omgeving om verschillende datasets geïntegreerd weer te geven, aan te leveren en op te halen. Denk hierbij aan meet- en monitoringsgegevens, historische gegevens, keuringen etc. Deze data dient geconformeerd te worden aan standaarden. De data integratie dient eenvoudig en inzichtelijk te zijn voor de gebruikers.
- **Visualisatie**
DigiTwin dient visueel een beeld weer te geven van een dijk in een statisch 3D beeld. Hierin moet het tevens mogelijk zijn om 4D veranderingen in de tijd weer te kunnen geven zoals de waterstand bij hoogwater. Ook het creëren van dwarsdoorsnedes moet mogelijk zijn.

Verder kwamen de volgende associaties en verwachtingen naar voren van eindgebruikers:

De omgeving is geheel digitaal

Alle voordelen van de digitaliseren/automatiseren zijn hier van toepassing. Een DigiTwin kan ook worden gezien als een manier om die digitalisering vorm te geven.

De vereiste om geheel digitaal te werken (digitale transformatie) vraagt in eerste instantie veel van een organisatie en hun processen, waardoor dit een hoge drempel kan zijn om de stap te maken.

In de sector waterkeringen en ondergrond is de digitale transformatie nog gaande. Een DigiTwin kan een manier zijn om de voortgang in de digitale transformatie direct in de praktijk en processen te benutten. Denk hierbij aan allerlei sensor- of monitoringsgegevens die direct

kan worden verwerkt tot bruikbare informatie. Daarnaast is het mogelijk om nieuwe (digitale) technieken, zoals cloud computing, data science, kunstmatige intelligentie, toe te passen.

De informatie wordt in samenhang gevisualiseerd

In een DigiTwin komt alle informatie samen en is dit in samenhang gevisualiseerd beschikbaar voor de gebruiker. De gebruiker hoeft niet op verschillende plekken de informatie op te halen en zelf in samenhang te ordenen. Specifiek voor waterkeringen en ondergrond is dit waardevol, omdat informatie relatief beperkt is en daarmee (expliciet) rekening met onzekerheden moet worden gehouden.

Gestructureerd overzicht in de beschikbare informatie (en onzekerheden) ondersteunt de keringbeheerder in het verkrijgen van de nodige inzicht van het object. Daarnaast is het mogelijk om minder gangbare of nieuwe databronnen en technieken te benutten, zoals remote sensing technologie, cloud computing, verschillende vormen van kunstmatige intelligentie en data science.

Het is steeds een actuele weergave van de werkelijke situatie

In combinatie met real-time (sensor)informatie wordt een DigiTwin continu geupdated, zodat de gebruiker altijd de beschikking heeft over de actuele gesteldheid van het object. Voor waterkeringen en ondergrond kan de real-time (sensor)informatie ook benut worden om de onzekerheden te verkleinen en daarmee de DigiTwin te verbeteren.

Het object of systeem kan integraal worden beschouwd

Met een DigiTwin zijn verschillende aspecten al dan niet in combinatie te beschouwen. Daarbij wordt steeds uitgegaan van dezelfde informatie.

Bij waterkeringen en ondergrond is de gangbare praktijk om faalmechanisme afzonderlijk te analyseren. Deze faalmechanismen kunnen onderling afhankelijk van elkaar zijn, zodat een gecombineerde analyse op hetzelfde (object)model van meerdere faalmechanisme tot betere inzichten leidt.

Analyses, simulaties en voorspellingen

In het verlengde van het voorgaande, is het mogelijk om met een DigiTwin (tijdsafhankelijke) simulaties uit te voeren van het gedrag van het object onder verschillende omstandigheden. Voor waterkeringen en ondergrond is de gangbare praktijk om de werkelijkheid in de analyses uit te voeren met een tweedimensionale “platgeslagen” schematisatie die past bij de afzonderlijke gedragsmodellen/faalmechanismemodellen. Voor verschillende toepassingen, zoals beoordelen, ontwerpen of in het kader van de zorgplicht zal de keringbeheerder beter inzicht in het (gesimuleerde) gedrag verkrijgen als het inzichtelijk is hoe vanuit een DigiTwin het gedrag is bepaald.

Niet op alle punten is in dit project 1 op 1 invulling te geven aan de verwachtingen. Een aantal wensen hangt nauw samen met het proces van data inwinning, informatie management, de taken van het waterschap en de wijze waarop de DigiTwin invulling geeft aan mogelijke verwachtingen van gebruikers. Daarom is in de volgende paragraaf een eerste specifieke invulling gegeven aan een aantal cruciale (op dit moment nog ontbrekende elementen) die onderdeel zijn van de scope van dit TKI-project: integratie van ondergronddata, een framework, de koppeling met (een beperkt aantal) gedragsmodellen en (in beperkte mate) tijdsafhankelijkheid/real time voorspellingen.

2.3 Invulling van een DigiTwin voor waterkeringen en ondergrond

Bij het geven van invulling van een DigiTwin voor waterkeringen en ondergrond is een aanzet gemaakt om een open framework (raamwerk) te ontwikkelen, te benutten voor het realiseren van een complete digital twin voor waterkeringen en ondergrond. Het framework zorgt voor structuur bij de ontwikkeling en toepassing van een DigiTwin.

Intermezzo – open framework

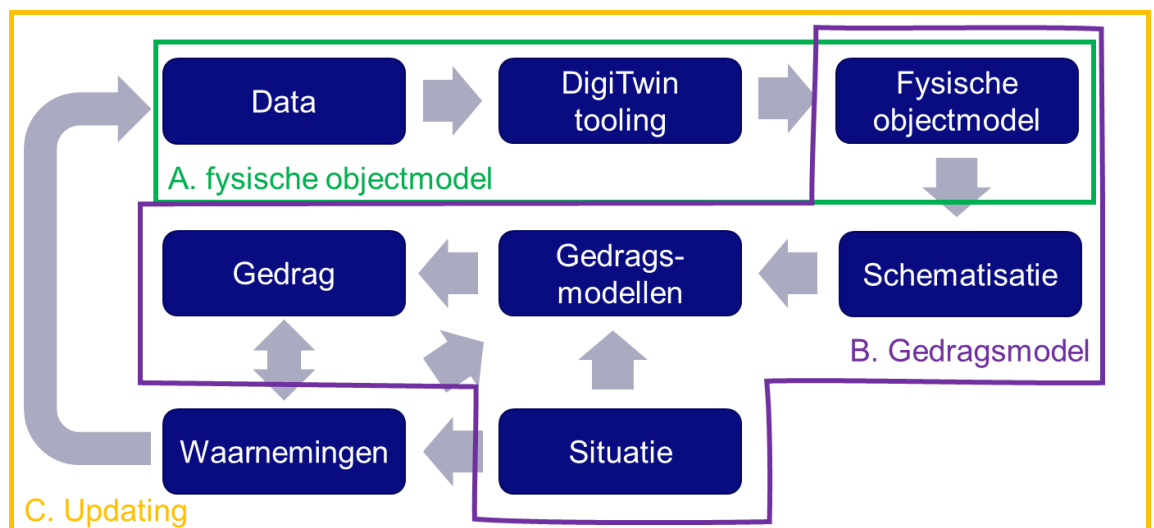
Met een “open” framework willen we beogen dat het gebruik en ontwikkeling van het framework en de onderdelen vrij toegankelijk zijn voor iedereen. Een ieder die er gebruik van maakt, wordt ook geacht om nieuwe ontwikkelingen ook beschikbaar te stellen in het framework.

In dit project is een “eerste versie” gemaakt van het open framework. Deze eerste versie is zeker nog niet uitontwikkeld of volledig, maar is een basis geweest bij het demonstreren in de cases.

Globaal ziet het ontwikkelde framework er als volgt uit:

- Hanteren van afgesproken formaten voor de data, zodat deze zonder conversie in verschillende tools is te gebruiken.
- Ondersteunen van bestaande werkwijze en data van keringbeheerders door conversie van de keringdata in dataformaten van het framework waardoor de keringdata te gebruiken is in alle tools.
- Aansluiten op bestaande databases, modellen en tools door doormiddel van parsers die het gebruik van de data van het framework in bestaande tools mogelijk maakt.
- Opwerken van (meet)data met data fusion tools naar fysische objectmodel en van schematisaties van het objectmodel met gedragsmodel naar “gedrag”/reactie onder bepaalde situatie/omstandigheden (zie Figuur 2).
- Updaten (verbeteren) van de modellen door middel van waarnemingen en (aanvullende) data (zie Figuur 2).
- Visualiseren en beheer van de data is expliciet onderdeel van het framework.

Het framework is toepassingsonafhankelijk. Dit wil zeggen dat het framework geschikt is voor verschillende toepassingen. Binnen waterkeringen kan hierbij worden gedacht aan beoordelen/toetsen, ontwerpen, calamiteitenbeheer, zorgplicht, enz.



Figuur 2: Een schematische weergave van de stappen en relaties tussen de data en modellen voor een DigiTwin framework voor waterkeringen en ondergrond.

Het schema is onder te verdelen in:

- A. *Fysische objectmodel. Hoe data met DigiTwin tooling (data fusion tools) worden opgewerkt tot een fysische objectmodel (waterkering en ondergrond) met bijbehorende eigenschappen.*
- B. *Gedragsmodel. Hoe op basis van een fysische objectmodel een schematisatie is af te leiden voor een gedragsmodel (faalmechanisme). Waarmee gegeven een situatie het gedrag (van de waterkering en ondergrond) is te voorspellen.*
- C. *Updating. Hoe op basis van waarnemingen in een bepaalde situatie een vergelijking is te maken met het voorspelde gedrag en zo het gedragsmodel of fysische objectmodel kan worden verbeterd. Updating is ook mogelijk door het verzamelen van meer data over het object (waterkering en ondergrond).*

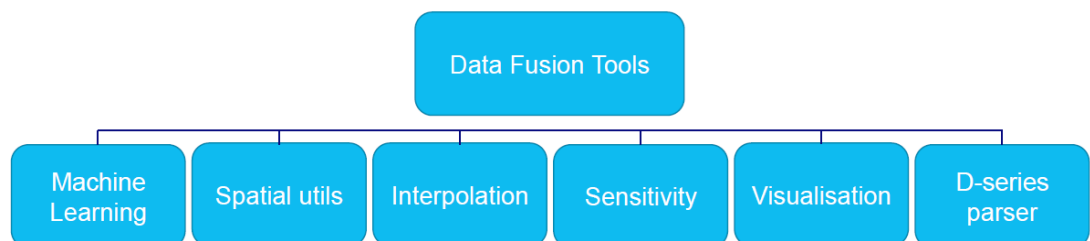
In de cases is getracht om op basis van de hierboven beschreven (elementen van het) framework invulling te geven aan de gedemonstreerde DigiTwin.

2.4 Tooling voor een DigiTwin voor waterkeringen en ondergrond

Om een DigiTwin volgens het framework uit paragraaf 2.3 te kunnen demonstreren is tooling gerealiseerd. Voor de gedragsmodellen is het mogelijk om gebruik te maken van bestaande tools/software (GEOLIB). Ook wordt er zo veel mogelijk gebruik gemaakt van en aangesloten op bestaande tooling/software. Denk hierbij aan GIS, data management- en analysesoftware, GEOLIB, enz.

Voor het schematiseren van de waterkering, met behulp van verschillende data zijn *data fusion tools* gemaakt. Daarmee is een fysisch objectmodel van de waterkering te maken.

Hiervoor is binnen het project een toolbox ontwikkeld en ontsloten (WP 3 en WP2) met een (basis)set aan tools om te komen tot een fysisch objectmodel (zie Figuur 3).



Figuur 3: Categorie-indeling van tools in de ontwikkelde data fusion toolbox. De verschillende categorieën illustreren de beschikbare tools om van verschillende type data te komen tot een fysische objectmodel.

Daarnaast zijn binnen het project ook (open) tools ontwikkeld om de data te visualiseren en te beheren. Voor de (actuele) inhoud van de ontwikkelde en beschikbare tools in de open *data fusion toolbox* wordt verwezen het DigiTwin platform:
<https://publicwiki.deltares.nl/display/DigiTwin/DigiTwin+Home>

3 Aanpak test en validatie

3.1 Doel van de test en validatie

Doel van de test en validatie is om de ontwikkelde tools voor het creëren van een digital twin in de praktijk van het waterschap te testen om zo te zien waar aanpassingen en verdere ontwikkelingen nodig zijn. Voor de test en validatie zijn hiervoor in een viertal tools en het onderliggende framework gedemonstreerd:

- Sterke Lekdijk bij het Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden met TNO.
- Spui bij het Waterschap Hollandse Delta met HKV.
- Doeveren bij het Waterschap Aa en Maas met Fugro.
- Purmer bij het Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier met Geodan, BZIM en Deltares.

In de test en validatie gaat het niet om de juistheid van de afzonderlijke tools, maar of de tools in combinatie met de data, omstandigheden en ervaringen van de case leidt tot een bruikbaar DigiTwin. Om dit meer concreet te maken zijn er de volgende hoofdvraag en subvragen opgesteld, waarop de test en validatie antwoord geeft. De reikwijdte van subvragen starten heel specifiek gerelateerd aan de case en verbreed zich naar het algemene waterkeringbeheer. Op de meer algemene (sub)vragen is de verwachting dat er op basis van de opgestelde cases minder duidelijke of stellige antwoorden zijn te geven. Deze vragen zijn niettemin van belang om een inschatting te kunnen maken van de waarde en potentie van een DigiTwin voor waterkeringen en ondergrond en ontwikkelde tools en framework.

Hoofdvraag:

- Sluit de opgestelde DigiTwin aan op de verwachtingen van keringbeheerders in relatie tot het vraagstuk van de case?

Subvragen:

- Doet de DigiTwin hetzelfde als de waterkering in de echte wereld doet in de relevante omstandigheden?
 - Hoe verhoudt dit zich tot de gangbare praktijk? Is dit vergelijkbaar of beter?
 - Levert meer data (metingen, ervaringen, enz.) een verfijning/verbetering op in de DigiTwin en het beschreven en voorspelde gedrag?
- Is de DigiTwin geschikt (te maken) voor gebruik in het dagelijks beheer van de waterkering?
 - Sluit de DigiTwin aan op de werkprocessen en taken van de keringbeheerders?
 - Kan de DigiTwin worden uitgebreid naar andere vraagstukken (andere use cases)?
 - Kunnen de toekomstige meetdata en ervaringen (verschillende datavormen) worden meegenomen in de DigiTwin?
- Draagt de DigiTwin in potentie bij aan de uitdagingen waarvoor de keringbeheerders (in de toekomst) staan?
 - Voldoet het aan de user requirements zoals eerder in werksessies zijn bepaald (WP1)?
 - Continue inzicht.
 - Gedragsvoorspelling.
 - Risico analyse.
 - Data integratie en uitwisseling.
 - Visualisatie.

- Heeft de DigiTwin impact op het waterkeringbeheer?
 - Continue inzicht.
 - Gedragsvoorspelling.
 - Risico analyse.
 - Data integratie en uitwisseling.
 - Visualisatie.

De test en validatie levert niet alleen inzicht op in de meerwaarde en bruikbaarheid van een DigiTwin en de ontwikkelde tools en framework, maar geeft ook bruikbare informatie op voor de (door)ontwikkeling van de tools en het open framework.

3.2 Testen en valideren door praktijkcases

Het testen en valideren is gedaan door middel van praktijkcases die aangedragen zijn door de deelnemende keringbeheerders. Het betreffen werkelijke situaties, problemen en vraagstukken waar de keringbeheerders mee om moeten gaan. Deze praktijkcases hebben betrekking op een beperkte lengte aan dijktraject waarbij piping of macrostabiliteit een belangrijke rol spelen. Samen met één of meerdere (industrie)partner(s) is op basis van de (plaatselijke) behoefte, kennis en ervaringen van de keringbeheerder de case ingevuld.

Voor het opzetten van de pilot DigiTwin per case was niet alles mogelijk. In dit project zijn we gebonden aan de mate waarin data en processen reeds zijn gedigitaliseerd of binnen de case zijn te digitaliseren. Daarnaast is de beschikbare data voor de pilot DigiTwin ook beperkt tot wat er reeds beschikbaar is (al dan niet al digitaal) of wat er binnen de case nog kan worden ingewonnen/ontsloten. Tot slot zijn de pilot DigiTwins gelijktijdig opgezet met de ontwikkeling van de tools en framework. Hierdoor kon er tijdens het testen inzichten gedeeld worden die gebruikt werden voor het updaten en verbeteren van de toolbox.

In de case is getracht om met het open framework en de ontwikkelde en bestaande tools voor de caserelevante aspecten invulling te geven hoe een DigiTwin eruit kan zien en welke informatie en inzichten er uit zijn te halen. De keringbeheerder krijgt daarmee inzicht in de potentie van een DigiTwin en daarmee een manier om zijn taken beter uit te voeren. Op basis van deze pilot DigiTwin heeft de keringbeheerder antwoord gegeven op de vragen in de vorige paragraaf.

Om de pilot DigiTwins te kunnen duiden en onderling te kunnen vergelijken, zijn deze op de volgende aspecten van een DigiTwin beschouwd:

- Objectmodel.
- Gedragsmodel.
- Updating.
- Visualisatie.
- Actualisatie.
- Integrale beschouwing.
- Benutten van nieuwe technieken.

Er is gekeken in welke mate er in de pilot DigiTwin invulling is gegeven aan deze aspecten. Dit geeft per pilot DigiTwin de beperkingen weer, maar ook de nog onbenutte potentie.

Per case is in een tweetal werksessies de uitgewerkte case gedeeld en besproken met een brede groep stakeholders bij het waterschap. Daarbij is nagegaan of en in welke mate de uitgewerkte case voldoet aan de behoeftes en verwachtingen van de keringbeheerders. De vragen uit de voorgaande paragraaf zijn daarbij een leidraad.

Tot slot, zijn de cases in een gezamenlijke sessie gedeeld en besproken met alle (consortium)partners, zodat de betrokkenen hun oordeel kunnen baseren op de bevindingen van alle uitgevoerde cases.

4 Test en validatie van de praktijkcases

In dit hoofdstuk is per case beknopt een beschrijving gegeven van:

- De situatie en het probleem.
- De invulling aan het framework en de gebruikte tools.
- De opgestelde pilot DigiTwin, aan de hand van specifieke aspecten (zoals benoemd in paragraaf 3.2).
- De bevindingen.

Voor een uitgebreidere beschrijving van de case wordt verwezen naar de individuele rapportage van de betreffende case, zie referentielijst en op het DigiTwin platform: <https://publicwiki.deltares.nl/display/DigiTwin/DigiTwin+Home>.

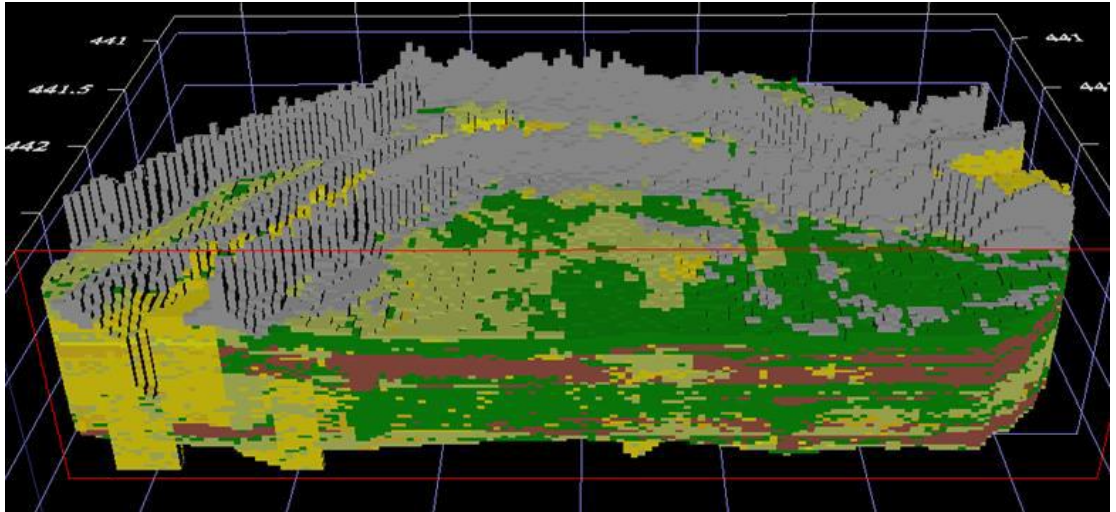
4.1 Praktijkcase Sterke Lekdijk bij het Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden met TNO

4.1.1 Situatie en het probleem

De case Sterke Lekdijk betreft de noordelijke Lekdijk die niet voldoet aan de normen. Het faalmechanisme piping (interne erosie onder de dijk) speelt daarbij een grote rol. Dat heeft weer te maken met het feit dat de Lekdijk gelegen is in een gebied met rivierafzettingen, waarbij de opbouw van de ondergrond ruimtelijk sterk kan variëren en daardoor relatief veel onzekerheden kent.

Op dit moment bevindt de Lekdijk zich in een versterkingstraject. Beter inzicht in de opbouw en ruimtelijke variatie in de ondergrond en grondeigenschappen kan mogelijk de versterkingsopgave positief beïnvloeden. De wens is om op deze wijze de versterkingsontwerpen te optimaliseren.

De case bouwt voort op eerdere ontwikkelingen waarbij GeoTOP (het ondergrondmodel) rondom de Lekdijk met een factor 32 is verfijnd naar een voxelmodel met voxels van 25 m bij 25 m en 0,25 m hoog (zie Figuur 4). Daarbij geeft GeoTop ook inschattingen per voxel voor de (horizontale en verticale) doorlatendheden en volumiek gewicht. Wat nog ontbrak is ruimtelijk inzicht in de grofheid van het sediment. De grofheid van het sediment kan bij piping immers ook een grote rol spelen (in de vorm van de D70 van de zandfractie als parameter in de verschillende pipingmodellen).



Figuur 4: Illustratie van het verfijnde (hoge resolutie) GeoTOP voxelmodel voor de Sterke Lekdijk (bron: TNO)

In deze case is ruimtelijk inzicht in de grofheid van het sediment rond de Lekdijk verkregen door het verfijnde GeoTOP uit te breiden met inschattingen van korrelgrootteverdelingen per voxel (inclusief onzekerheden). Dit is indirect gerealiseerd door uit beschikbare boringen met zandklasse (proxy-data) een inschatting te geven van de ruimtelijke korrelgrootteverdeling volgens de GeoTOP methodiek.

4.1.2 Invulling aan het framework en de gebruikte tools

De case bouwt voort op bestaande kennis en informatie van de ondergrond (het verfijnde GeoTOP) rondom de Lekdijk. Er is invulling gegeven aan het framework door het bestaande fysische objectmodel (de verfijnde GeoTOP) uit te breiden met inschattingen van korrelgrootteverdelingen per voxel. Het algoritme (tooling) waarmee dit is gerealiseerd, is generiek van opzet en de resultaten zijn reproduceerbaar. Als er meer gegevens beschikbaar zijn, kan het model opnieuw worden gemaakt. Hetzelfde algoritme kan met gegevens van een ander gebied voor dat gebied een model maken. Geologische en gebiedskennis is wel nodig om het algoritme te kunnen gebruiken.

Het ontwikkelde algoritme is nog niet volgens de opzet van het framework. Zo wordt nog niet de binnen het framework afgesproken dataformaten gebruikt en zijn de onderliggende tools van het algoritme niet in de DigiTwin tooling beschikbaar. Daarnaast wordt voor de interpolatie gebruik gemaakt van een commercieel pakket (Isatis) waardoor ook op dat punt de methodiek niet als open-source beschikbaar gemaakt kan worden. Dit kan op een later moment nog wel worden aangepast, zodat het wel volgens met framework is en daarmee voor andere DigiTwins is te gebruiken.

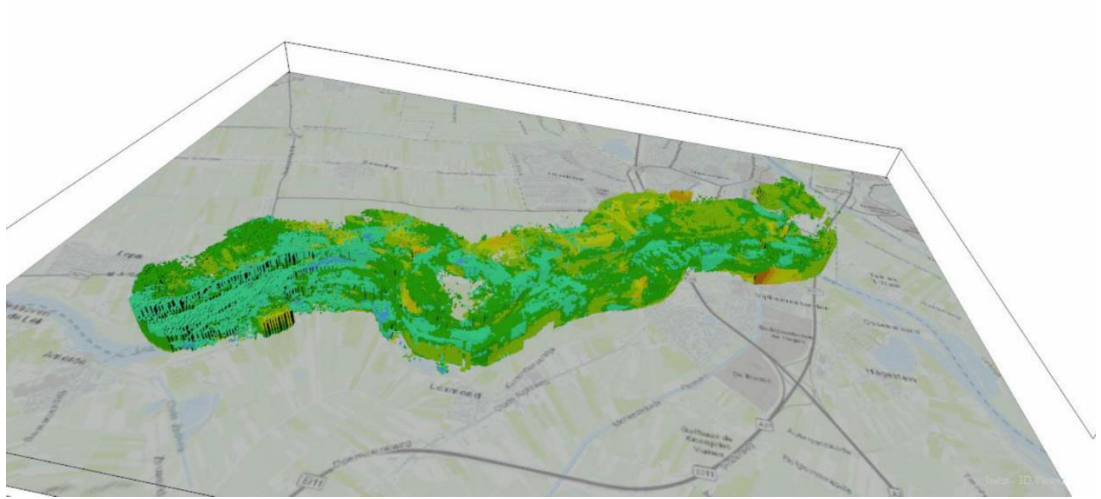
In de pilot is een nieuwe techniek mogelijk gemaakt. Om te komen tot een ruimtelijke inschatting van de korrelgrootteverdeling is gebruik gemaakt van boringen die indirect iets zeggen over de korrelgrootteverdeling. De boringen met zandklassen zijn proxy-data waarmee de inschattingen van de korrelgrootteverdelingen zijn bepaald.

De pilot sluit aan op de bestaande werkwijze van de keringbeheerder. De keringbeheerder kon de inzichten uit de ruimtelijke korrelverdelingen meenemen in de versterking. Er is alleen geen directe koppeling gemaakt met een gedragsmodel (pipingmodel), omdat de zeer gedetailleerde korrelverdelingen niet of nauwelijks in de beschikbare pipingmodellen kunnen worden meegenomen. De gedetailleerde korrelverdelingen moeten veelal worden "platgeslagen" (geschematiseerd tot minder gedetailleerde parameters), zodat het nauwelijks leid tot nauwkeurigere resultaten. Zonder pipingmodellen waarvoor deze mate van gedetailleerde invoer wel zinvol is, is het niet mogelijk om zinvol een koppeling te maken met gedragsmodellen en het volgens het framework realiseren van updating van de modellen.

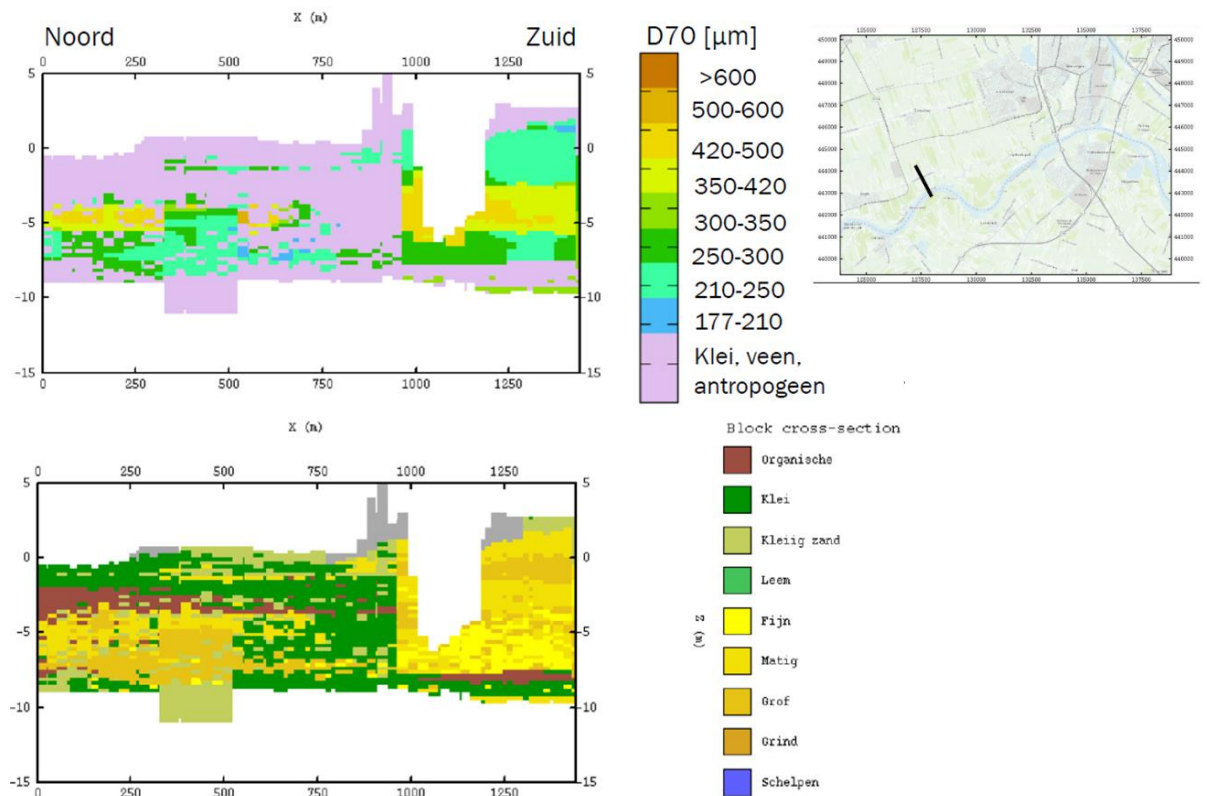
4.1.3 De opgestelde pilot DigiTwin

In de onderstaande tabel is voor de pilot gekeken naar de verschillende aspecten van deze pilot DigiTwin. Om een beeld te krijgen van de opgestelde pilot DigiTwin zijn in Figuur 5 en Figuur 6 illustraties van deze pilot DigiTwin gegeven.

Aspecten DigiTwin	Invulling in pilot DigiTwin
Objectmodel	GeoTOP ondergrondmodel is op basis van beschikbare gegevens uitgebreid met inschattingen voor de korrelverdelingen per voxel. Hiervoor is een algoritme (tooling) opgezet dat het model kan updaten bij nieuwe/meer informatie en kennis. Het algoritme is generiek opgezet, zodat het ook is toe te passen in andere gebieden. Het algoritme is alleen niet beschikbaar via de Datafusion toolbox. Daarnaast wordt voor de interpolatie gebruik gemaakt van een commercieel pakket (Isatis) waardoor ook op dat punt de methodiek niet als open-source beschikbaar gemaakt kan worden.
Gedragsmodel	In de pilot is getracht om het objectmodel direct te koppelen aan een gedragsmodel voor piping. De zeer verfijnde resolutie van het objectmodel leverde in combinatie met de relatief eenvoudige gedragsmodellen niet de verwachte nauwkeurigheid in het gedrag. De inzichten uit het verfijnde objectmodel moeten door de keringbeheerders zelf worden meegenomen.
Updating	Updating is niet ingevuld in de pilot.
Visualisatie	De bestaande visualisatie van de verfijnde GeoTOP is in de pilot niet specifiek ingevuld voor de korrelgrootteverdelingen. De behoefte is er wel om de gebruikers op een gebruiksvriendelijke manier de zeer grote hoeveelheid data, wat de ruimtelijke korrelgrootteverdelingen zijn, te visualiseren.
Actualisatie	In de pilot wordt de DigiTwin niet automatisch geactualiseerd met de situatie buiten.
Integrale beschouwing	Integraal beschouwing is niet ingevuld in de pilot. De pilot had alleen betrekking op piping en richtte zich op inzichten voor de versterkingsopgave. Een directe aanknopingspunt was er wel: het verfijnde objectmodel biedt ook informatie voor geohydrologische modellen.
Benutten van nieuwe technieken	In de pilot is gebruik gemaakt van proxy-data om te komen tot een inschatting van de korrelverdelingen per voxel. De proxy-data bestaat uit boringen met inschatting van de zandklasse, om zo indirect een schatting te kunnen maken van de ruimtelijke korrelverdelingen. Bij de verificatie aan de hand van (beperkte) korrelverdelingen van het waterschap bleken de korrelverdelingen van de zelfde orde grootte. De inschatting van de ruimtelijke korrelverdelingen komt ook overeen met de geologische verwachtingen. Met het ontwikkelde algoritme in de pilot is het mogelijk om indirect met boringen een inschatting te maken voor de ruimtelijke korrelverdelingen.



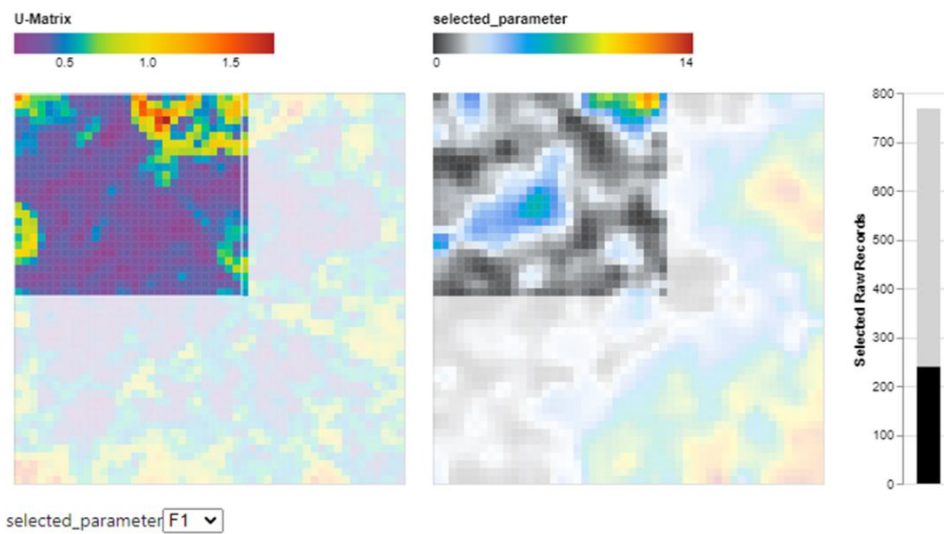
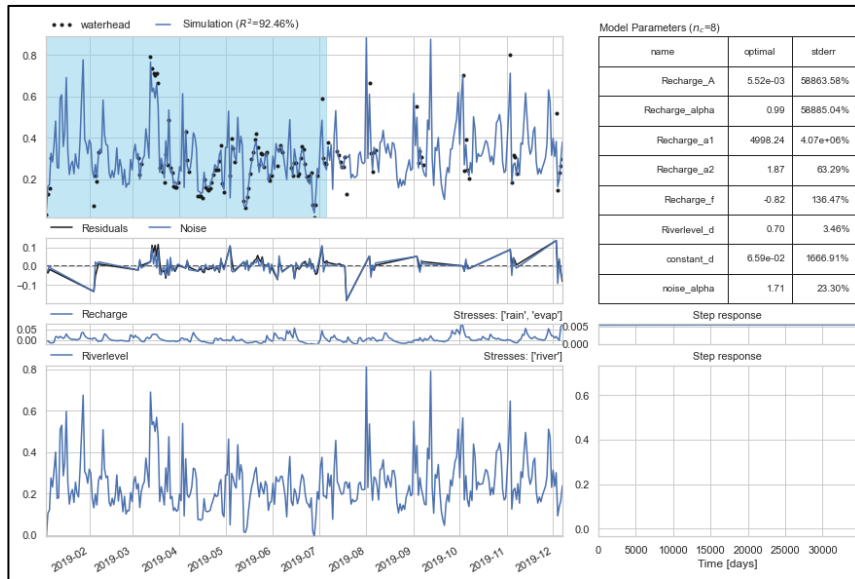
Figuur 5: Illustratie van de opgestelde ruimtelijke korrelgrootteverdeling over een dijkstrekking. Per voxel van het verfijnde GeoTOP is de meest voorkomende D70-waarde als afgeleide van de korrelgrootteverdeling gepresenteerd.



Figuur 6: Illustratie van een dwarsdoorsnede met D70 en meest waarschijnlijke lithoklasse in traject Jaarsveld – Vreeswijk.

4.1.4 De bevindingen

In de pilot is een methodiek en tooling gerealiseerd waarmee op basis van proxydata bestaande uit boringen inschattingen zijn gemaakt van de ruimtelijke korrelgrootteverdelingen. De pilot heeft waardevolle informatie en inzichten voor de keringbeheerder opgeleverd voor het mechanisme piping die toe te passen is bij het ontwerp en beoordeling. Alleen is het nog niet mogelijk om daadwerkelijk een directe koppeling te



Figuur 7: Illustraties van de gebruikte tools voor de stijghoogten. Van boven naar beneden: feature analyse, PASTAS en Self Organizing Map.

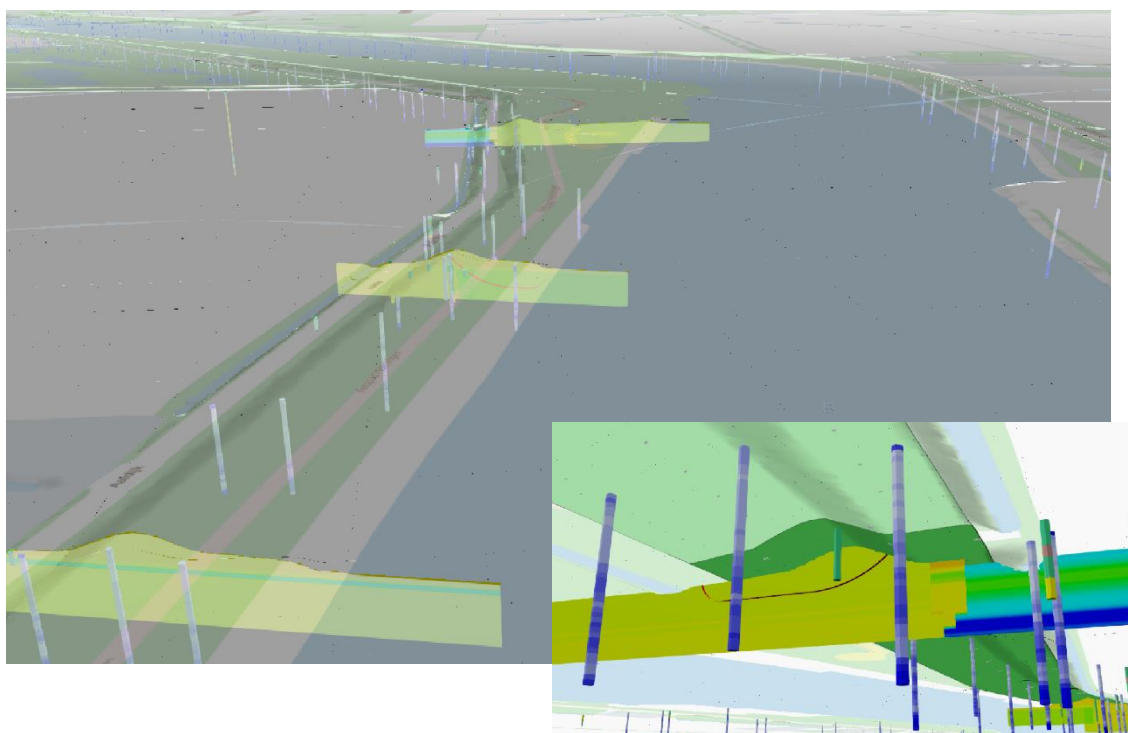
Het objectmodel van de pilot is met een parser uit de toolbox omgezet naar een D-Stability schematisatie. Hiermee is er invulling gegeven aan het gedragsmodel voor marcostabiliteit waarmee voor verschillende situaties D-Stability berekeningen zijn uit te voeren.

De gegevens uit de pilot is gevisualiseerd in een door Geodan ontwikkelde webviewer. De keringbeheerder heeft op deze wijze ruimtelijk inzicht in zowel het objectmodel als de resultaten uit het gedragsmodel. Daarnaast is er een koppeling gemaakt met de applicatie Continue Inzicht van HKV, waarmee in een dashboard toepassings specifieke informatie voor de keringbeheerder wordt getoond. Met de applicatie Continue Inzicht wordt via fragility curves een relatie gelegd tussen de actuele (real-time) buitenwaterstand en de faalkans.

4.2.3 De opgestelde pilot DigiTwin

In de onderstaande tabel is voor de pilot gekeken naar de verschillende aspecten van deze pilot DigiTwin. Om een beeld te krijgen van de opgestelde pilot DigiTwin zijn in Figuur 8 illustraties van deze pilot DigiTwin gegeven.

Aspecten DigiTwin	Invulling in pilot DigiTwin
Objectmodel	In de pilot is specifiek gekeken naar de waterspanningen en de grondopbouw, omdat deze de grootste onzekerheden hebben. Er is daarbij gebruik gemaakt van verschillende data fusion tools.
Gedragsmodel	Er is met een parser een koppeling gemaakt tussen het objectmodel en D-Stability. Het gedrag van de dijk kan bij verschillende situaties worden bepaald. In de pilot zijn met de gegevens ook fragility curves bepaald, waarmee de bestaande applicatie Continu Inzicht van HKV kon worden gevoed.
Updating	Updating is niet ingevuld in de pilot.
Visualisatie	De modellen zijn gevisualiseerd in een webviewer en in de dashboard van applicatie Continu Inzicht van HKV.
Actualisatie	Actualisatie is indirect gerealiseerd door via fragility curves in de applicatie Continu Inzicht bij actuele waterstanden een faalkans te bepalen.
Integrale beschouwing	Integraal beschouwing is niet ingevuld in de pilot. De pilot had alleen betrekking op macrostabiliteit en het verkleinen van de (schematiserings)onzekerheden.
Benutten van nieuwe technieken	In de pilot zijn voor waterspanningen verschillende data fusion technieken gebruikt die voor waterkeringen niet gangbaar zijn.



Figuur 8: Screenshot van de webviewer met de ruimtelijke weergave van het Spui en de informatie over de waterkering en omgeving. In dit geval worden de schematisatie van dwarsdoorsnedes voor macrostabiliteit, maatgevende glijvlak en het aanwezige grondonderzoek getoond. De weergave is van boven en in de inzet rechtsonder is de weergave van onder naar boven.

4.2.4 De bevindingen

De case heeft inzicht gegeven in het ontwikkelproces en hoe een DigiTwin kan werken en eruitzien. Het sluit aan bij de verschillende werkprocessen en taken van de keringbeheerder. De visualisatie maakt het mogelijk om met verschillende stakeholders op een laagdrempelige wijze ruimtelijk inzicht in de dijk te hebben.

Voor dagelijks beheer of toepassing in de levenscyclus van de dijk is pilot nog niet ver genoeg voor ontwikkeld. De aspecten zoals visualisatie, gedragsmodellering dragen wel bij aan efficiënte werkwijzen, hergebruik van eerdere investeringen en continue inzicht.

De pilot biedt veel aanknopingspunten om het concept DigiTwin verder te brengen, zodat deze wel geschikt is te maken voor waterkeringen.

4.3 Praktijkcase Doeveren bij het Waterschap Aa en Maas met Fugro

4.3.1 Situatie en het probleem

In de case Doeveren wordt op deze locatie gedurende hoge waterstanden (calamiteiten) vaak (zandmeevoerende) wellen geconstateerd. Deze wellen kunnen zich ontwikkelen tot pipes, waardoor het faalmechanisme piping optreedt. De uitdaging voor de keringbeheerder is de korte duur van de hoogwatergolf en de vele wellen in een relatief groot traject. De keringbeheerder heeft behoefte aan gedragsvoorspellingen van de waterkering voor piping voor dit traject en inzicht in de plekken waar daadwerkelijk problemen kunnen worden verwacht. Daarmee heeft de keringbeheerder controle over de situatie en kan op tijd de benodigde maatregelen nemen.

In pilot is getracht de gewenste inzicht te geven door de waarnemingen bij hoogwater te duiden aan de hand van de ontwikkeling van de verschillende submechanismen bij het optreden van piping: opbarsten, heave, voortscheidende erosie. Naast de waarnemingen van dijkwacht/-inspectie is gebruik gemaakt van de beschikbare ondergrondgegevens en waterstanden.

4.3.2 Invulling aan het framework en de gebruikte tools

In de pilot is voor de grondopbouw een (3D) objectmodel gemaakt met de data fusion tools en de beschikbare data. Ook is er volgens het framework het objectmodel gekoppeld aan een gedragsmodel. Voor opbarsten is uitgegaan van de analytische formules uit het WBI2027 en voor terugschrijdend erosie/kritische kwelweglengte is gebruikt gemaakt van de aangepaste rekenregel van Sellmeijer.

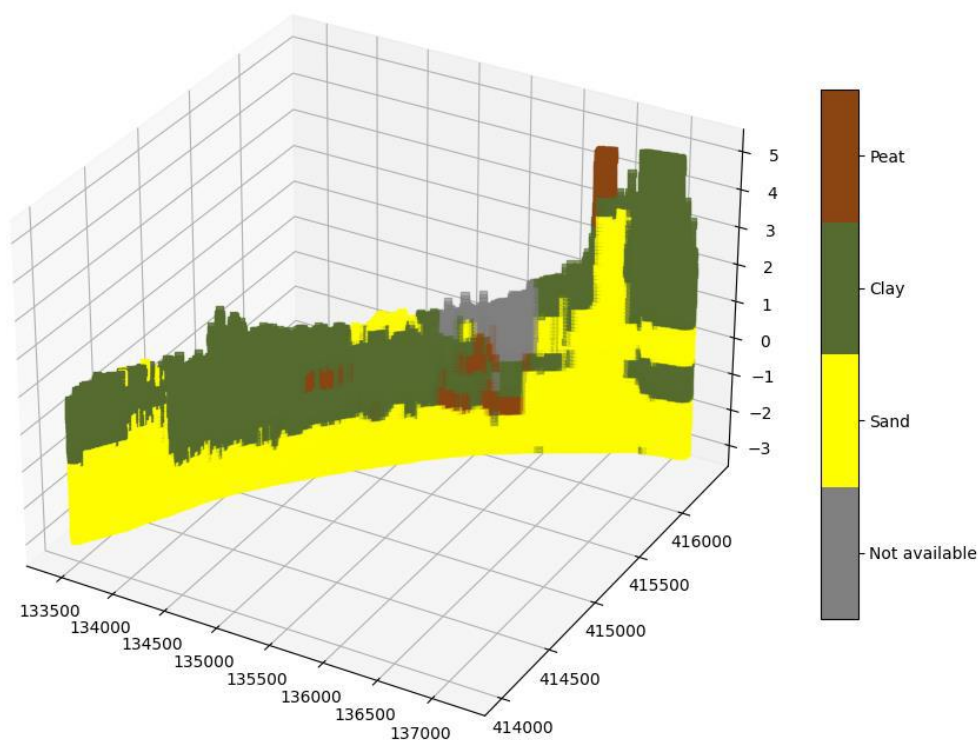
De pilot gaat uit van actualisatie op basis van actuele en voorspelde rivierwaterstanden en geconstateerde waarnemingen die betrekking hebben op het faalmechanisme. Dit is aan de hand van simulatie van de hoogwatergolf uit 2021 gedemonstreerd, maar niet in praktijk gerealiseerd. Daarnaast is in de opzet voorzien in het updaten van de gedragsmodellen aan de hand van de waarnemingen. Dit is in de pilot niet gedemonstreerd, nog afgezien of de beschikbare waarnemingen wel geschikt waren voor deze update. Beide elementen passen wel in het framework.

Voor het gebruik en visualisatie tijdens calamiteiten is een dashboard ontwikkeld dat de keringbeheerder precies die informatie geeft die het nodig heeft om te kunnen handelen. De achterliggende modellen zijn in de pilot niet voor de keringbeheerder gevisualiseerd.

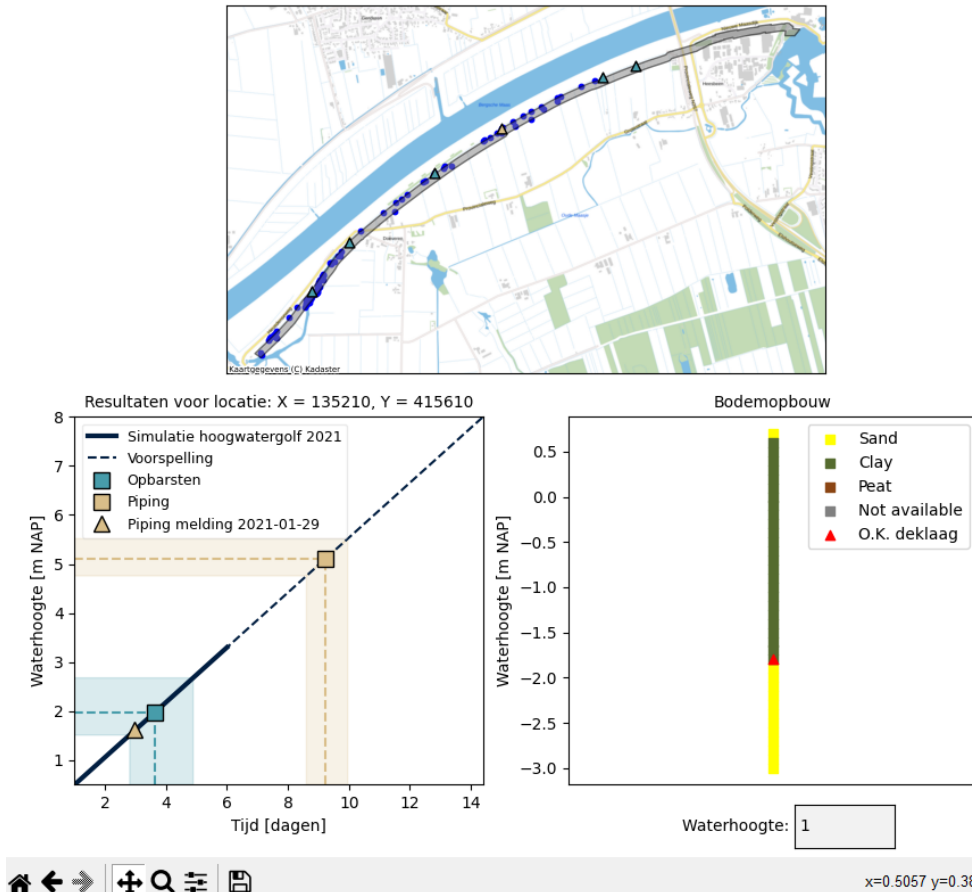
4.3.3 De opgestelde pilot DigiTwin

In de onderstaande tabel is voor de pilot gekeken naar de verschillende aspecten van deze pilot DigiTwin. Om een beeld te krijgen van de opgestelde pilot DigiTwin zijn in Figuur 9 en Figuur 10 Figuur 8 illustraties van deze pilot DigiTwin gegeven.

Aspecten DigiTwin	Invulling in pilot DigiTwin
Objectmodel	In de pilot is specifiek gekeken naar de grondopbouw. Met de beschikbare verschillende type grondgegevens is doormiddel van data fusion tools voor de grondopbouw een objectmodel gemaakt.
Gedragsmodel	Er is een koppeling gemaakt met het gedragsmodel: opbarsten en terugschrijdende erosie.
Updating	Updating is wel voorzien in de pilot, maar niet gerealiseerd.
Visualisatie	De modellen zijn niet gevisualiseerd. Voor de benodigde informatie voor de keringbeheerder tijdens hoogwater is een dashboard ontwikkeld.
Actualisatie	Actualisatie is gedemonstreerd met een simulatie van de hoogwatergolf van 2021.
Integrale beschouwing	De pilot heeft alleen betrekking op piping en specifiek bij calamiteiten.
Benutten van nieuwe technieken	Naast het gebruik van de data fusion tools om met verschillende type ondergrondgegevens te komen tot een ondergrondmodel, is er een methode ontwikkeld om modelupdating te kunnen realiseren op basis van waarnemingen. Het updaten is alleen niet gerealiseerd en getest.



Figuur 9: Illustratie van de opgestelde 3D ondergrondmodel voor Doeveren.



Figuur 10: Illustratie van het dashboard waarin alleen de voor de keringbeheerder bij calamiteiten belangrijke informatie wordt getoond.

4.3.4 De bevindingen

De pilot geeft de keringbeheerder de informatie die het nodig heeft tijdens calamiteit en voldoet daarmee aan de verwachtingen van de keringbeheerder. Het sluit daarmee ook aan bij de bestaande werkwijze en gebruikelijke analyses.

De pilot is voornamelijk niet volwassen genoeg om daadwerkelijk te gebruiken buiten de pilotsituatie. Daarvoor is verdere uitwerking nodig. Daar ligt ook een zorg van de keringbeheerder als de toepassing beperkt blijft tot piping en calamiteiten. Het realiseren van het ondergrondmodel is voornamelijk zo specialistisch, zodat het risico bestaat dat tegen de tijd dat er meer data beschikbaar komt, niemand meer weet hoe deze in het model getraind moet worden. De potentie dat het 3D ondergrondmodel makkelijk is te updaten bij nieuw grondonderzoek spreekt erg aan.

Ook wordt potentie gezien om het 3D ondergrondmodel (objectmodel) te gebruiken als basis voor verschillende geotechnische en (geo) hydrologische berekeningen. De flexibiliteit van een dergelijke DigiTwin kan dan voor verschillende doeleinden worden gebruikt (en doorontwikkeld).

4.4 Praktijkcase Purmer bij het Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier met Geodan, BZIM en Deltares

4.4.1 Situatie en het probleem

De locatie Purmer voor deze case is gekozen, omdat het een proeftuin is voor verschillende proeven en technieken. Daardoor is er veel gegevens beschikbaar en kan er worden verkend of technieken met elkaar zijn te combineren. Specifiek voor deze pilot is gekeken of de data van verschillende inwintechnieken in een DigiTwin kan worden gevisualiseerd, zodat de keringbeheerder alle gegevens tot zijn beschikking heeft en tot inzichten kan komen.

Daarnaast zijn binnen de Purmer verschillende strekkingen gekozen, waarbij er sprake is van vervorming na versterking/ophoging een paar jaar geleden. Een zeer plastische kleilaag (ook wel “katteklei” of “pindakaas-klei genoemd”) zou een mogelijk de oorzaak zijn. De vraag hierbij is of het toepassen van een DigiTwin inzicht kan geven in de opgetreden vervormingen en waar deze vervormingen optreden. In de pilot is gekeken naar het faalmechanisme macrostabiliteit en squeezing (wegpersen van een grondlaag).

Voor deze pilot zijn, naast de reeds beschikbare gegevens, aanvullend EM-metingen (elektromagnetische metingen) uitgevoerd om de grondopbouw zo goed mogelijk in kaart te brengen. Ook zijn er periodiek met een Iphone handheld-LiDAR metingen uitgevoerd voor specifieke locaties met scheuren en vervormingen. Hiermee is verkend of een dergelijke laagdrempelige techniek (te gebruiken door gebiedsbeheerders) van meerwaarde is bij het dijkbeheer binnen een DigiTwin.

4.4.2 Invulling aan het framework en de gebruikte tools

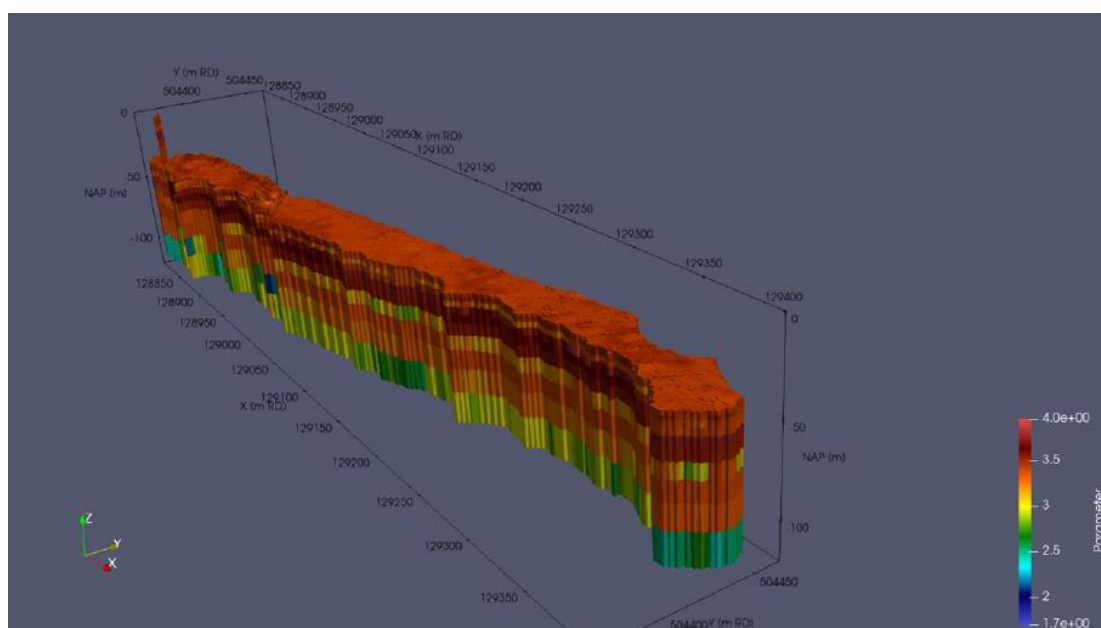
In de pilot is voor de grondopbouw met de uitgevoerde EM-metingen en het bestaande grondonderzoek een gedetailleerde ondergrondmodel opgesteld. Hierbij is er gebruik gemaakt van de data fusion tools. Het objectmodel is met de parser uit de toolbox gekoppeld aan D-Stability en tool om squeezing te bepalen met de vergelijking van Silvestri (1983). Hiermee is voor verschillende situaties het gedrag de boezemkade te bepalen voor macrostabiliteit en squeezing. Dit is gedaan per 100 m voor de gekozen strekkingen.

In de pilot is een webviewer gerealiseerd waarin een DigiTwin van de Purmerdijk (en zijn omgeving) op een laagdrempelige ruimtelijke wijze voor de keringbeheerder is te zien. Hierin is niet alleen het objectmodel (3D ondergrondmodel) en het gedragsmodel (glijcirkels voor macrostabiliteit en de stabiliteitsfactoren), maar ook veel openbare gegevens en door de keringbeheerder ingewonnen gegevens. Van de openbare gegevens betreft het AHN, Basisregistraties, KLIC (kabels en leidingen) tot PDOK-gegevens. Ingewonnen gegevens betreffen obliquefoto's met een vliegtuig, puntenwolken met fotogrammetrie met een drone en onderwatertaluds met multibeam met een boot tot de gangbare grondonderzoek. Maar ook de uitgevoerde periodieke handheld LiDAR metingen zijn in de webviewer opgenomen. De keringbeheerder heeft op deze wijze alle data rondom de kering beschikbaar om lokaal inzicht in de boezemkade te krijgen.

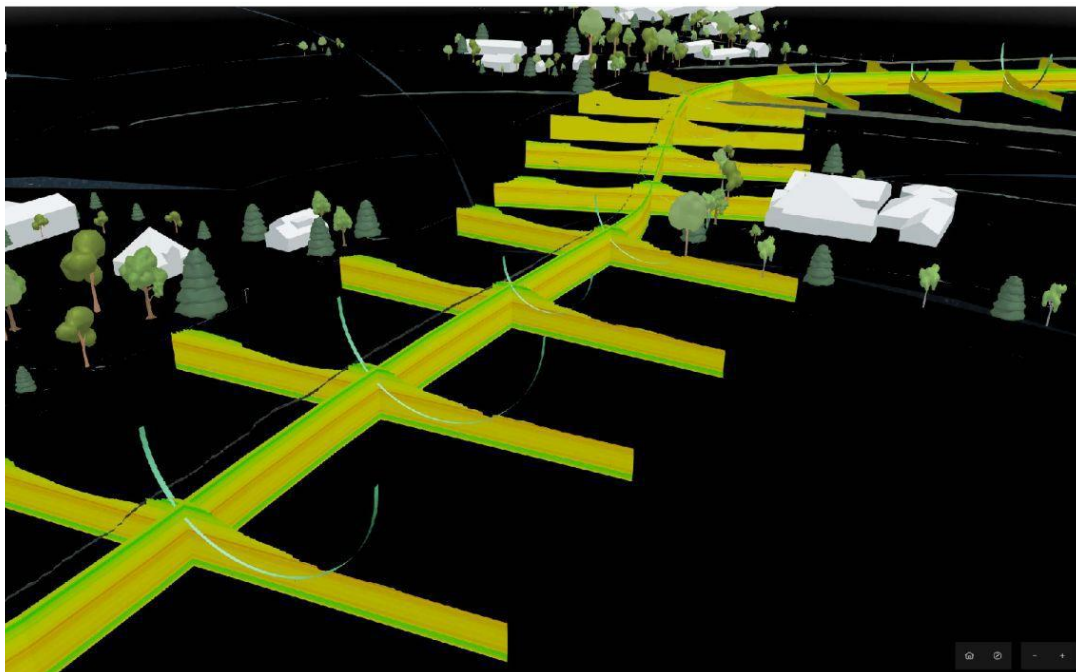
4.4.3 De opgestelde pilot DigiTwin

In de onderstaande tabel is voor de pilot gekeken naar de verschillende aspecten van deze pilot DigiTwin. Om een beeld te krijgen van de opgestelde pilot DigiTwin zijn in Figuur 11 en Figuur 12 Figuur 8 illustraties van deze pilot DigiTwin gegeven.

Aspecten DigiTwin	Invulling in pilot DigiTwin
Objectmodel	Bij het objectmodel lag de nadruk op een gedetailleerd 3D ondergrondmodel. Daarbij is er gebruik gemaakt van de ingewonnen EM-metingen. Met de beschikbare en ontwikkelde data fusion tools en op basis van geologische kennis is de 3D ondergrond zo goed mogelijk opgezet. Later zijn er meer boringen meegenomen in het opzetten van de objectmodel. Waarmee is gedemonstreerd dat het model eenvoudig is te updaten met nieuwe gegevens.
Gedragsmodel	Er is een koppeling gemaakt met het gedragsmodel voor macrostabiliteit en squeezing.
Updating	Updating is niet gerealiseerd in de pilot.
Visualisatie	Er is een webviewer waarin de modellen als veel andere gegevens met betrekking tot de boezemkade en zijn omgeving ruimtelijk zijn gevisualiseerd.
Actualisatie	Actualisatie is niet gerealiseerd in de pilot.
Integrale beschouwing	De pilot heeft betrekking op macrostabiliteit en squeezing.
Benutten van nieuwe technieken	Naast het gebruik van de data fusion tools om met verschillende type ondergrondgegevens te komen tot een gedetailleerd en geologisch correcte ondergrondmodel, is er een aanvullende gedragsmodel (squeezing) gedemonstreerd.



Figuur 11: Illustratie van de ruimtelijke ondergrond onder een deel van de Purmerdijk. De ondergrond is gemodelleerd en geïnterpoleerd met data fusion tools op basis van EM-metingen, sonderingen, boringen en geologische kennis.



Figuur 12: Screenshot van de webviewer met een strekking van de Purmerdijk waarin de ondergrondschematisatie voor de macrostabiliteit is weergegeven en de maatgevende glijvlakken.

4.4.4 De bevindingen

De keringbeheerder is positief over de pilot. Veel verschillende databronnen zijn op een fijne manier samengebracht en aantrekkelijk gevisualiseerd. Ook is het concept behoorlijk compleet: zowel het ondergrondmodel als het gedragsmodel functioneren, en er zijn ook stappen gezet op het gebied van updating. Bij een eventueel vervolg zal in ieder geval extra aandacht uit moeten gaan naar het modelleren en visualiseren van de ondergrond en dan in het bijzonder in en direct rondom de waterkering. Als dit niet met het juiste detailniveau lukt, zal het haast onmogelijk worden om vanuit de fysieke kant van de Digital Twin de gegevens te kunnen leveren naar de sterkte modellen om een inschatting van de faalkans te maken. En tot slot sluit de handheld LiDAR met bijbehorende analyses goed aan bij de case. Al met al geeft deze pilot al een goed eerste beeld van de mogelijkheden van een Digital Twin.

De keringbeheerder ziet naar aanleiding van de pilot ook allerlei mogelijkheden voor doorontwikkeling en toepassingen. Daarbij wordt ook gewezen op de betrouwbaarheid van de gegevens om het daadwerkelijk in praktijk te kunnen gebruiken. Daarnaast is het van groot belang dat updating door nieuwe gegevens ook is gerealiseerd. De basis voor een bruikbaar DigiTwin is als deze betrouwbaar, compleet en zich verbetert. Als het *up-to-date* houden van de gegevens niet goed georganiseerd wordt, veroudert het model snel waardoor de waarde en toepasbaarheid van de digitale tweeling snel afneemt.

De webviewer vereist ook vaardigheden van de gebruiker om de vele data overzichtelijk te kunnen presenteren om zo de gewenste inzichten te verkrijgen. Het in ruimtelijke omgeving navigeren is nog niet voor iedereen gebruikelijk. Daarnaast stelt de webviewer met de vele data ook eisen aan de (internet)verbinding en de grafische capaciteiten van het apparaat waarop de DigiTwin wordt getoond.

5 Bevindingen uit de test en validatie van de praktijkcases

5.1 Opzet van een DigiTwin voor waterkeringen en ondergrond

Voor het opzetten van een DigiTwin hebben we een generieke invulling oftewel framework voor ogen (zie paragraaf 2.3). Op basis van de praktijkcases kunnen we het volgende concluderen:

- Een open toolbox met generieke tools voor het opzetten van een DigiTwin is werkbaar. Het gaat daarbij niet alleen om de data fusion tools, maar ook om de visualisatie en datamanagement. Door verschillende partners zijn tools ontwikkeld, die door andere partners zijn gebruikt. Met lokale data en kennis konden deze tools specifiek worden ingezet voor de verschillende cases. Het toepassen van de afgesproken dataformaten zorgt voor laagdrempelig gebruik van de tools.
- De stappen om tot een fysische objectmodel, gedragsmodel en updating te komen is werkbaar.
In de cases is dit beperkt gedemonstreerd voor ondergrond en waterspanningen (objectmodel) en voor piping, macrostabiliteit en squeezing (gedragsmodel). Voor updating is dit niet gedemonstreerd. Maar deze stappen sluiten goed aan op de huidige praktijk, zodat we met de uitgevoerde demonstraties het vertrouwen hebben dat dit ook breder toepasbaar is.
- Goede aansluiting op de bestaande en gangbare modellen en technieken.
Er is nauwelijks discussie geweest over de aansluiting met de gangbare modellen en technieken. Deze passen goed in dit framework. We verwachten de huidige en toekomstige ontwerp en beoordelingstechnieken in het framework toepasbaar zijn. Meer geavanceerdere technieken, zoals probabilistische analyses, lijken juist gebaat te zijn bij dit framework, omdat een onderbouwd en reproduceerbaar fysisch objectmodel met onzekerheden ten grondslag ligt aan de (gedrags)analyses.
- Visualisatie en databeheer is expliciet onderdeel van een DigiTwin.
Met betrekking tot de visualisatie gaat het niet alleen om de fysische objecten, maar ook om (de combinatie met) het gedrag van de kering. Dat geeft de keringbeheerder de ruimtelijke informatie die hij nodig heeft.
Databeheer is minder zichtbaar geweest in de cases met relatief beperkte data. Voor grotere DigiTwins waar actualisatie en updating plaatsvindt is databeheer een cruciaal punt. Ook de beschikbaarheid van digitale data zal bij het opschalen van DigiTwins naar verwachting een grote rol spelen voor de meerwaarde van een DigiTwin.

Hieronder is per aspect van een DigiTwin aangegeven wat er in de cases is gedemonstreerd:

Aspecten DigiTwin	Invulling in pilot DigiTwins
Objectmodel	Er is objectmodel gerealiseerd met ondergrondmodel, grondparameters en waterspanningen. Verschillende type data zijn met verschillende data fusion tools gecombineerd tot een gedetailleerd 3D objectmodel.
Gedragsmodel	Er zijn koppelingen gemaakt naar gedragsmodellen voor piping, macrostabiliteit en squeezing.
Updating	Updating is niet gedemonstreerd in de pilots, wel bij sommige pilots aangegeven hoe dit vorm kan worden gegeven.
Visualisatie	Webviewer en (online) dashboards.
Actualisatie	Actualisatie is niet gedemonstreerd in de pilot.
Integrale beschouwing	Beperkt tot 1-2 verschillende mechanismen en verschillende toepassingen.
Benutten van nieuwe technieken	Voornamelijk data fusion tools. Daarnaast zijn bij de gedragsmodellen kleinere ontwikkelingen. Remote sensing technologie, cloud computing, verschillende vormen van kunstmatige intelligentie en data science is nog niet of beperkt gedemonstreerd.

5.2 Aansluiting op de praktijk van de keringbeheerders

In paragraaf 3.1 zijn hoofd- en subvragen gesteld waarmee we de test en validatie van opgestelde pilot DigiTwins concreet maken. De keringbeheerders hebben samen met de partners hierover gerapporteerd in de cases. Daarnaast is in een gezamenlijke sessie, waarbij alle cases zijn gedeeld, door middel van een mentimeter feedback opgehaald (zie bijlage A). Op basis hiervan vatten we de bevindingen van de keringbeheerders in de praktijkcases als volgt samen.

Er is op basis van de cases nog geen sluitend antwoord te geven op hoofd- en subvragen van deze test en validatie (uit paragraaf 3.1). De betrokken keringbeheerders zijn over het algemeen positief over de praktijkcases. Mede door de betrokkenheid van de keringbeheerders bij de cases, sluiten de pilot DigiTwins goed aan bij de praktijk van de keringbeheerders. De cases geven (andere) inzichten die van meerwaarde zijn voor waterkeringbeheer. Een terugkerend positief punt is de (ruimtelijk integrale) visualisatie. Ook de aanwijsbare link tussen de beschikbare data dat door middel van data fusion tools resulteert in een reproduceerbaar objectmodel spreken de keringbeheerders aan. De potentie van updating wordt wel gezien maar zonder dat het daadwerkelijk is gedemonstreerd, is het begrijpelijk dat de keringbeheerders op dit punt nog geen oordeel hebben.

De keringbeheerders geven aan dat de in eerdere werksessies bepaalde user requirements (continue inzicht, gedragsvoorspelling, risico analyse, data integratie en uitwisseling, visualisatie) voor een DigiTwin wel terug te zien in de pilot DigiTwins. Maar de pilots waren van beperkte omvang en diepgang, zodat we op deze punten proeven dat de keringbeheerders verwachten dat er nog meer ontwikkelingen nodig zijn alvorens te kunnen concluderen dat aan deze user requirements ook in een operationele setting voldaan is..

De vele suggesties en wensen die de keringbeheerders zien om de cases en het concept door te ontwikkelen geven aan dat DigiTwins duidelijke potentie heeft. Het is nog niet af, het

is nog niet (in praktijk) bruikbaar, het is nog op beperkte schaal, maar keringbeheerders zijn positief over de ontwikkelingen in dit project.

6 Vervolgstappen in de ontwikkeling en gebruik van DigiTwins voor waterkeringen en ondergrond

Voor bruikbare DigiTwins is iedereen over eens dat doorontwikkeling noodzakelijk is, zie vorige paragraaf. In de rapportages van keringbeheerders en de betrokken partners wordt een scala aan mogelijkheden gegeven die sterk gevoed zijn uit de betreffende praktijkcases. Dit levert dan ook geen duidelijke richting, maar een breed palet aan gewenste/noodzakelijke doorontwikkelingen. Dit beeld volgt ook uit de uitgevoerde mentimeter tijdens de gezamenlijke sessie (zie bijlage A).

Hieronder is aan de hand van de eerder aangehaalde aspecten van een DigiTwin een globaal beeld gegeven van de gewenste/benodigde doorontwikkelingen:

Aspecten DigiTwin	Invulling in pilot DigiTwin
Objectmodel	Een objectmodel met alle elementen naast ondergrondmodel, grondparameters en waterspanningen. Meenemen van onzekerheden/geostatistiek. Inzicht in datakwaliteit. Meenemen van meer type data/metingen/sensoren. Meer data fusion tooling ontsluiten.
Gedragsmodel	Ontsluiten van meer gedragsmodellen Toepasbaarheid van gedragsmodellen voor DigiTwin (3D/4D, fijne resoluties)
Updating	Realiseren van updating, zodat het gedrag steeds beter wordt voorspeld. Eenvoudig updaten door gebruiker.
Visualisatie	Interactie in de webviewer. Volledige visualisatie van de reken/bewerkingsstappen. Uitvoeren van analyses in visualisatie-omgeving.
Actualisatie	Actualisatie realiseren.
Integrale beschouwing	Toepasbaar voor verschillende gedragsmodellen en toepassingen.
Benutten van nieuwe technieken	Benutten van remote sensing technologie, IoT.

Om daadwerkelijk in de praktijk DigiTwins toe te passen moeten we het framework verder ontwikkelen en verbeteren. Het pilotproject richtte zich op praktijkcases van beperkte schaal en omvang. Ook het beschouwde aantal aspecten, situaties en omstandigheden waren beperkt. De volgende ontwikkeling van een DigiTwin voor Waterkering en ondergrond richt zich op ontwikkelingen in het framework om grootschalige praktijkcases uit te voeren. Daarbij willen we meerdere combinaties van aspecten, situaties en omstandigheden beschouwen.

Naast deze bovenstaande meer technische insteek van de benodigde doorontwikkelingen van de DigiTwins, zijn er ook ontwikkelingen op niet-technische vlakken nodig die beperkt in deze pilot zijn meegenomen. Hierbij kan er gedacht worden aan draagvlak/adaptatie bij stakeholders, maatschappelijke acceptatie, benodigde opleidingen/trainingen/vaardigheden, juridische borging, enz.

Tot slot, is het voor de doorontwikkeling van DigiTwins van belang dat er heldere doelen zijn (gedefinieerd) waaraan DigiTwins bijdragen bij de (toekomstige) waterveiligheid en keringbeheer. In paragraaf 2.2 geeft meerdere aanknopingspunten, maar mist een gezamenlijk gedragen doel van DigiTwins voor de (toekomstige) waterveiligheid en keringbeheer.

Referentielijst

De onderstaande referenties van de cases en nog veel meer van het project DigiTwin zijn te vinden op het DigiTwin platform:

<https://publicwiki.deltares.nl/display/DigiTwin/DigiTwin+Home>

Sterke Lekdijk bij het Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden met TNO

Gunnink, J.L., Volleberg, K. (2023, januari). Case Sterke Lekdijk. Geologische Dienst Nederland (TNO-GDN) en Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden (HDSR).

Spui bij het Waterschap Hollandse Delta met HKV

Tigchelaar, J., e.a. (2023, januari). Digital Twin, Case dijktraject 20-3, Eindrapport. HKV, ref. 4462.10.

Webviewer: <https://wshd.beta.geodan.nl/>

Graaf, S. de (2022, 19 december), DigiTwin Waterkering en Ondergrond: Visualisatie, Verslag 2022. Geodan.

Continu Inzicht: <https://tscontinuinzicht.hkvservices.nl/ci-wshd/>

Doeveren bij het Waterschap Aa en Maas met Fugro

Meer, M.T. van der, e.a. (2022, 23 december). Eindrapport DigiTwin Waterkering, Waterschap Aa en Maas & Fugro.

Purmer bij het Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier met Geodan, BZIM en Deltares

Versteegh, H (2023). Caseomschrijving HHNK – Purmer. Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier.

Meer, A. (2022). Gedragsmodellen. Deltares.

Dijk, P. van, Klaarbergen, I. van. (2022, 22 december). Eindrapportage DigiTwin Purmerringdijk. BZ Ingenieurs & Managers, kenm. BZ276B.

Onselen, E. (2023). Ondergrondmodellering DigiTwin Purmerringdijk, op basis van Dual-EM metingen en grondonderzoek. Deltares.

Webviewer: <https://hhnk.beta.geodan.nl/>

Graaf, S. de (2022, 19 december), DigiTwin Waterkering en Ondergrond: Visualisatie, Verslag 2022. Geodan.

A Uitslag Mentimeter op de gezamenlijke DigiTwin- sessie om cases met elkaar te delen

Discussie DigiTwin sessie

Ga naar

www.menti.com

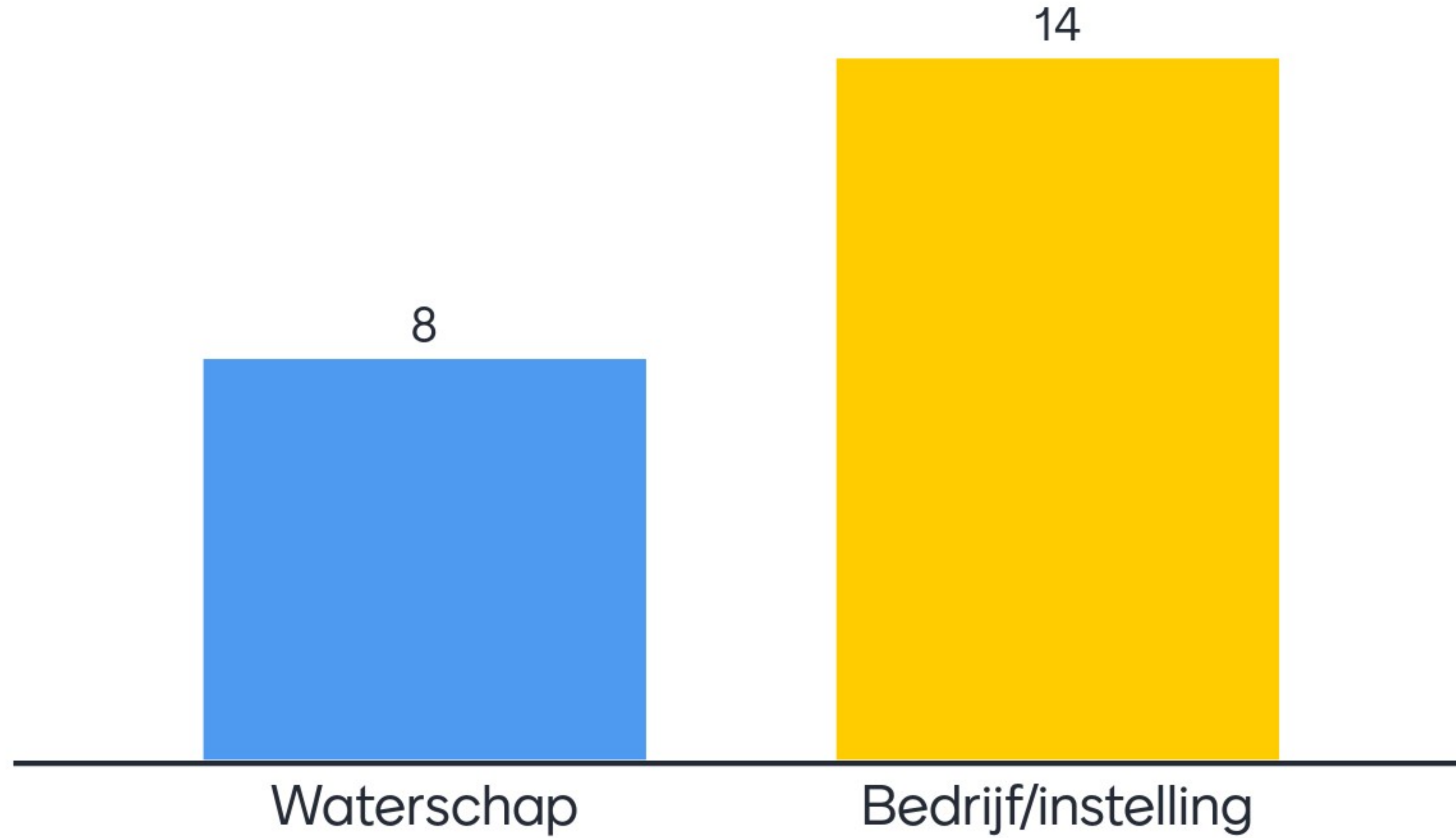
Voer de code in



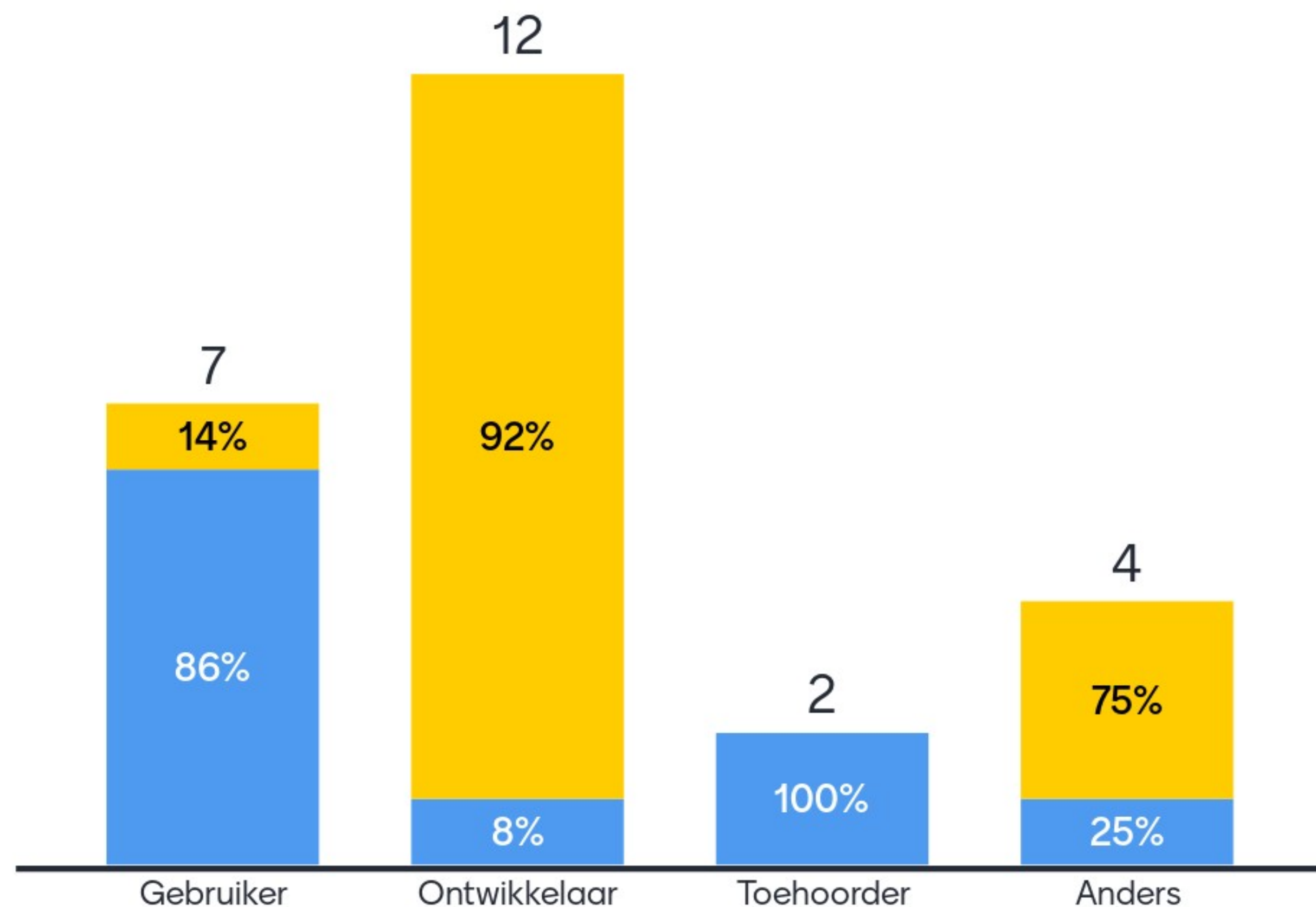
Of gebruik een QR code

Opwarmen...

Van welke organisatie ben je?



Wat is je rol bij DigiTwin?



Van welke organisatie ben je?

- Waterschap
- Bedrijf/instelling

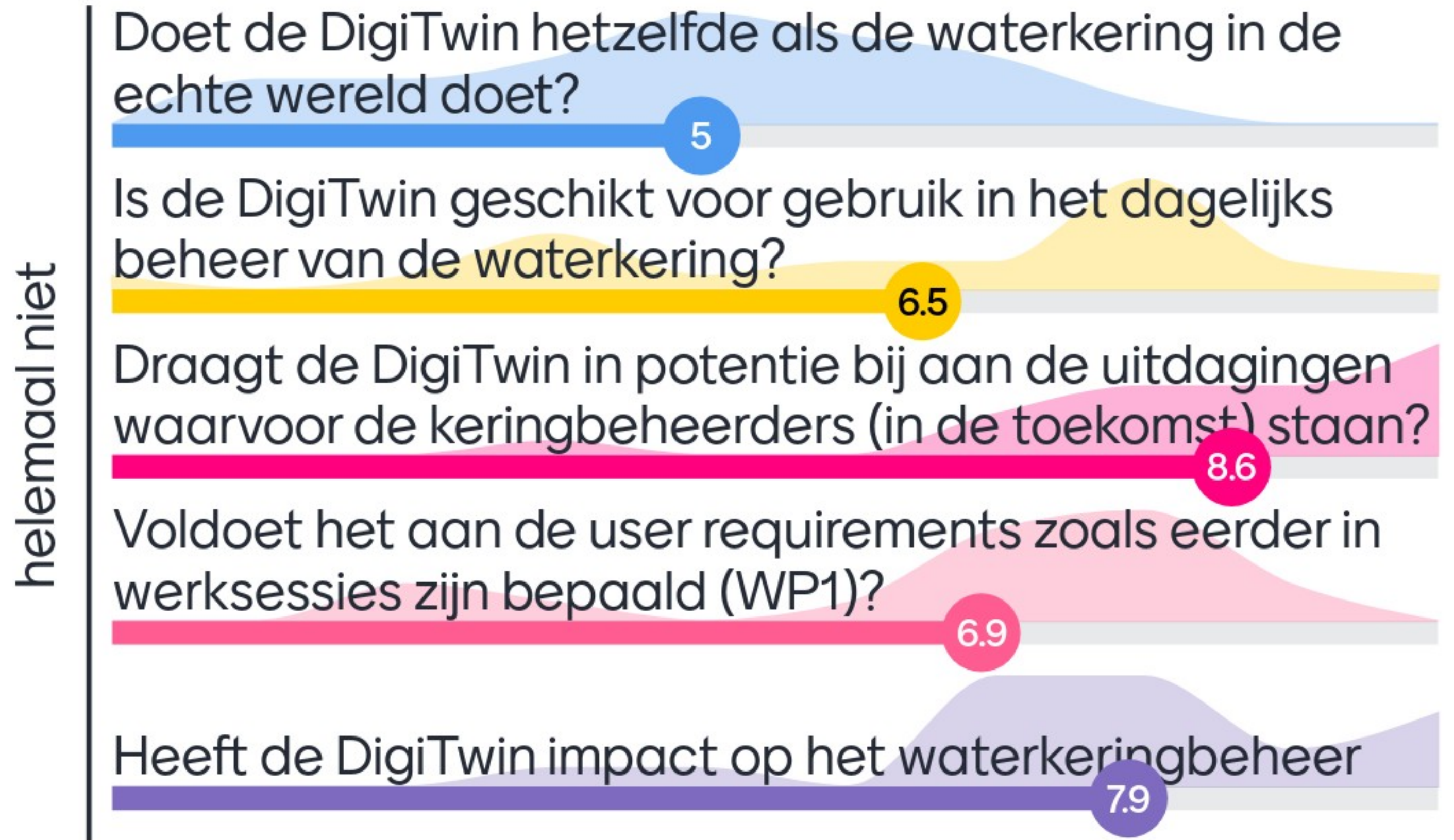
Hoe hebben jullie project DigiTwin ervaren?



De cases...



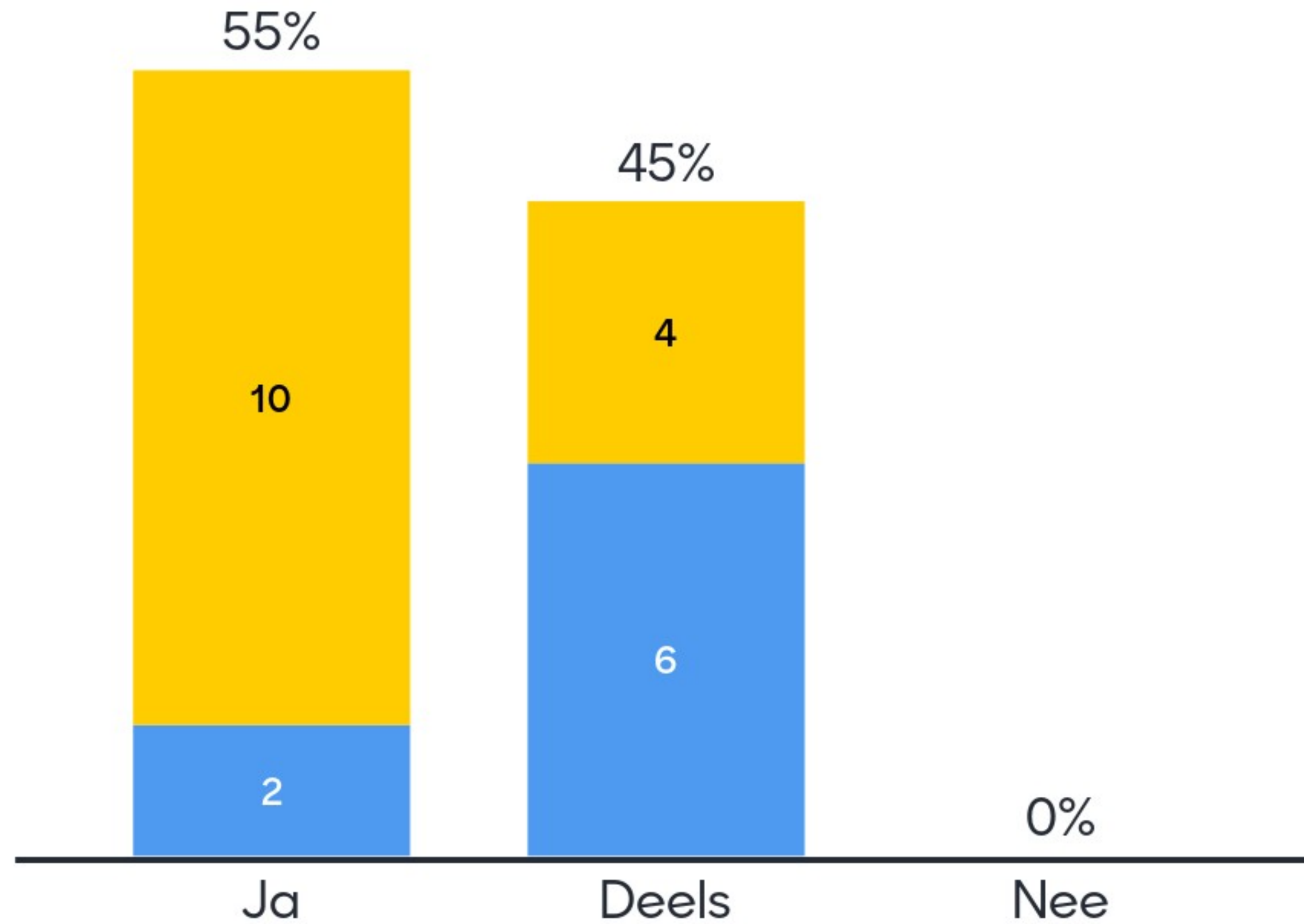
Test en validatie vragen



User requirements (WP1):

- Continue inzicht
- Gedragsvoorspelling
- Risico analyse
- Data integratie en uitwisseling
- Visualisatie

Sluit de opgestelde DigiTwin aan op de verwachtingen relatie tot het vraagstuk van de case?

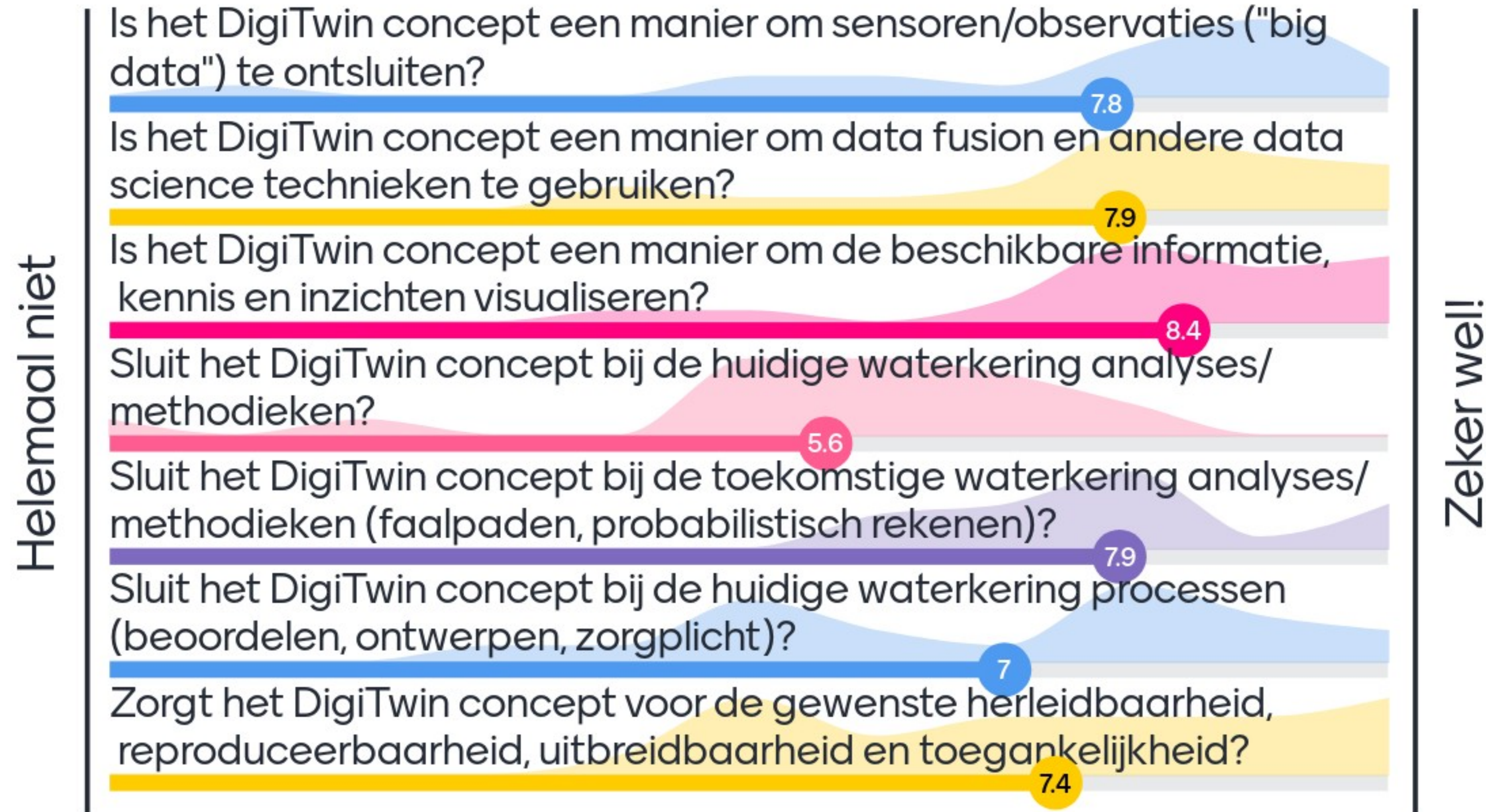


Van welke organisatie ben je?

- Waterschap
- Bedrijf/instelling

De lessen...

DigiTwin concept voor ondergrond en waterkeringen



Wat missen we nog in het DigiTwin concept voor ondergrond en waterkeringen ?

Onzekerheden expliciet

Model updating

Juridisch kader

Geostatistiek

Opbouw van de dijk

Updating

Uitvoeren analyse in de digital twin

Model updating

BIM



Wat missen we nog in het DigiTwin concept voor ondergrond en waterkeringen ?

volledige reken ketting en interactie van de webviewer

Toepasbaarheid modellen (bereik)

Implementatie analoge archieven

Onzekerheden

Eenvoudig updaten door gebruiker

Inzicht in data kwaliteit

standaarden, waarde databronnen, onzekerheden

Datamanagement, validatie,

Centrale aansturing zoals HWBP

Wat missen we nog in het DigiTwin concept voor ondergrond en waterkeringen ?

Snel updaten van ondergrondmodellen

A manier om de modellen van ingenieurs bureaus openbaar te maken

Opleidingen

Kennis van het fysische systeem

Risico's in complexe situatie zoals hoogwater Maas

Private data openbaar maken

Gebruik van landelijke datasets

Implementatie

Risico's in complexe situatie zoals hoogwater Maas

Wat missen we nog in het DigiTwin concept voor ondergrond en waterkeringen ?

Sensoriek, IoT

Nadenken over draagvlak in de hele organisatie

Waar staan we nu?

0%
TRL 1

5%
TRL 2

20%
TRL 3

25%
TRL 4

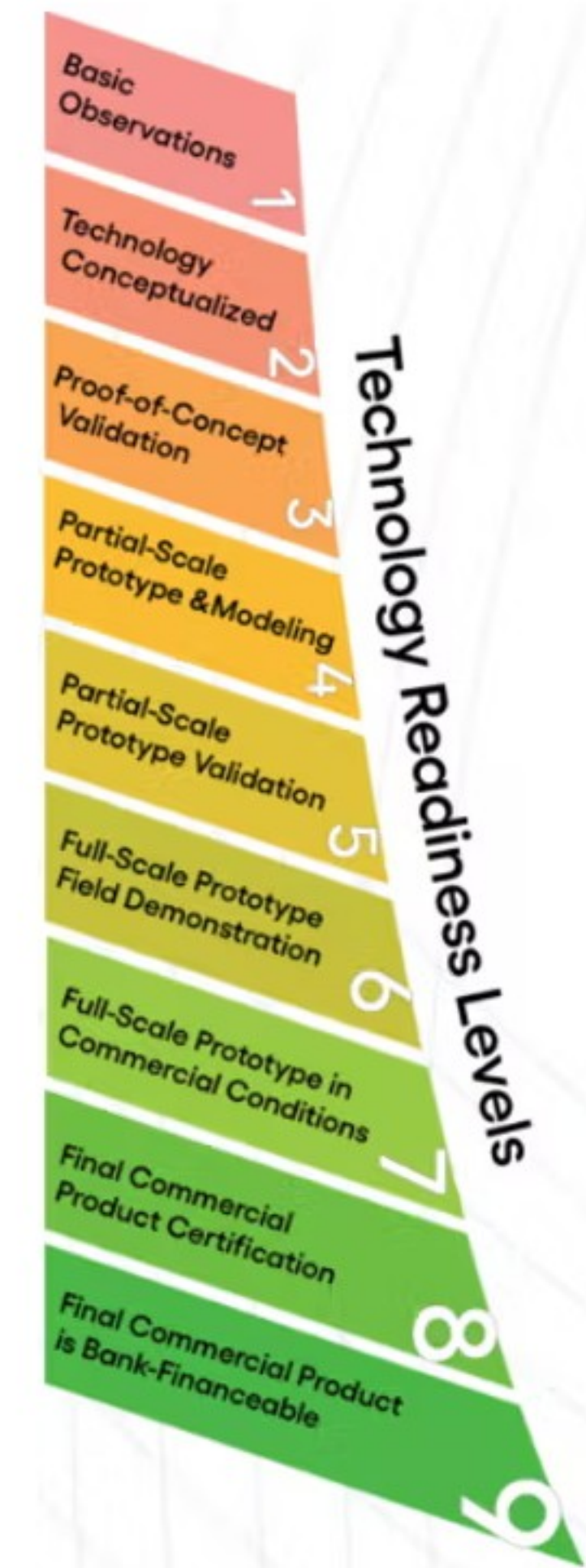
45%
TRL 5

5%
TRL 6

0%
TRL 7

0%
TRL 8

0%
TRL 9



Het vervolg...

Wat zien jullie als vervolg op dit project/ontwikkeling/cases?

Modellen en viewer koppelen

Tools koppelen in DigiTwin

Synthese case-ervaringen

integratie van tools / modellen / viewer

Integratie, validatie en terugkoppeling

Even laten bezinken, basis op orde (opbouw dijklichaam), doorontwikkelen (o.a. betrouwbaarheid)

Koppelen modellen met observaties

Management discussie binnen elke waterschap

Fysieke beschrijving op orde brengen

Wat zien jullie als vervolg op dit project/ontwikkeling/cases?

Gebruik in andere projecten en terugkoppeling

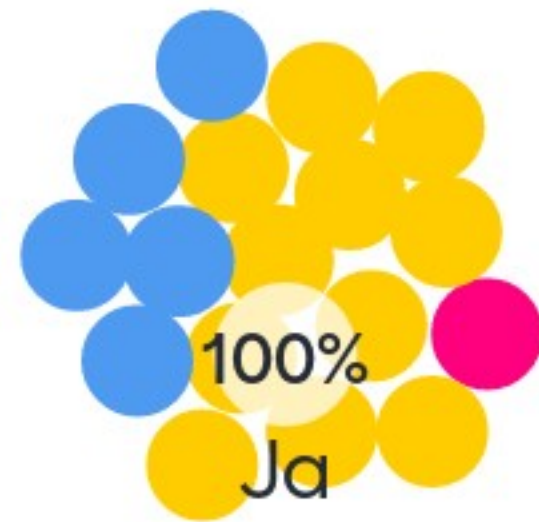
verdieping en opschaling in afgebakende stappen

Koppelen aan data management en data infrastructuur

Draagvlak binnen organisatie gebruikers

Breed validatie promoten

heeft dit consortium meerwaarde voor de ontwikkeling van de DigiTwin?



0%
Beetje

Van welke organisatie ben je?

- Waterschap
- Bedrijf/instelling
- Unknown

0%
Nee

0%
Anders

Hoe organiseren we de doorontwikkeling?

Aan de voorzitter

Bij de borrel

Zou de eerste volgende stap zijn?



Nieuwe pilot in ander gebied



Bestaande pilots uitbreiden

0%

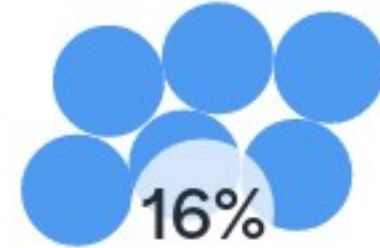
De "markt" verder laten oppakken



Toolbox beter vullen



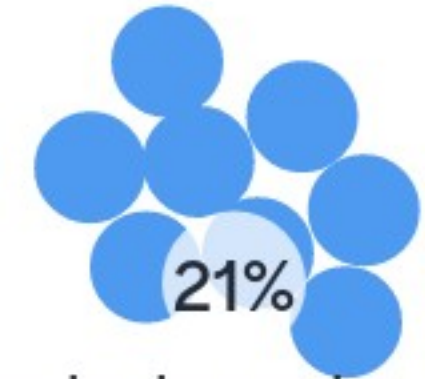
DigiTwin concept/framework verder uitwerken



Meer draagvlak creëren

0%

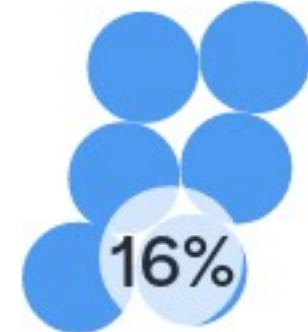
Universiteiten en hogescholen betrekken



Meer keringbeheerders betrekken



Meer bedrijven/ontwikkelaars betrekken



Grote rol voor STOWA\DGWB\HWBP\RWS

0%

Niets

0%

Anders...

Deltares is een onafhankelijk kennisinstituut voor toegepast onderzoek op het gebied van water en ondergrond. Wereldwijd werken we aan slimme oplossingen voor mens, milieu en maatschappij.

Deltares

www.deltares.nl