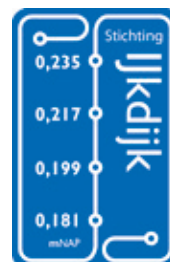


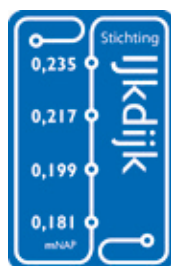
LiveDijk XL Noorderzijlvest

State of the Art 2015



LiveDijk XL Noorderzijlvest

State of the Art 2015



Een project van stichting FloodControl IJkdijk en Waterschap Noorderzijlvest in samenwerking met het Nederlandse bedrijfsleven en kennisinstellingen. Medegefinancierd door het ministerie van Economische Zaken en het ministerie van Infrastructuur en Milieu.

Auteurs: ir. Jan-Willem Nieuwenhuis, Waterschap Noorderzijlvest
ir. Martin van der Meer, Fugro
ir. Sander Bakkenist MBA, BZ Innovatiemanagement
ir. Yvette Pluijmers, Miramap
ir. Rina Clemens, Wittenveen+Bos
ing. Wouter Zomer MSc, FloodControl IJkdijk

Redactie: ir. Julius van Stokkum, BZ Innovatiemanagement

Review: dr. ir. Andre Koelewijn, Deltares

Vormgeving: mariëtte jongen vormgeving

Referentie: Nieuwenhuis, J.W., Meer, van der, M., Bakkenist, S., Pluijmers, Y., Clemens, R., Zomer, W. (2016). LiveDijk XL Noorderzijlvest: State of the Art 2015. Stichting FloodControl IJkdijk

Trefwoorden:

Livedijken, LiveDijk XL monitoring, sensoren, dijkversterking, Lauwersmeerdijk, Ommelanderveedijk, DDSC, FloodControl IJkdijk, Noorderzijlvest

© 2016 FloodControl IJkdijk

LiveDijk XL Noorderzijlvest

State of the Art 2015

Auteurs

ir. Jan-Willem Nieuwenhuis *Waterschap Noorderzijlvest*

ir. Martin van der Meer *Fugro*

ir. Sander Bakkenist *MBA BZ Innovatiemanagement*

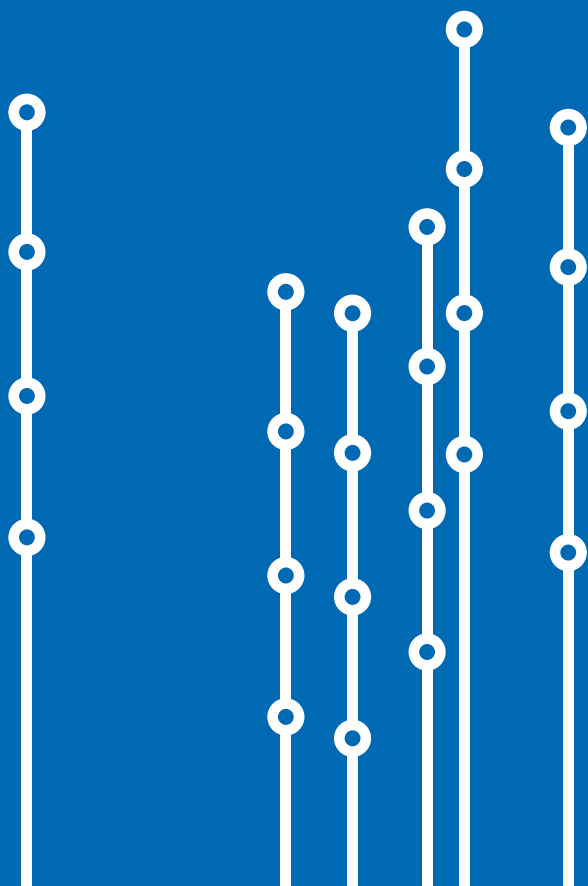
ir. Yvette Pluijmers *Miramap*

ir. Rina Clemens *Wittenveen+Bos*

ing. Wouter Zomer *MSc FloodControl IJkdijk*

september 2016





Voorwoord

We schrijven het jaar 2010: het jaar waarin Waterschap Noorderzijlvest de resultaten van de derde toetsing op veiligheid van primaire keringen afrondt en in het algemeen bestuur bespreekt. Er bleek ruim 20 km van de primaire keringen langs de Waddenkust niet aan de veiligheidsnorm te voldoen. Het waterschap was actiebereid en wilde niet afwachten totdat middelen voor versterking beschikbaar kwamen.

IJkdijk had in die tijd net de grote bezwijkexperimenten naar de faalmechanismen marcostabiliteit en piping uitgevoerd en monitoringssystemen op hun technische toepassing voor deze mechanismen gevalideerd. FloodControl 2015 leverde net een tool op waarmee dijkmonitoringsprojecten konden worden begroot.

Noorderzijlvest verzocht stichting IJkdijk om een verkenning uit te voeren naar de mogelijkheden om door toepassing van sensortechnologie en meetsystemen drie doelen te verwezenlijken. Ten eerste het bewaken van de veiligheid (early warning) van de dijken in de perioden tot verbeteren en tijdens en na de verbeterwerken. Ten tweede, het leveren van aanvullende informatie over de opbouw van bodem en dijk ten behoeve van voorziene verbeterwerken. En het derde doel betrof het monitoren van dijkvakken voor en na verbeterwerken met het oog op het optimaliseren van de levenscyclus.

De verkenning die werd uitgevoerd pakte positief uit en zo was de LiveDijk XL Noorderzijlvest geboren.

Een beeldbepalend project in Noord-Nederland, het grootste innovatieve project in Nederland gericht op dijkmonitoring, gekoppeld aan *hightech* ICT-ontwikkelingen in het Noorden en dat plaatsvond op een in beheer zijnde dijk. Kortom, een unicum. De LiveDijk XL trok in de afgelopen jaren bezoekers uit heel Nederland, Europa en zelfs daarbuiten.

Door de gefaseerde aanpak werd stapsgewijs gewerkt aan toepassing van state of the art van monitoringstechnieken, meetsystemen, dijkconditioneringssystemen, ICT én kennis.

De behaalde resultaten mogen er zijn. Allereerst blijkt de dijk na onderzoek anders te reageren op faalmechanismen dan in de toetsing op veiligheid is geconcludeerd. Daarnaast wordt de verzamelde data, informatie en kennis gebruikt om het versterkingsontwerp van de dijk vorm te geven. Ook komt er een vervolg op de LiveDijk XL. We hebben gezien dat dijkmonitoring de moeite waard is. Het levert efficiency op, zowel in besteding en planning van werkzaamheden als in het zicht op de waterveiligheid. De grootste uitdaging lijkt nu te liggen in de stap naar verdere landelijke uitrol van de ontwikkelde kennis in LiveDijk projecten. Voor het kunnen terugverdienen van investeringen moet toepassing in de praktijk worden gerealiseerd. Toepassing in primaire processen van de waterkeringbeheerders. Noorderzijlvest maakt met het vervolg van de LiveDijk XL hier een begin mee.

Wij dagen u uit om met de door ons ontwikkelde kennis aan de slag te gaan in uw praktijk zodat ook u van de voordelen profiteert! *Begint* eer ge bezint met betrekking tot het inwinnen van data en informatie! Data, informatie en kennis verdienen zich terug!

E.J. Luitjens

*Portefeuillehouder Waterveiligheid
Waterschap Noorderzijlvest*

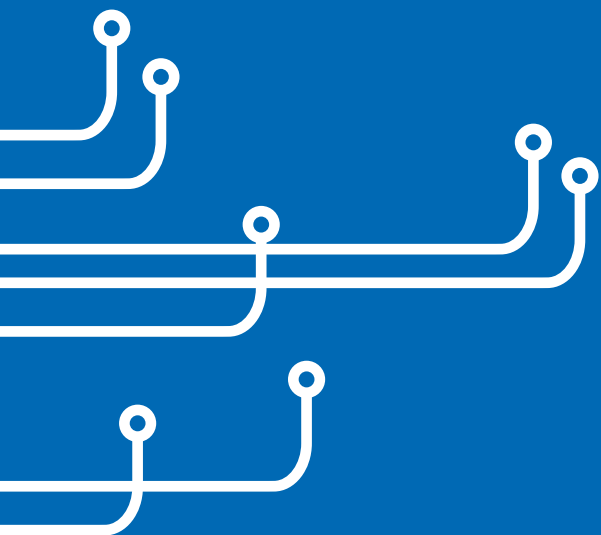
H.H.G. Dijk

*Waarnemend voorzitter
FloodControl IJkdijk*

Inhoudsopgave

Voorwoord	5
Samenvatting	9
1 Inleiding	11
1.1 Achtergrond	11
1.2 Projectdoelen en doel SotA 2015	12
1.3 Rolverdeling betrokken partijen/colofon	12
1.4 Beheergebied Waterschap Noorderzijlvest	14
1.5 Overzicht inspanningen in de tijd	14
1.6 Leeswijzer	15
2 Ommelanderveedijk	17
2.1 Toetsresultaten Ommelanderveedijk	17
2.2 Gefaseerde aanpak	18
2.3 Toegepaste sensoren	19
2.4 Infiltratieproef XL	23
2.5 Pilot keileem	28
2.6 Totaalbeeld dijktraject Ommelanderveedijk	29
2.7 Bijdrage aan doelen Waterschap Noorderzijlvest	30
3 Lauwersmeerdijk	33
3.1 Toetsresultaten Lauwersmeerdijk	33
3.2 Vierhuizergat: aanpak risicovolle situatie	33
3.3 Gefaseerde aanpak	35
3.4 Installatie monitoringsysteem waterspanningsmeters	37
3.5 Beoordeling monitoringreeks	40
3.6 Asfaltonderzoek	41
3.7 Totaalbeeld dijktraject Lauwersmeerdijk	45
3.8 Bijdrage aan doelen Waterschap Noorderzijlvest	45
4 Dijk Data Service Centrum	47
4.1 Ontwikkeling en toepassing DDSC	47
4.2 Usecase LiveDijk XL	48
4.3 Verbeteringen en ontwikkelingen	51
4.4 Exploitatieplan	53
4.5 Conclusies en Lessons learned	53
5 Conclusies en aanbevelingen	55
5.1 Behaalde doelen	55
5.2 Conclusie: begint eer ge bezint	56

6	Reflectie LiveDijk XL	59
6.1	Inleiding	59
6.2	Projectaanpak en consortiumvorming	59
6.3	Planvorming	60
	6.3.1 Lauwersmeerdijk	60
	6.3.2 Ommelanderzeedijk	60
6.4	Procesevaluatie samenwerkingsvorm en contracten	61
6.5	Conclusies en aanbevelingen	61
7	Toekomstvisie	63
7.1	Toekomstvisie in 2005	63
7.2	Toekomstvisie 2016	63
	Bronnen en onderliggende documenten	65
	BIJLAGE	
1a	OMMELANDERZEEDIJK - OVERZICHTSBLAD	69
1b	LAUWERSMEERDIJK - OVERZICHTSBLAD	71



Samenvatting

Waterschap Noorderzijlvest heeft tijdens de derde toetsingsronde in 2010, 22 km van hun dijken langs de Waddenzeekust afgekeurd. Het was de voor het Waterschap aanleiding om in samenwerking met Stichting IJkdijk te starten met monitoring. Het project LiveDijk XL Noorderzijlvest is een meerjarig monitoringproject, gericht op twee trajecten van de primaire keringen: de Ommelanderzeedijk (OZD) en de Lauwersmeerdijk (LMD). In deze 'State of the Art 2015' zijn de resultaten en bevindingen van het project gerapporteerd.

Naar aanleiding van het vaststellen van de toetsresultaten is onderzoek uitgevoerd naar de mogelijkheden voor de inzet van sensoren en/of vlakdekkende herhalingsmetingen. Dit heeft geleid tot een afgewogen monitoringplan. Aan dit plan is voor beide trajecten een invulling gegeven door twee consortia van partijen (één per traject), elk bestaande uit meetpartijen voor het inbrengen van sensor- en meettechnieken en adviesbureaus voor het inbrengen van dijkenn kennis en datamanagement.

Bij de Ommelanderzeedijk is op twee trajecten het Dike Monitoring Conditioning (DMC) systeem toegepast, waarmee grondwater uit- en in de dijk kan worden gepompt. Daarnaast zijn waterspanningsmeters en peilbuizen geplaatst, waarmee de grondwaterstand in de dijk continue wordt gemeten. Ook zijn infraroodmetingen uitgevoerd waarmee kwel door de dijk kon worden gedetecteerd en er zijn grootschalige infiltratieproeven uitgevoerd.

Door deze monitoring kon meer inzicht worden verkregen in de actuele veiligheid van de dijk. Daarnaast werd er gedurende een lange periode informatie verzameld over de grondwaterstand in de dijk, ook bij extreme omstandigheden. Verder is gebleken dat door een scherpere bepaling van de grondwaterstand de versterkingsopgave kan worden verminderd door de gunstige invloed van de lagere grondwaterstand op de stabiliteitsfactor. Daarnaast zal het systeem worden benut om de dijkvakken ná eventuele verbeterwerken in de gaten te kunnen houden. Het systeem wordt ook ingezet voor het bewaken van de veiligheid van de afgekeurde dijken tot deze zijn verbeterd.

Bij de Lauwersmeerdijk bleek uit een verschilanalyse van RWS lodingen tussen 2011 en 2012 dat de tegen de dijk aangelegen ebgeul ter plaatse van het Vierhuizergat lokaal verdiept was waardoor een extreem risicovolle situatie was ontstaan. Noorderzijlvest besloot tot acuut ingrijpen. Allereerst zijn ter plaatse van Vierhuizergat gevoelige tiltsensoren geplaatst die vervormingen van de waterkering realtime registeren. Later is besloten de geul lokaal te verontdiepen en het oorspronkelijke talud te verflauwen en af te dekken met staalslakken. Aan weerszijden en halverwege deze maatregel is een monitoringsysteem met waterspanningsmeters geïnstalleerd voor het vaststellen van eventuele veranderingen in doorlatendheid. Aanvullend is in twee fases innovatief vlakdekkend asfaltonderzoek gedaan ten behoeve van het faalmechanisme asfaltbekleding.

De monitoring met bewegingssensoren hebben unieke gegevens over de bewegingen van de dijk opgeleverd. De aanwezigheid van de sensoren bood een veilig gevoel ten tijde van de dijkversterking.

Uit de meetgegevens van de waterspanningsmeters is af te leiden dat ter plaatse van de grootste uitbouw van het onderwatertalud het gedrag op de getij/waterstandsbeweging de meeste demping vertoont. In hoeverre dit te wijten is aan de staalslakken is niet eenduidig te bepalen omdat er voorafgaand aan de ingreep bij het Vierhuizergat geen metingen zijn verricht met waterspanningsmeters. Met het innovatieve asfaltonderzoek is inzicht verkregen in de staat van het asfalt, de locatie van kwalitatief zwakke plekken, alsmede de mate van achteruitgang van de asfaltbekleding. Deze informatie wordt gebruikt bij het beoordelen van de kwaliteit en het vormgeven van een beheer- en onderhoudsplan.

Bij het project LiveDijk XL Noorderzijlvest is de eerste operationele versie van het DDSC benut. Het DDSC is een portal voor waterkeringbeheerders om monitoringsinformatie beheersbaar te verzamelen, op te slaan en beschikbaar te maken voor verdere verwerking. Voor de usecase LiveDijk XL is na de installatie van de sensoren gestart met het ontsluiten van de data in het DDSC. Het operationeel gebruik van het DDSC heeft tijdens de uitvoering van het project vorm gekregen en is benut bij de verschillende deelfasen van het project. Naar aanleiding van een periode van eerste gebruik zijn een aantal ontwikkelingen en verbeterpunten doorgevoerd. De onderdelen *Visualisatie*, *Aquathon* en *Exploitatieplan* zijn binnen het project gerealiseerd.

0,181
mNAP

0,235 0,199

0,35
0,235 0,217 0,181
0,17 mNAP

0,217 0,199

0,199 0,181
81 mNAP

NAP
0,181
mNAP

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

Stichting FloodControl IJkdijk werkt aan de ontwikkeling van kennis en technologieën om beter, sneller en kosten-besparend de veiligheidsnormen van (Nederlandse) waterkeringen te behalen en te bewaken: 'Safety as a service' is het principe dat hierbij kan worden gehanteerd. Door FloodControl IJkdijk worden projecten gerealiseerd en ontwikkelingen gestart die bijdragen aan betrouwbare, beschikbare en complete waterveiligheidsinformatie. Onderdeel hiervan is de afronding van het Tweede IJkdijk Ontwikkelprogramma. Dat programma bestaat uit vier onderdelen:

1. Validatie-experimenten

Hierin wordt de toepasbaarheid van monitoringssystemen op waterkeringen onderzocht, inclusief integratie-, analyse- en visualisatiemethoden.

2. LiveDijk projecten

Toepassen van gevalideerde meetsystemen in echte in beheer zijnde dijken in de beheerpraktijk van dijkbeheerders.

3. LiveDijk XL

Opschaling van LiveDijk projecten waarin naar tientallen kilometers dijk worden gemonitord.

4. Dijk Data Service Centrum

Platform voor de opslag en analyse van meetdata van dijken en waterkeringen in een landelijke database. Het gaat zowel om de opslag van real-time als van historische meetdata.

Stichting IJkdijk heeft in 2008, 2009, 2012 en 2014 verschillende validatie-experimenten uitgevoerd in bezwijkproeven. Deze validatie-experimenten waren gericht op het toetsen van de toepasbaarheid van meet- en monitorings-technieken in dijken die gevoelig waren voor de faalmechanismen macro-instabiliteit [Weijers, Elbersen, Koelewijn & Pals, 2009], piping [Koelewijn, Pals, Sas & Zomer, 2010], microstabiliteit [de Vries, ter Brake, Langius, van Lottum, Koelewijn & Zomer, 2013] en zettingsvloeiing [van den Ham, Mastbergen, Koelewijn, ter Brake & Zomer, 2015]. Daarnaast is de ingewonnen data gebruikt om meer kennis te ontwikkelen over dijksterkte en het optreden van faalmechanismen.

Geconcludeerd werd dat met behulp van monitoringstechnieken afschuiven van de dijk en ontwikkelingen in waterspanningen in en onder de dijk en talud konden worden gemonitord en daarmee de faalmechanismen real-time te volgen waren. In 2012 werd aangetoond dat het faalmechanisme waarop een dijk bezwijkt, piping, macro-instabiliteit, micro-instabiliteit of erosie als gevolg van overlopen, bovendien te voorspellen is door toepassing van monitoringssystemen [de Vries, ter Brake, Langius, van Lottum, Koelewijn & Zomer, 2013] gecombineerd met data-analysesystemen. Beproefde monitoringssystemen werden en worden in de praktijk toegepast in de Livedijken Eemshaven, Utrecht, De Veenderij, Noorderzijlvest, Ameland en Willemspolder. Data van deze monitoringssystemen wordt op een uniforme manier opgeslagen in het Dijk Data Service Centrum. Deze ontwikkelingen leiden naar verwachting tot internationaal vermarktbare dijkmonitoringssystemen ("smart levees") en tot verbetering en vernieuwing van het Nederlandse dijkbeheer. Het ontwikkelprogramma wordt dan ook gesteund door zowel het Ministerie van Economische Zaken als het Ministerie van Infrastructuur en Milieu en tevens de waterschappen, Rijkswaterstaat, kennisinstellingen en het bedrijfsleven.

Waterschap Noorderzijlvest heeft tijdens de derde toetsingsronde in 2010, 22 km van hun dijken langs de Waddenzeekust afgekeurd. De dijken zijn op diverse plaatsen afgekeurd op macrostabiliteit, zettingsvloeiing, piping, gras- of asfaltbekleding. Gelet op de vorige toetsing ging het hierbij om theoretische tekortkomingen die het gevolg waren van aangepaste berekeningsnormen en niet om een verandering in de situatie buiten. Op basis van de uitkomsten van de laatste toetsing was er weliswaar nog geen sprake van een gevaarlijke situatie, maar was het wel van belang dat de dijk voldeed aan huidige en toekomstige normen. Vóór de volgende toetsingsronde diende de dijk te zijn verbeterd. Daarom zijn er diverse verbeteringen gepland.

Dit was voor het Waterschap aanleiding om in samenwerking met Stichting IJkdijk te starten met monitoring. De financiering van het project is gerealiseerd door het ministerie van Infrastructuur en Milieu, Waterschap Noorderzijlvest en eigen investeringsbijdragen van het bedrijfsleven en kennisinstellingen.

1.2 Projectdoelen en doel SotA 2015

Het project LiveDijk XL Noorderzijlvest is een meerjarig monitoringproject, gericht op twee trajecten van de primaire keringen in beheer bij waterschap Noorderzijlvest: de Ommelanderveedijk (OZD) en de Lauwersmeerdijk (LMD). Doel van de monitoring is het volgen van het gedrag van de dijk in de tijd, en daarmee het vergroten van het inzicht in de werkelijke veiligheid. In deze 'State of the Art 2015' zijn de resultaten en bevindingen van het project gerapporteerd.

Naar aanleiding van het vaststellen van de toetsresultaten heeft het waterschap samen met de Stichting IJkdijk in 2011 (thans FloodControl IJkdijk) een onderzoek uitgevoerd naar de mogelijkheden voor de inzet van sensoren en/of vlakdekkende herhalingsmetingen in de afgekeurde strekkingen van de Ommelanderveedijk en de Lauwersmeerdijk. Dit heeft geleid tot een monitoringplan waarin de monitoring volgens een afgewogen scenario wordt ingezet (Deltares, juni 2012). Daarbij zijn drie afzonderlijke meetdoelen vastgesteld:

1. Bewaken van de veiligheid van de afgekeurde dijken tot deze zijn verbeterd;
2. Leveren aanvullende informatie t.b.v. de verbeterwerken;
3. Het monitoren van de dijkvakken voor, tijdens en na de verbeterwerken.

Op basis van dit plan is voor beide trajecten hieraan een invulling gegeven door twee consortia van partijen (één per traject), elk bestaande uit meetpartijen voor het inbrengen van sensor- en meettechnieken en adviesbureaus voor het inbrengen van dijkenkennis en datamanagement. Hiermee is ook invulling gegeven aan drie onderliggende ontwikkeldoelen van Stichting FloodControl IJkdijk:

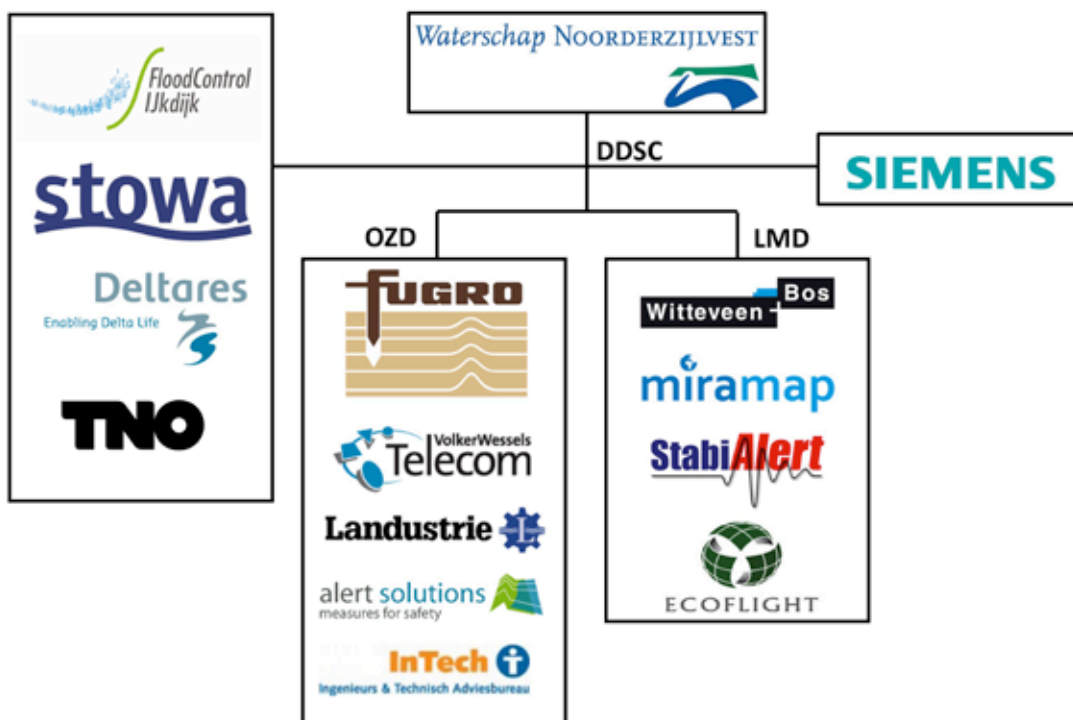
1. Na technische validatie het valideren van innovatieve monitoringstechnieken in praktijksituaties;
2. Combineren van verschillende monitoring technieken in een geïntegreerde aanpak;
3. Opdoen van eerste gebruikservaringen met het DDSC.

Inmiddels is er ruim 3 jaar lang ervaring opgedaan met het verzamelen en benutten van de meet- en monitoringgegevens. Dit heeft al veel waardevolle data, informatie en inzichten opgeleverd voor het waterschap, kennisinstellingen en het betrokken bedrijfsleven. De monitoring wordt ook de komende jaren nog verder doorgezet.

1.3 Rolverdeling betrokken partijen/colofon

In deze paragraaf worden alle direct betrokken partijen kort genoemd, met hun inbreng en indien van toepassing het consortium waarvan zij deel uitmaken (OZD of LMD).

Waterschap Noorderzijlvest	:	Beheerder Ommelanderveedijk en Lauwersmeerdijk
	:	Contractpartner Stichting FloodControl IJkdijk
Stichting FloodControl IJkdijk	:	Contractpartner Noorderzijlvest
	:	Projectleider, coördinator binnen Tweede IJkdijk-ontwikkelprogramma, opdrachtgever voor uitvoerende consortia.
STOWA	:	Begeleiding consortium, kennis delen binnen en buiten project, sparringpartner waterschap Noorderzijlvest
Deltares	:	Vorbereiding, kwaliteitsborging, DAM-live!
Siemens	:	Overkoepelend advies datamanagement
TNO	:	Overkoepelend advies datamanagement
Fugro GeoServices BV	:	OZD Dijkenkennis, datamanagement, installeren sensoren
InTech	:	OZD IR camera
VolkerWessels Telecom	:	OZD DMC
Landustrie	:	OZD DMC
Alert Solutions	:	OZD GeoBeads
Witteveen+Bos	:	LMD Dijkenkennis en datamanagement
Miramap	:	LMD MIRA metingen asfalt
StabiAlert	:	LMD Gevoelige tiltsensor (later toegevoegd)
Ecoflight	:	LMD Remote sensing opnamen



Figuur 1.1 Overzicht van betrokken partijen

1.4 Beheergebied Waterschap Noorderzijlvest

De Ommelanderzeedijk en de Lauwersmeerdijk worden sinds 2012 over een lengte van 14 km real-time gemeten met een sensor-monitoringssysteem. Deze zogeheten 'LiveDijk' is nu de grootste zeedijk van Nederland met sensoren, vandaar de naam LiveDijk XL. De eerste fase van dit project tot nu toe heeft, dankzij de meetsystemen en het Dijk Monitoring- en Conditioneringssysteem (DMC), al veel nieuwe inzichten opgeleverd. Het DMC-systeem is een slim drainagesysteem, dat door het aanzetten van pompen de waterstand in de dijk kan reguleren.



Figuur 1.2 Overzichtskaart beheergebied Noorderzijlvest met trajecten LMD en OZD

Na de start van het project is de aardbevingsproblematiek een grotere rol gaan spelen in de beoordeling van dijkveiligheid, met name voor het traject OZD. Dit heeft overigens vrijwel geen consequenties gehad voor de opzet van het project zelf. Het gebruik van de verkregen informatie en inzichten wordt wel anders, maar dit valt buiten deze SotA 2015.

1.5 Overzicht inspanningen in de tijd

Tabel 1.1 geeft een overzicht van de diverse LiveDijk XL inspanningen in de tijd, verdeeld over de deelprojecten Ommelanderzeedijk (OZD) en Lauwersmeerdijk (LMD), met in de laatste kolom de gebruikservaringen met het in deze periode gelijktijdig ontwikkelde DDSC.

Tabel 1.1 Overzicht project LiveDijk XL OZD & LMD m.b.v. DDSC

Datum	Algemeen	OZD	LMD	DDSC
oktober 2011	Startbijeenkomst LiveDijk XL	Start consortiumvorming	Start consortiumvorming	
juni 2012	Monitoringplan LiveDijk XL	Informatiebehoefte Ommelanderzeedijk gedefinieerd	Informatiebehoefte Lauwersmeerdijk gedefinieerd	
augustus 2012	Bezwijkproeven AIO SVT Bellingwolde			Gunning aan Fugro en N&S (fase 1)
september/ oktober 2012		Opdracht en installatie DMC	inzet SA sensor bij Vierhuizergat	Vanaf 19 maart 2013 datadoorgifte
13 februari 2013		Opdracht consortium OZD (fase 1)		
6 maart 2013			Opdracht consortium LMD (fase 1)	
april/mei 2013		26 wsm en 2 pb, dp 29-9, 30-1, 31-5, 34-0, 35-5, 37-0		Vanaf 8 juni 2013 datadoorgifte
1 april 2013		IR nulmeting gehele traject		Als jpg's doorgegeven
3 mei 2013		EM + GPR meting bij DMC traject		
2 juli 2013			Aanpassing opdracht fase 1 ivm problematiek Vierhuizergat	
2 september 2013			12 wsm	Vanaf 6 september 2013 datadoorgifte
4 september 2013			MIRA nulmeting km 85-86 + 8 asfaltkernboringen	Als jpg's doorgegeven
Dec 2013				Architectuur revisie Siemens
6 december 2013	Sinterklaasstorm NAP +4,82m	Effect oude kleidijk aangetoond		Real-time controle

Datum	Algemeen	OZD	LMD	DDSC
15 april 2014		IR herhalingsmeting gehele traject		Als jpg's doorgegeven
15 augustus 2014		IR herhalingsmeting gehele traject		Als jpg's doorgegeven
september 2014		4 wsm in kruin, dp 31-5, 33-4, 35-5, 37-0	1e herhalingsmeting km 85-86	Vanaf september datadoorgifte
september 2014		Infiltratieproef XL berm buitentalud, dp 30-1	Gebiedsdekkende meting km 82,2-89,2 72 asfaltkernboringen	Als geotiffs doorgegeven
22 oktober 2014		IR herhalingsmeting gehele traject		Als jpgs doorgegeven
Dec 2014				Quick-scan robuust maken
23 maart 2015		9 wsm (3x3), dp 28-0, 28-5, 38-0		Vanaf 1 juni datadoorgifte
april/mei 2015		DMC infiltratieproef, IR, 2 pb (tijdelijk), dp 30-1		Real-time en 24/7 controle t.b.v. aansturing proef
april/juni 2015		Pilot keileem, 2 pb (tijdelijk), dp 34-0		
juni 2015		Ingegraven berm infiltratieproef XL, dp 30-1		
september 2015			2e herhalingsmeting km 85-86 + 8 kernboringen	
September 2015				Start visualisatie LiveDijk XL project
Jan 2016				Start exploitatiefase; externe contracting B&O
Mei 2016				Oplevering visualisatie project

1.6 Leeswijzer

Het voorliggende rapport bestaat na deze introductie verder nog uit zes hoofdstukken. Er zijn twee inhoudelijke hoofdstukken die elk een beschrijving geven van een van de twee deelprojecten. In hoofdstuk 2 wordt ingegaan op de monitoring van de Ommelanderveedijk. De toegepaste sensoren en het monitorings- en conditioneringssysteem komen aan bod in paragraaf 2.3. In paragraaf 2.4 wordt uitgebreid ingegaan op de uitgevoerde infiltratieproef XL. Het hoofdstuk sluit af met een totaaloverzicht en beschrijving van de bijdrage aan de doelen van waterschap Noorderzijlvest. In hoofdstuk 3 staat de Lauwersmeerdijk centraal. Allereerst wordt ingegaan op de aanpak van de situatie bij Vierhuizergat. In paragrafen 3.4 en 3.5 wordt de monitoring van deze locatie met waterspanningsmeters verder toegelicht. In paragraaf 3.6 wordt uitgebreid ingegaan op het uitgevoerde asfaltonderzoek. Ook dit hoofdstuk sluit af met een totaalbeeld en beschrijving van de bijdrage aan de doelen van het waterschap.

In hoofdstuk 4 wordt aandacht besteed aan het gelijktijdig met dit project ontwikkelde DDSC. In paragraaf 4.2 wordt toegelicht hoe het project LiveDijk XL als usecase is gebruikt. Vervolgens wordt ingegaan op de gerealiseerde ontwikkelingen en verbeteringen. Hoofdstuk 4 wordt afgesloten met conclusies en Lessons learned. Hoofdstuk 5 bevat vervolgens de algemene conclusies en aanbevelingen van het gehele project. Hoofdstuk 6 bestaat uit een reflectie waarbij achtereenvolgens wordt ingegaan op de projectaanpak, de planvorming en de samenwerkingsvorm. Dit rapport eindigt met een toekomstvisie in hoofdstuk 7.

Tijdens de derde toetsronde is geen rekening gehouden met de aanwezigheid van de oude kleidijk. Bij de start van het monitoringsproject is historisch kaartmateriaal verzameld van de laatste dijkversterking van de Ommelanderzeedijk, die in 1965 en 1972 in twee fasen is uitgevoerd. Hieruit bleek dat er een oude kleidijk aanwezig is. Deze oude kleidijk heeft op zich geen stabiliserende functie voor de binnenwaartse stabiliteit van de dijk. Echter, doordat klei over het algemeen ondoorlatend is, zou hiermee infiltratie van buitenwater worden voorkomen, wat gunstig is voor de stabiliteit van de dijk.

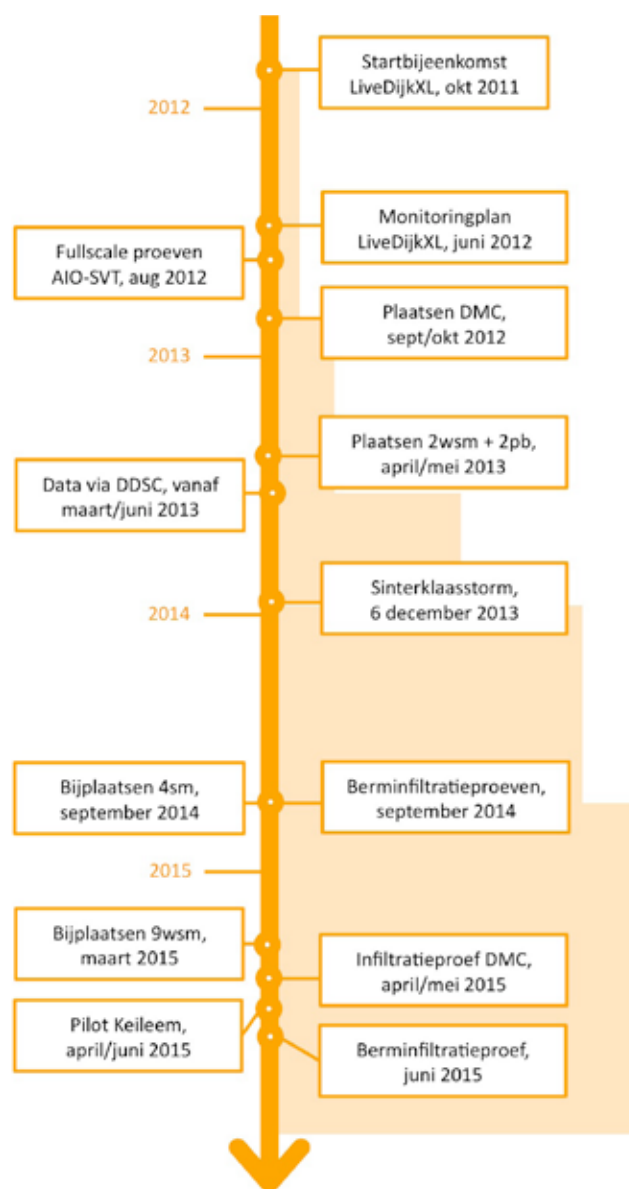
Onbekend was in hoeverre de oude kleidijk infiltratie van buitenwater voorkomt en hoe ondoorlatend de kleideklaag aan de buitenzijde van de dijk zou zijn. Om de onzekerheid hierin te verkleinen is een uitgebreid monitoringssysteem opgezet en zijn verschillende proeven uitgevoerd. Tijdens het project is er een Dike Monitoring Conditioning (DMC) systeem geplaatst, waarmee grondwater uit- en in de dijk kan worden gepompt. Daarnaast zijn waterspanningsmeters en peilbuizen geplaatst, waarmee de grondwaterstand in de dijk continue wordt gemeten. Ook zijn infraroodmetingen uitgevoerd waarmee kwel door de dijk kon worden gedetecteerd en zijn er infiltratieproeven uitgevoerd.

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

2.2 Gefaseerde aanpak

Aan het begin van het project is een gefaseerde aanpak voorzien. Hierin is voorzien omdat verwacht werd dat gedurende het project de kennis over de dijk zou toenemen, waardoor de monitoring gericht zou kunnen worden geplaatst. Dit was ook mogelijk omdat er relatief veel tijd beschikbaar was om te monitoren. Vaak wordt monitoring slechts gedurende een korte tijd geplaatst, bijvoorbeeld ten tijde van dijkversterkingsproject. Bovendien wordt alle monitoring meestal in één keer geplaatst, zonder aanpassingen op basis van de metingen. Door tijdens de beheerfase te monitoren kan gedurende lange tijd data worden verzameld, wat meer zekerheid geeft over de betrouwbaarheid van de data en de variatie in meetwaarden. Onderstaand zijn de verschillende fasen weergegeven.

- Fase 0 installeren DMC
- Fase 1 waterspanningsmeters (wsm's) en IR-metingen
- Fase 2 berminfiltratiebak en 4 extra wsm's plaatsen (kruin)



Figuur 2.3 Gefaseerde aanpak LiveDijk XL OZD

- Fase 2b DMC en ingegraven berminfiltratiebak, InTech metingen
- Fase 3 bijplaatsen wsm's op 3 nieuwe locaties i.v.m. dijkversterkingsproject
- Fase 4 eerste beknopte analyse van de resultaten
- Fase 5 visualisatie
- Fase 6 robuust maken Data-ICT omgeving en exploitatieplan

In figuur 2.3 is de gefaseerde aanpak in de tijd weergegeven. De gekleurde vlakken op de achtergrond geven een indicatie van de stapsgewijze kennisopbouw in de tijd.

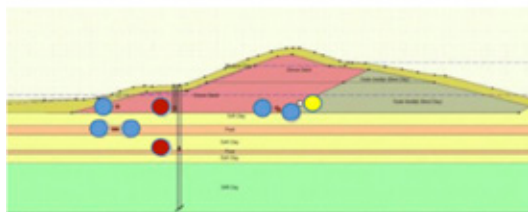
Gedurende het project is de aardbevingsproblematiek een steeds grotere rol gaan spelen. Door de grotere maatschappelijke aandacht en de ligging van de dijk werd meer en meer duidelijk dat aardbevingen een significante invloed kunnen hebben op de stabiliteit van de dijk. In 2014 is door waterschap Noorderzijlvest besloten om de dijk versneld te versterken, waarna gestart is met een vooronderzoek naar de invloed van aardbevingen. Bij dit onderzoek is de informatie die vergaard was gedurende het monitoringsproject van veel waarde gebleken, omdat de ligging van de freatische lijn één van de factoren is die van grote invloed is op de stabiliteit, ook bij aardbevingen.

2.3 Toegepaste sensoren

Met behulp van een sensor-monitoringssysteem worden sinds 2012 in de dijk real-time verschillende zaken gemeten. De waterspanningen met waterspanningsmeters en peilbuizen, de neerslag met neerslagmeters, de met het DMC uit de dijk gepompte hoeveelheid water met debietmeters en de aanwezigheid van kwelplekken ter plaatse van het binnentalud met thermische camera's. In figuur 2.4 is een aantal typen sensoren weergegeven. De positie in de dijk is daarbij schematisch aangeduid. Het DMC ligt in beginsel in de zandkern onder de kruin van de dijk. Omdat de dijk een bocht maakt, ligt het DMC op sommige locaties meer binnenwaarts en op andere locaties meer buitenwaarts, mogelijk zelfs in de oude kleidijk.

Momenteel bevinden zich de navolgende typen sensoren in de Ommelanderzeedijk:

- Waterspanningsmeter ●
- Regenmeters
- Peilbuizen ●
- Barometers
- Warmtedifferentiatie
- Dijk Monitoring en Conditioneringsysteem (DMC) ●



Figuur 2.4 In de Ommelanderzeedijk toegepaste sensoren (situatie per 1-1-2016)

Op het 12 km lange traject zijn de volgende aantallen sensoren en meettechnieken toegepast:

- 38 waterspanningsmeters en 7 peilbuizen;
- 2 trajecten DMC, beide ca. 100 m lang;
- 2 neerslagmeters;
- Op verschillende plaatsen vlakdekkende infraroodmetingen.

Waterspanningsmeters worden regelmatig gebruikt voor het meten van de grondwaterstand. Het verschil met het reguliere gebruik van de sensoren zit hem vooral in de duur van de metingen. Meestal is dit enkele weken tot maanden, in dit project is tot nu toe al over een periode van bijna 3 jaar gemeten. Daarnaast worden de resultaten van de metingen nog steeds doorgegeven naar het DDSC, zodat de waterkeringbeheerder op elk moment de veiligheid van de dijk kan bepalen.

Dijk Monitoring en Conditionering systeem

Het DMC-systeem is een 'intelligente' drainagebuis die ervoor zorgt dat de waterstand in de dijk gereguleerd kan worden door middel van het onttrekken van water. Het systeem is door middel van een horizontaal gestuurde boring aangebracht in het dijklichaam. In de buis zijn sensoren aanwezig die onder andere de waterspanning meten. Door het opgeven van bepaalde grenswaarden aan de waterspanning schakelt de pomp automatisch aan en uit als een grenswaarde wordt bereikt. Gedurende het project is gebleken dat de gemeten waterspanning in de DMC-buis een relatief goede indicatie is voor de waterstand in de dijk. Het systeem is daardoor geschikt om, binnen zekere marges, een bepaalde waterstand in de dijk automatisch te reguleren.

Remote sensing technieken

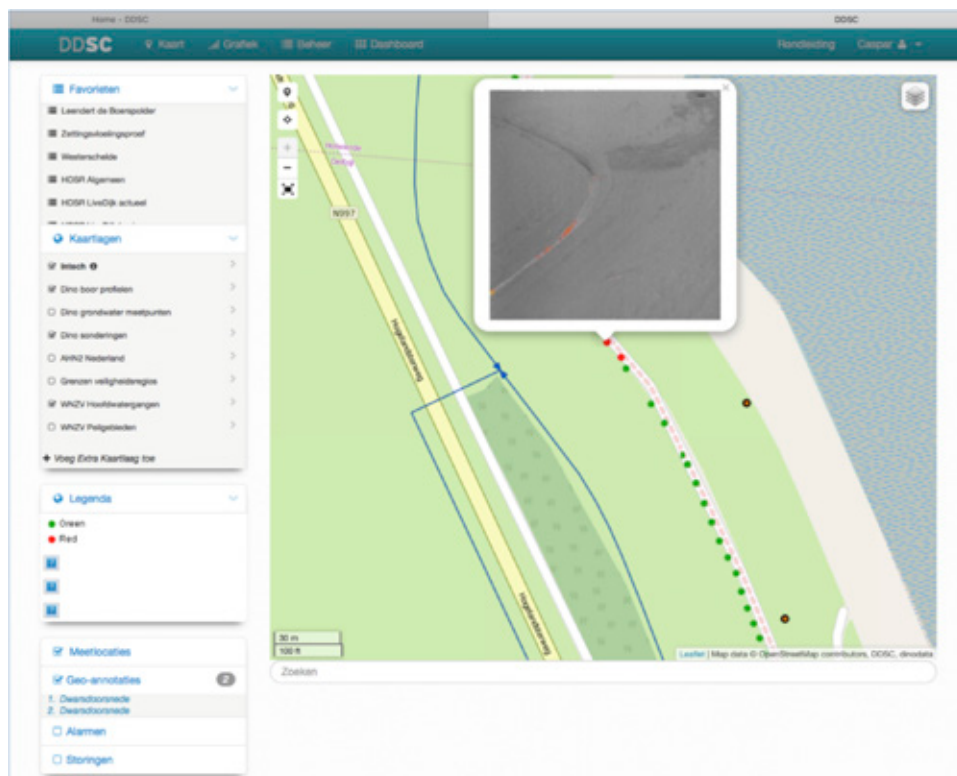
Door InTech zijn diverse remote sensing technieken ingezet om kwelstromen beter in kaart te brengen. Op 2 april 2013 is de eerste meetronde uitgevoerd met thermisch infrarood. Bij deze meting is geen overmatige kwel geconstateerd. Figuur 2.5 geeft een impressie van deze meting ter hoogte van het DMC systeem. Het rood gemarkeerde betreft de uitstroom van water van het DMC-systeem. In de eerste fase zijn totaal vier inspectieronden met IR uitgevoerd over de gehele lengte van 10 km (traject Delfzijl – Eemshaven). Hierbij is geen overmatige kwel of piping geconstateerd. Onderstaand plaatje geeft aan hoe overmatige kwel met deze IR technologie wordt gesignaleerd. Dit betreft echter de uitstroom van het DMC systeem. Ook bij de andere drie IR inspecties van fase 1 zijn geen zand-meevoerende wellen gedetecteerd. Figuur 2.6 toont hoe de beelden van deze opname zijn terug te vinden in het DDSC.



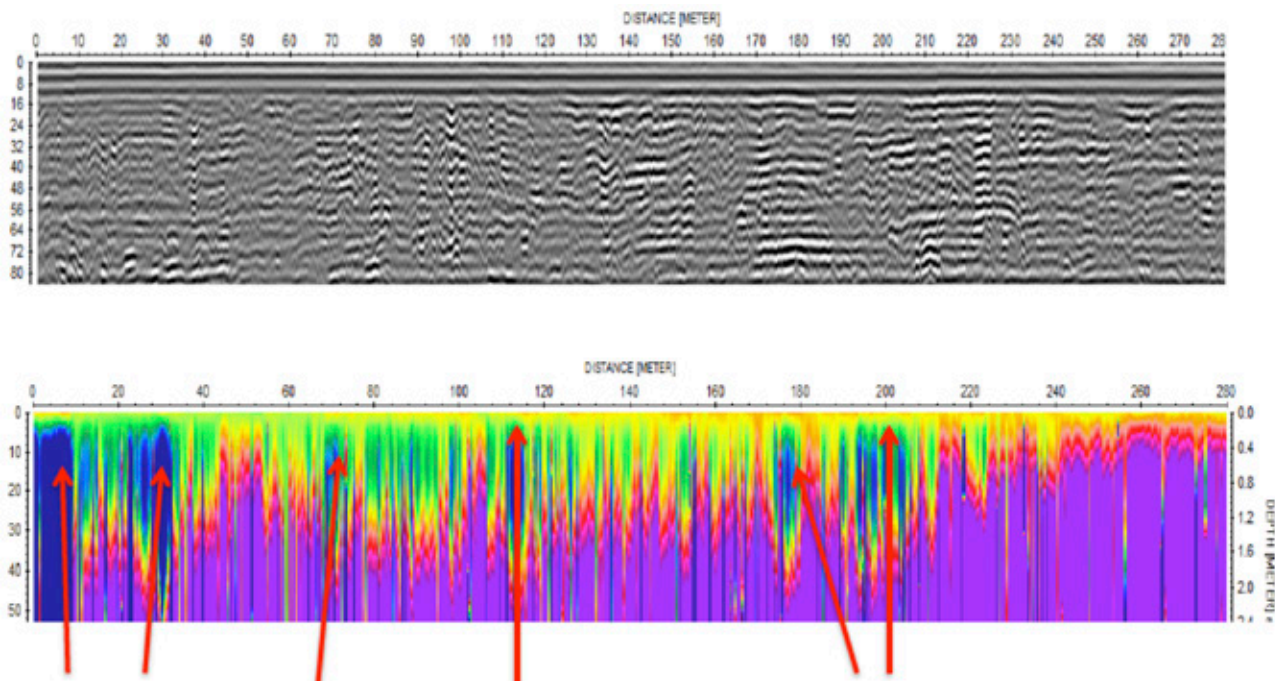
Figuur 2.5 Voorbeeld IR meting ter plaatse van DMC

Op 3 mei 2013 zijn ter hoogte van het DMC systeem aanvullende geofysische Ground Penetrating Radar (GPR) en Electro Magnetische (EM) metingen verricht. Figuur 2.7 geeft een impressie van de meetresultaten van GPR (boven) en EM (onder). Tijdens deze opname waren een aantal wellen (niet zandmeevoarend) in de teensloot waargenomen. Het diagram van de EM-meting komt overeen met de locaties waar de wellen zijn waargenomen.

Op 15 april, 15 augustus en 22 oktober 2014 zijn de overige metingen met IR uitgevoerd. De resultaten van deze metingen zijn geüpload naar het DDSC.



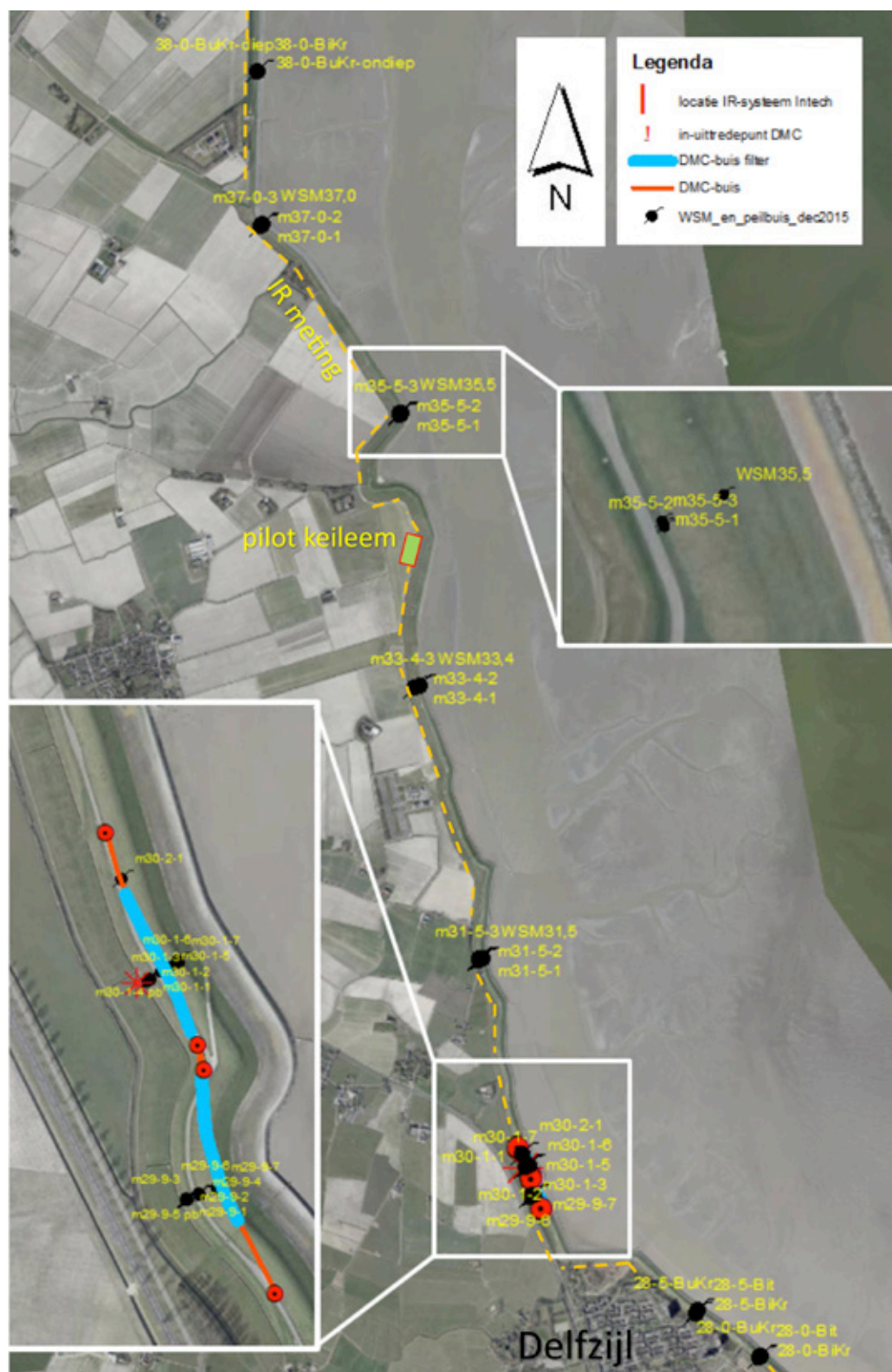
Figuur 2.6 Presentatie resultaat IR meting in het DDSC



Figuur 2.7 Resultaat geofysische metingen GPR (boven) en EM (onder), locatie DMC

Totaaloverzicht toegepaste sensoren

Figuur 2.8 geeft een totaaloverzicht over het traject Ommelanderzeedijk, met daarin de locaties van de verschillende monitoringssystemen weergegeven.



Figuur 2.8 Overzichtskaart locaties monitoring

Mate van vertrouwen in de sensoren

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

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

Op basis van deze 3 testen is een score opgesteld voor de mate van vertrouwen in het meetpunt. Hieruit bleek dat niet alle sensoren gedurende het project naar behoren functioneren:

17 sensoren zijn als goed beoordeeld

9 sensoren zijn als voldoende beoordeeld

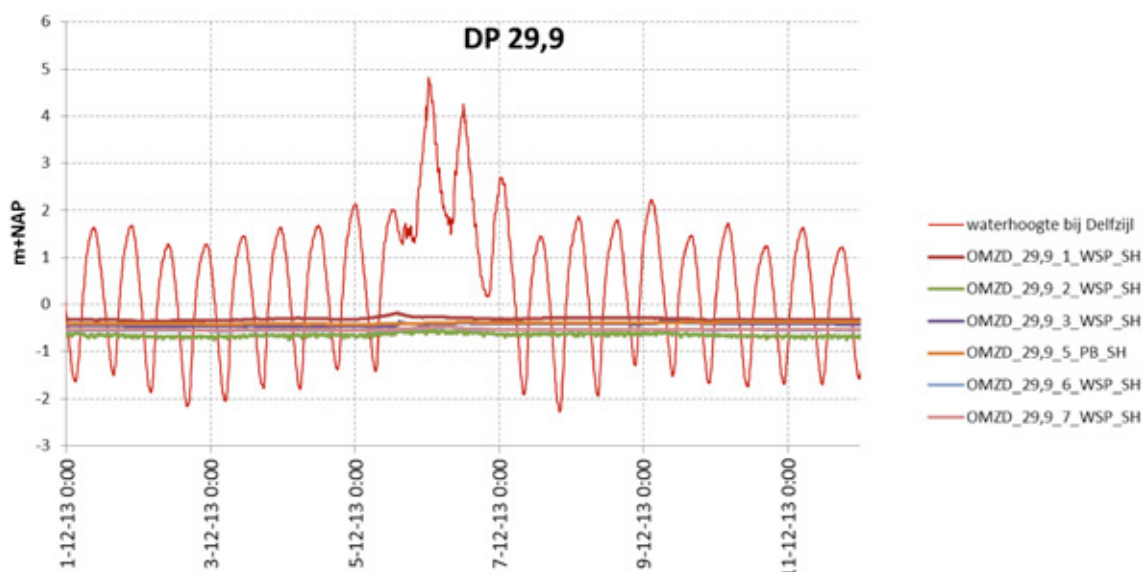
14 sensoren zijn als onvoldoende beoordeeld

Van de waterspanningsmeters die onvoldoende functioneren (op basis van de consistentietest) is een relatief groot aantal in veenlagen geplaatst. Van waterspanningsmeters die in veenlagen zijn geplaatst is bekend dat ze te maken kunnen krijgen met veengassen, waardoor sprake is van onjuiste drukopbouw in de sensoren. Dit was ook te zien in de meetwaarden van een aantal sensoren, deze liep soms op tot onrealistisch hoge waarden (tot boven de kruinhoogte). Ook waren scherpe dalingen in de waterspanning te zien, die het gevolg zijn van het ontsnappen van het veengas uit de sensor. Er zijn echter ook sensoren in zand geplaatst waar niet-verklaarbare meetwaarden zichtbaar zijn. Zie onderliggend rapport [OZD 2014] voor meer detailinformatie. Daarnaast was van een aantal sensoren geen lab- of sitetest beschikbaar. Deze sensoren zijn beoordeeld als 'voldoende' omdat er geen onverklaarbare resultaten te zien waren in de geproduceerde meetwaarden. De beschikbaarheid van een lab- en sitetest is echter van belang omdat een dergelijke test het functioneren van de sensor kan bevestigen.

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

2.4 Infiltratieproef XL

Uit historische tekeningen, bestekstekeningen en foto's van de dijkversterking in 1965 en 1972 en ook uit grondonderzoek blijkt dat een oude kleidijk aanwezig is aan de zeezijde van de dijk. De Sinterklaasstorm op 5 en 6 december 2013 heeft dit ook aangetoond: geen van de waterspanningssensoren liet een van andere neerslagsituaties afwijkende respons zien op de hoge buitenwaterstand van NAP +4,82 m, zie figuur 2.9.



Figuur 2.9 Resultaten waterspanningsmeters DP 29,9 tijdens Sinterklaasstorm 2013

De vraag is echter of dit ook zo is bij waterstanden die hoger zijn dan de oude kleidijk, die tot een niveau van ca. NAP +4,8 m aanwezig is (MHW= NAP +5,5m). Mogelijk kan er dan infiltratie optreden door de kleideklaag van de dijk, die een dikte heeft van ca. 1 m.

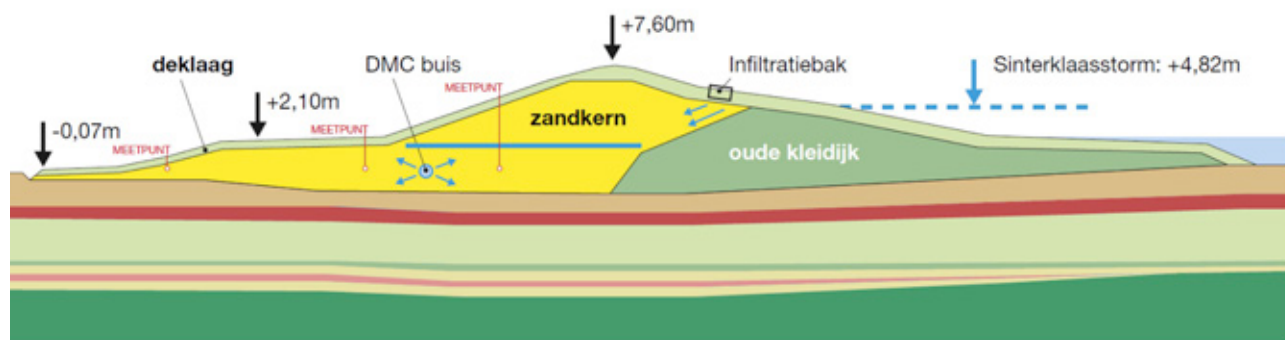
Ook is gebleken dat microstabiliteit van de kleideklaag aan de binnentoe van de dijk mogelijk een probleem kan vormen. Als er een significante hoeveelheid water in de dijk infiltreert bij zeer hoge buitenwaterstanden kan de dijk mogelijk vol water komen te staan, omdat de zanddijk is opgesloten door een ondoorlatende kleideklaag. Als deze kleideklaag opbarst, kan dit zorgen voor uitspoeling van het dijk materiaal.

Om dit te onderzoeken zijn twee typen infiltratieproeven uitgevoerd:

1. Infiltratieproef op de deklaag op het bovenste deel van het buitentalud, om hiermee de doorlatendheid van de deklaag aan de buitenzijde te bepalen.
2. Infiltratie in de zandkern met het DMC systeem, om het effect van een verhoogde freatische lijn op de stabiliteit van de deklaag aan binnenzijde van de dijk te testen.

De infiltratieproef op het buitentalud bestond uit het onder vrij verval infiltreren van water door middel van een grote vierkante bak (1 x 1 x 1 m). De bak is gevuld met water, waarna met behulp van drukopnemers en handmetingen is bepaald hoe lang het duurt voordat het water is geïnfilteerd. Op basis hiervan is de doorlatendheid van de deklaag bepaald. De infiltratieproeven zijn tweemaal uitgevoerd, in september 2014 en in juni 2015. Tijdens de tweede serie proeven is de bak beperkt ingegraven in de deklaag, omdat op basis van de gevonden grote doorlatendheid bij de eerste serie proeven werd vermoed dat het water zijdelings wegstroomde door de doorwortelde deklaag. Uit de verschillende proeven bleek dat de doorlatendheid van de deklaag ca. 1 m/dag bedraagt.

Op basis van de berminfiltratieproef is globaal bepaald wat de hoeveelheid instromend water zou zijn bij maatgevende waterstanden. Vervolgens is bepaald wat het effect hiervan zou zijn op de grondwaterstand in de dijk. Met behulp van het DMC-systeem is deze waterstandsverhoging gesimuleerd door water in de dijk te pompen.

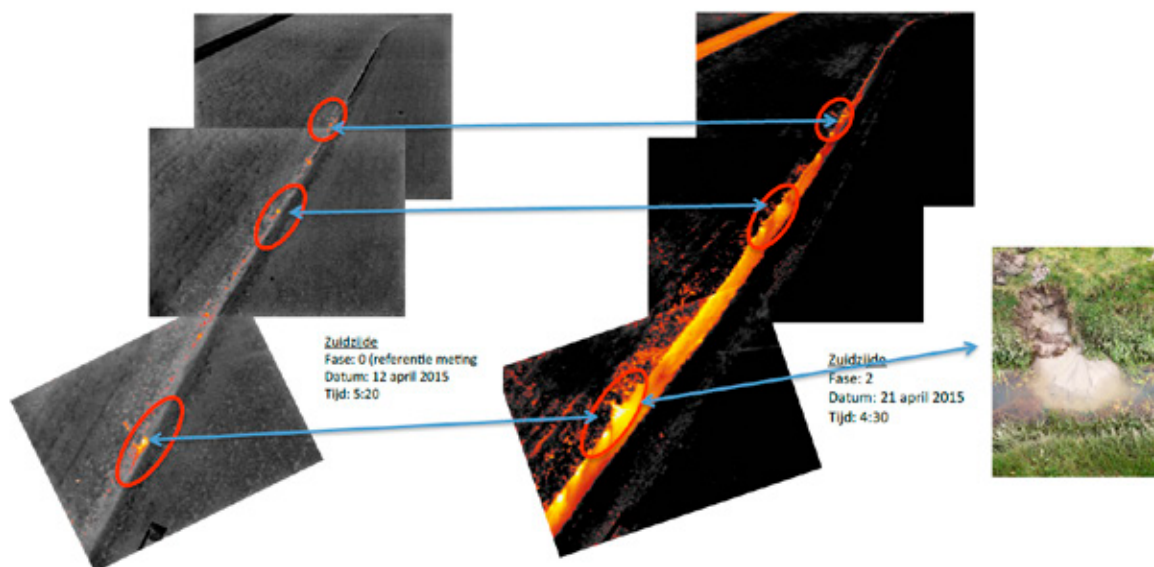


Figuur 2.10 Dwarsprofiel Ommelanderveedijk ter plaatse van de Infiltratieproef XL

Het DMC-systeem is een actief drainagesysteem voorzien van diverse sensoren en pompen. Het DMC is in principe bedoeld om water uit de dijk te pompen, maar kan ook 'omgekeerd' worden gebruikt, door water de dijk in te pompen. De proef is zodanig ontworpen en voorbereid, dat de juiste informatie is verzameld, terwijl de veiligheid van de dijk tijdens de proef op elk moment gegarandeerd bleef. Ten behoeve van de infiltratieproef is op enige afstand van de dijk een grondwateronttrekkingsput aangelegd en in verbinding gebracht met de filterbuis van het DMC. Met de sensoren in de dijk, zoals peilbuizen en waterspanningssensoren, is gedurende de proef continu gemonitord wat er in de dijk gebeurde.

De meetgegevens van de proef zijn verzameld in het landelijke Dijk Data Service Centrum (DDSC). Van daaruit volgden Fugro-medewerkers de meetgegevens live en gaven ze op basis daarvan aanwijzingen aan de DMC-bediening. In het DDSC kon vervolgens ook real-time worden gecontroleerd of de instructies in het veld juist en tijdig waren uitgevoerd. Ook maakte het DDSC het voor anderen mogelijk om mee te kijken en mee te denken. Daarnaast is gebruik gemaakt van een whatsapp-groep waarin betrokkenen berichten en resultaten uitwisselden. Deze communicatie was belangrijk voor de aansturing en controle tijdens de proef. Zie figuur 2.12 A, B en C voor een impressie

Er zijn ook infraroodmetingen (IR) uitgevoerd, om warmteverschillen te registreren en overmatige kwel en piping gevoelige locaties te detecteren, zie figuur 2.11. Op basis hiervan kon bijvoorbeeld worden afgeleid op welke plekken de meeste kwel-activiteit plaatsvond en of de bekleding niet openbarstte. Voorafgaand aan de proef is met deze IR-techniek een nulmeting uitgevoerd waarmee de op dat moment meest actieve wellen in kaart zijn gebracht. De vooraf gesignaleerde meest actieve kwellocaties zijn tijdens deze proef uitgegroeid tot zandmeevoerende wellen.

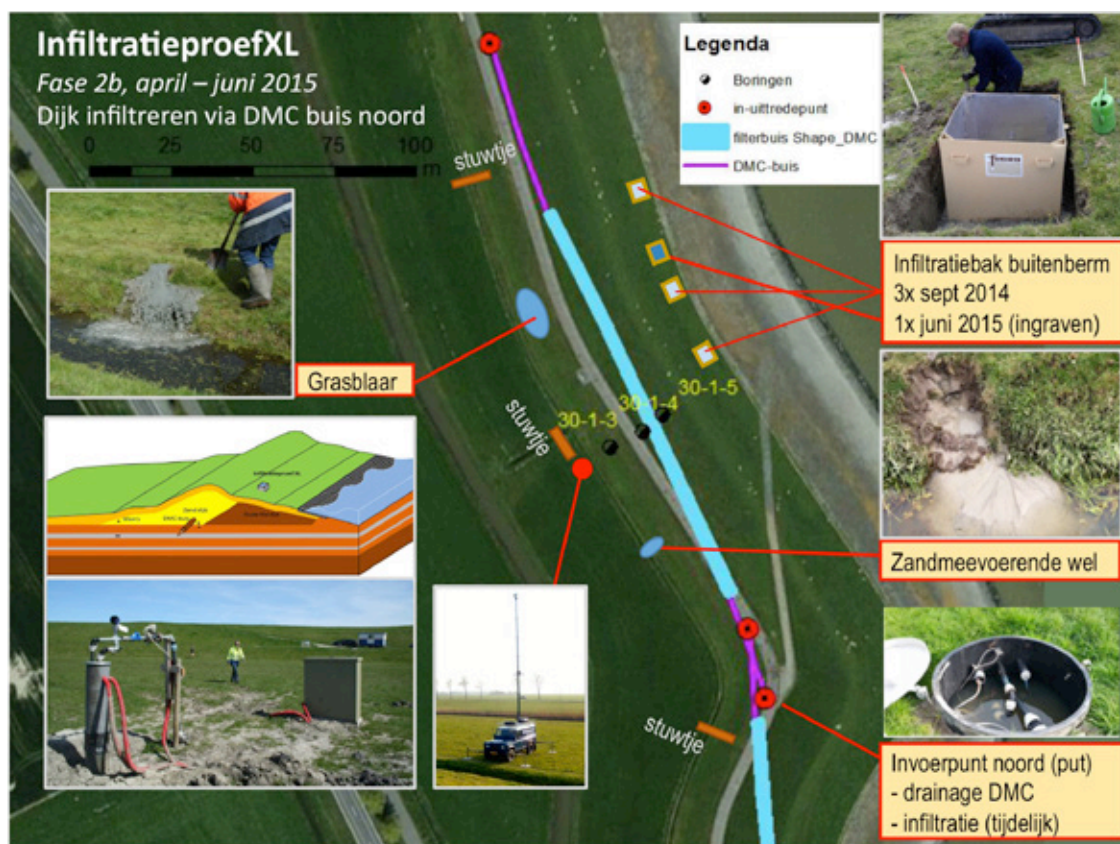


Figuur 2.11 Infraroodmetingen tijdens uitvoering van de Infiltratieproef XL

Voor deze proef is in april 2015 twee weken lang het waterniveau in de Ommelanderzeedijk in stapjes opgevoerd tot ruim 2 meter boven maaiveld achter de dijk. Hetgeen hoger is dan tijdens extreem hoogwater verwacht zou kan worden. De gevolgen hiervan waren duidelijk waar te nemen, niet alleen met de vele sensoren, maar ook met het blote oog. Zo ontstonden er natte plekken en op één plek was er een soort grote 'grasblaar' door het opbollen van de kleideklaag in de binnenberm. Het doorsteken van de deklaag bij de grasblaar leidde tot een flinke uitstroming van water en zand. Ook waren zandmeevoerende wellen zichtbaar bij de achterliggende dijsloot. Dit is een situatie die bij een echt hoogwater voorkomen zou moeten worden. De gecreëerde verhoging van de freatische lijn is veel hogers dan kan worden verwacht bij MHW. Dus het is niet zo dat er een dijkversterking met betrekking tot micro-instabiliteit of piping nodig is.

Na het partieel falen van de deklaag is de proef in stapjes weer afgebouwd. Als eerste is de infiltratie gestopt en werd het extra toegevoerde water in de dijk weggepompt via het DMC. Vervolgens is de bekleding hersteld en is de dijk met het DMC weer teruggebracht naar de normale situatie.

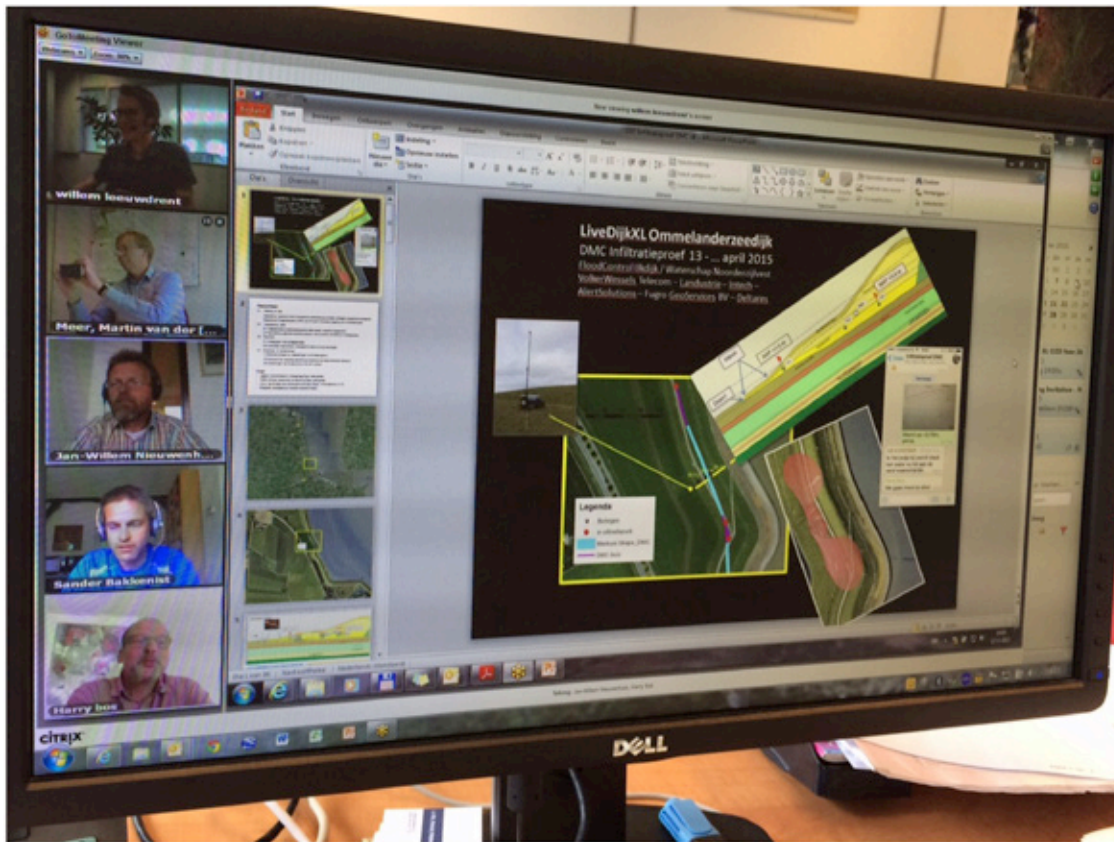
Een geohydrologische schematisering van het systeem is één van de hoofdpunten binnen de veiligheidsbeoordeling van grondlichamen zoals dijken. Toepassing van deze infiltratieproeven biedt daarom meerwaarde bij vraagstukken waarbij infiltratie van water en de voeding van grondwater van belang zijn. In andere delen van Nederland, met name in Zeeland, vertonen veel waterkeringen een soortgelijke opbouw als de Ommelanderzeedijk. Daar kan deze kennis dus helpen, mits er daarnaast voldoende specifiek lokale geotechnische gegevens beschikbaar zijn. Daarbij dient wel bedacht te worden dat de aanwezigheid van de oude kleikern, die niet was meegenomen in de laatste toetsing, hier het grootste verschil heeft gemaakt. Indien de historische gegevens goed zijn benut, zal het verschil tussen toetsresultaat en meetresultaat doorgaans kleiner zijn. Dit benadrukt het belang van het bewaren van gegevens uit het verleden voor een goed waterkeringbeheer.



Figuur 2.12A Infiltratieproef XL OZD – bovenaanzicht proeflocatie



Figuur 2.12B Infiltratieproef XL OZD – te onderzoeken fenomenen



Figuur 2.12C Infiltratieproef XL OZD – remote en realtime proefsturing

Door moderne sensortechnologie en informatiesystemen kunnen innovatieve drainagesystemen zoals het DMC ook 'omgekeerd' worden gebruikt om het werkelijke gedrag van een dijk in extreme omstandigheden te simuleren. Voorwaarde is uiteraard wel dat het pompsysteem hier geschikt voor is. Dezelfde systemen zijn in beginsel ook geschikt om de veiligheid van de dijk tijdens uitvoering van een dergelijke sterkteproef te waarborgen. Dit stelt wel aanvullende eisen met betrekking tot de betrouwbaarheid en beschikbaarheid van zo'n systeem.

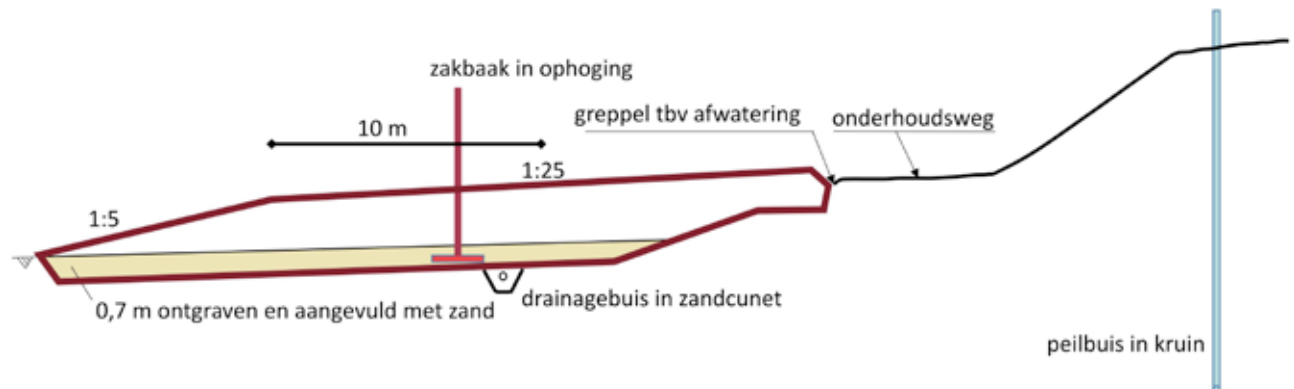
Resultaten:

- De ontwikkeling van een grootschalige infiltratieopstelling 'Infiltratiebak-XL', inclusief een werkprocedure voor proefuitvoering en dataprocessing (Fugro).
- Het aantonen van de bruikbaarheid van het DMC voor een full-scale belastingtest (VWT/Landustrie).
- Het aantonen van de meerwaarde van IR voor intensieve controle tijdens bijzondere proef- of uitvoeringsomstandigheden (InTech).
- Inzicht in de ernst en omvang van het mechanisme micro-instabiliteit, de afhankelijkheid van de gemonitorde waterstand in de dijkken en het te verwachten gedrag bij begin van falen (NZV).
- Het beschikbaar stellen van de tijdens de proef verworven dataset voor verdere kennisontwikkeling (dit komt uiteindelijk ten goede aan gehele sector).
- Interpretatie van alle data over afgelopen jaren: afname van de als maatgevend veronderstelde freatische lijn in de zandkern bij toetspeil met maar liefst 3,5 m, van +5,5 m naar +2,0 m, waardoor de in beginsel afgekeurde dijkstrekking op deeltrajecten zonder DMC bijna en met DMC zeker voldoet aan eisen voor binnenwaartse macrostabiliteit STBI (exclusief aardbevingsbelasting).
- Inzicht in optimalisatiemogelijkheden van het DMC. Door de proef is onder andere inzicht verkregen in de snelheid waarmee de freatische lijn opgevoerd kan worden en in hoeverre dit doorwerkt in lengterichting.

2.5 Pilot keileem

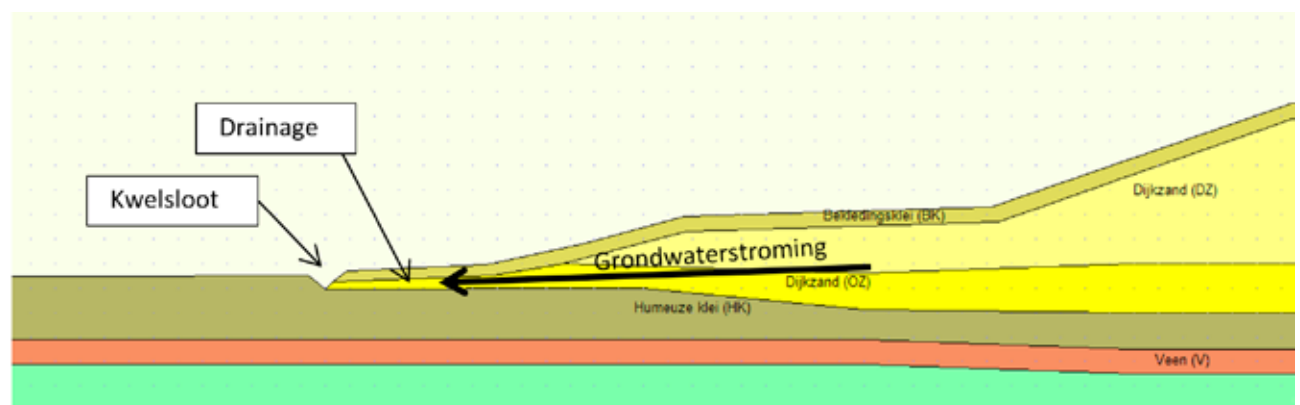
In mei 2015 is ter plaatse van DP34 een pilot uitgevoerd met het toepassen van keileem voor de dijkversterking. De resultaten van deze pilot, die geen onderdeel uitmaakte van LiveDijk XL, geven aanvullend inzicht en worden daarom beknopt behandeld. Voor detailinformatie wordt verwezen naar de rapportage van de pilot [TFDT 2015].

Ter plaatse is de dijk lokaal versterkt met een keileemberm aan binnenzijde (zie figuur 2.13), met als doel om te beschouwen of het materiaal geschikt is voor een dijkversterking. De sensoren in de raaien aangrenzend aan het pilottraject gaven een stijghoogte in de dijk aan van NAP +1,7m tot NAP +0,7m. De kans op leegloop van de dijk ten gevolge van verwijderen van de kleiafdeklaag van het binnentalud was daarmee aanwezig. Dit heeft ertoe geleid om uit voorzorg ter plaatse van de pilotlocatie vier peilbuizen te plaatsten, twee in de binnenteen en twee in de kruin. Hieruit bleek dat de waterstand in de dijk op de pilotlocatie beduidend lager was. In de meetperiode voorafgaand aan de realisatie van de werken (eerste 2 weken van maart 2015) bedroeg die ca NAP -0,10 à -0,35m, dus beduidend lager dan de aangrenzende profielen. Op basis van de meetgegevens is geconcludeerd dat de freatische lijn ter plaatse van pilotlocatie zich op een veilig niveau bevond en dat geen aanvullende maatregelen nodig waren uit oogpunt van risicobeheersing. Het effect van het aanbrengen van versterking op de waterstand in de dijk is tegelijkertijd met monitoring beschouwd.



Figuur 2.13 Ontwerp aanberming keileem pilot [TFDT 2015]

De variatie in waterstand in de dijk wordt zeer waarschijnlijk veroorzaakt door de mate waarin de dijk draineert. Tijdens de pilot keileem bleek dat er een relatief dikke zandlaag aanwezig is ter plaatse van de binnenteen van de dijk, waardoor regenwater makkelijk weg kan vloeien. Ook ter plaatse van de infiltratieproeven is ter plaatse van de teen een dunne laag zand aangetroffen dat dient als drainage, zie figuur 2.14. Deze zandlaag is een overblijfsel van het cunet, dat is aangelegd ten bate van de dijkversterking in 1972. Uit de historische tekeningen was niet op te maken of deze zandlaag met opzet is aangelegd. Waarschijnlijk functioneert deze drainage onvoldoende op de plekken waar een hoge waterstand in het dijklichaam wordt gemeten. Deze resultaten geven aan dat details een grote invloed kunnen hebben op de stabiliteit van de dijk.

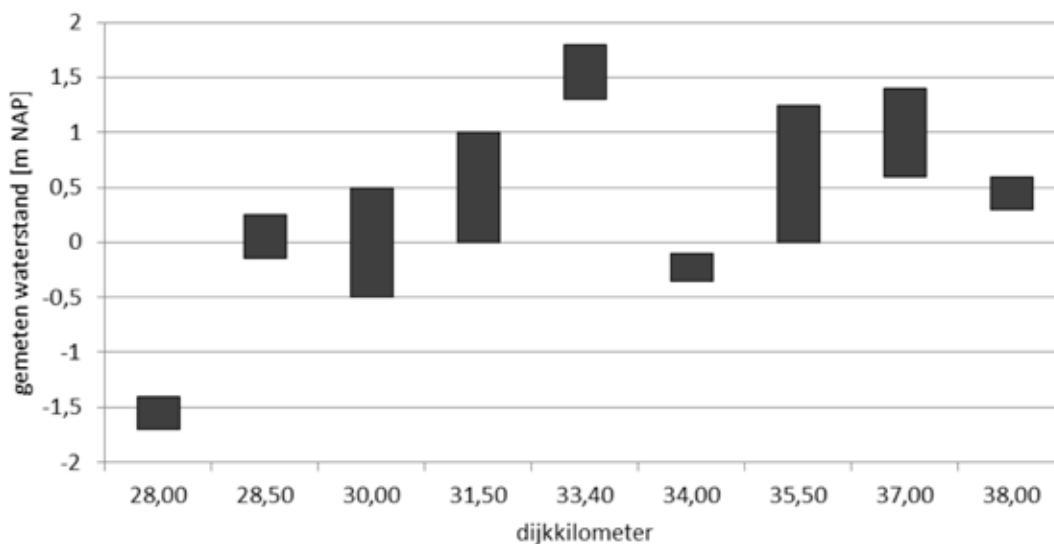


Figuur 2.14 Drainage ter plaatse van de binnenteen

2.6 Totaalbeeld dijktraject Ommelanderzeedijk

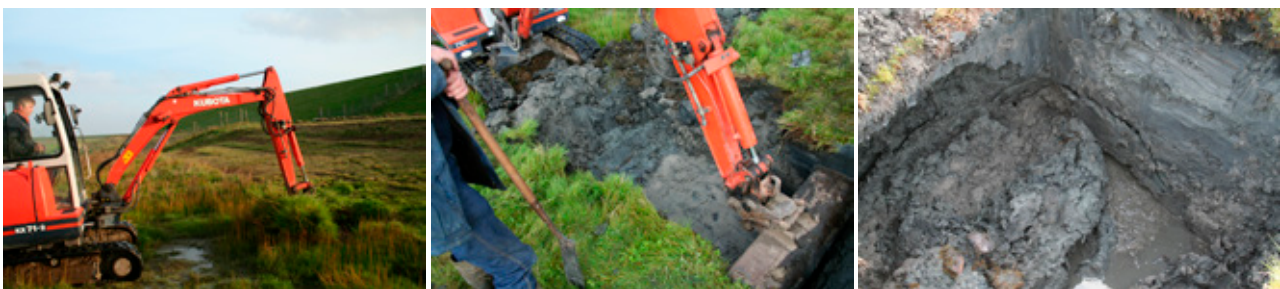
Hoewel op het eerste gezicht de dijk redelijk uniform lijkt over het gehele traject, zijn er toch verschillen die bij de beoordeling van doorslaggevend belang kunnen zijn. Zo is de oriëntatie op de belasting niet overal hetzelfde en zijn er variaties in de ondergrond. Ook de opbouw van de dijk zelf is per locatie verschillend. Bij de Oostpolderdijk km 37 – 38,5 ligt de oude kleidijk bijvoorbeeld aan de landzijde. Daarnaast zijn er tijdens de uitvoering afwijkingen opgetreden, zoals een lokaal iets dieper en verder naar achteren doorgezet zandcunet. Bij aanvullende metingen ten behoeve van de Pilot Keileem bij km 34 bleek dit een significant positief effect te hebben op de waterhuishouding in de dijk, en daarmee op de dijkveiligheid.

In het kader van LiveDijk XL is ter plaatse van de Ommelanderzeedijk een relatief intensief netwerk van monitoring geïnstalleerd. Zo is onder meer op 9 locaties de waterspanning gemeten, met in totaal meer dan 40 sensoren. Uit de resultaten van de metingen blijkt dat de intensiteit van de metingen allesbehalve overbodig was. Over het traject zijn relatief grote verschillen in waterstand in het dijklichaam gevonden, zie figuur 2.15.



Figuur 2.15 Bandbreedtes gemeten grondwaterstanden ter plaatse van binnenberm, tot 1-1-2016

Zoals te zien is in figuur 2.15 is de grondwaterstand in de dijk ter plaatse van DP33,4 gemiddeld ca. 1,5 m hoger dan ter plaatse van DP30,0, waar de infiltratieproeven hebben plaatsgevonden. Dit is ook geconstateerd in het veld, ter plaatse van DP33,4 zijn op het binnentalud drassige plekken zichtbaar. De deklaag is hier open gegraven (figuur 2.16) om te bepalen of dit regenwater was of dat dit water uit de dijk betrof. Het bleek dat de drassige plekken veroorzaakt werden door water vanuit het dijklichaam.



Figuur 2.16 Proefsleuf, ter plaatse van drassige plek bij teen dijk, DP33,4

Ter plaatse van de verschillende raaien met monitoring zijn schematiseringen opgesteld van de dijkopbouw in DGeo-Stability. De schematiseringen zijn geïmplementeerd in DAM-live!, waarmee de stabiliteit van de dijk live kan worden bepaald op basis van de actuele waterspanningen in de dijk. Op basis van de waarden van de waterspan-

ningen die volgen uit de sensoren wordt de waterstand in de schematisering automatisch aangepast en opnieuw doorerekend. De eerste versie van deze DAM-live! berekeningen is opgesteld in 2014. De resultaten worden automatisch geüpload naar het DDSC zodat op elk moment de actuele stabiliteit van de dijk bekend is. Begin 2016 is de 2e versie van deze live-stabiliteitsberekeningen voorzien, waarbij een verbetering is aangebracht in de ondergrond-schematisering en de schematisering van de waterstand.

Tijdens het project werd de urgentie van de dijkversterking steeds groter door de toegenomen aandacht voor aardbevingen in dit gebied. Ook in dit geval blijft de toegepaste monitoring nuttig, de waterstand in de dijk is ook bij aardbevingen van grote invloed op de benodigde dijkversterking. Voor de situatie zonder aardbevingen kan als vuistregel gehanteerd worden dat een 1 m lagere waterstand in de dijk ca. 10 m aan benodigde bermbreedte scheelt. Aangezien uit de toegepaste monitoring en proeven blijkt dat de waterstand in de dijk met ca. 2 m kan worden verlaagd ten opzichte van wat is aangehouden in de toetsing levert dit een significante winst op in de benodigde versterking.

2.7 Bijdrage aan doelen Waterschap Noorderzijlvest

Met de langjarige monitoring van de Ommelanderse dijk is tegemoetgekomen aan alle 3 de door het Waterschap Noorderzijlvest gestelde doelen in het LiveDijk XL project. Onderstaand wordt een overzicht gegeven van de resultaten en wordt ingegaan op de kosten-baten verhouding van het LiveDijk XL deelproject Ommelanderse dijk.

Doel 1: early warning

- Tijdens de Sinterklaasstorm in 2013 is de extra sterkte door de verborgen oude kleidijk aangetoond.
- Tijdens storm pakt de buitenwaterstand aan de dijk mogelijk toch anders uit dan wordt voorspeld met de huidige modellen.

Doel 2: effectiever verbeteren

- De scope van de dijkversterking is verkleind door het aantonen van de extra sterkte als gevolg van de aanwezigheid van de oude kleidijk.
- Er is ervaring opgedaan met een nieuw type ruimtebesparende dijkversterkingsoplossing (DMC). Met de DMC-buis kan de waterstand in de dijk tot vijf meter worden verlaagd.
- Er is meer inzicht verkregen in het grote belang van detaillering van zandaanvullingen. Dit bepaalt in sterke mate in hoeverre de dijk draineert.
- Er is meer inzicht verkregen in de rol van neerslag en de buitenwaterstand op freatische lijn in de dijk. Fluctuaties door neerslag blijven beperkt tot circa 0,5 m.

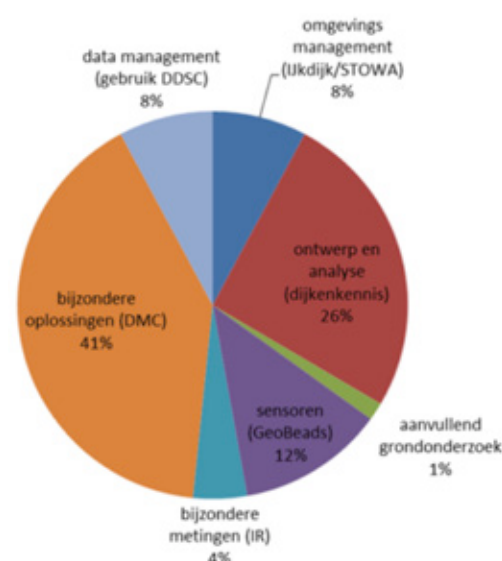
Doel 3: effectiever beheren

- Er is ervaring opgedaan met het gebruik van het DDSC voor real-time control systemen, o.a. drainagesystemen (DMC).
- Er is ervaring opgedaan met dijkbewaking tijdens full-scale in situ-testen (infiltratietest op dijk in functie).
- Er is meer inzicht verkregen in schadebeelden die op kunnen treden bij extreem hoogwater.

Kosten-baten verhouding LiveDijk XL OZD

Bij elkaar is voor LiveDijk XL OZD ca. 1,5 MEuro excl. btw besteed. Figuur 2.17 geeft een indicatie van de verdeling naar de verschillende soorten bijdragen.

Voor een eerste ruwe inschatting van de baten wordt uitgegaan van ongeveer 20m bermbreedte besparing, als gevolg van een ca 2 m lagere ligging van de freatische lijn (de 3,5m verlaging ter plaatse van de beproefde doorsnede



Figuur 2.17 Verdeling bestedingen consortium OZD

moet veilig vertaald worden naar een waarde die representatief is voor de hele dijkstrekking). Bij gebruik van de kostenkengetallen uit het ENW-onderzoeksrapport 'Piping, realiteit of rekenfout' [ENW 2010], geeft dit een besparing van ca 4 Meuro/km. Bij een scopeverkleining van 5 km voor de dijkversterking OZD zou dit dan een besparing van ongeveer 20 MEuro betekenen.

Daarnaast zijn er ook 'zachte baten', zoals minder onzekerheid bij bestuurders en burgers over de momentane veiligheidssituatie tijdens een uitzonderlijk hoogwater, en daardoor betere besluitvorming.

Ergo: het slim inzetten en actief benutten en analyseren van monitoring kan een kosten-baten verhouding van 1:10 of meer opleveren.



3 Lauwersmeerdijk

3.1 Toetsresultaten Lauwersmeerdijk

In de Waterwet is opgenomen dat alle primaire waterkeringen eenmaal per 6 jaar moeten worden getoetst aan de in de wet vastgelegde veiligheidsnorm tegen overstroming¹. Bij de toetsing in 2010 is geconstateerd dat bij de Lauwersmeerdijk sprake is van een grote kans op afschuiving van het buitentalud/zettingsvloeiing en dat de asfaltbekleding de maatgevende hydraulische belasting niet meer kan weerstaan. De technische beoordeling gaf aan dat ter plaatse van de Lauwersmeerdijk mogelijk piping kan optreden tijdens een extreme hoogwaterperiode. In het beheerdersoordeel werd dit echter weersproken.

Gelet op het voornoemde stond voor de Lauwersmeerdijk in de planning om via een innovatieve methode de verborgen gebreken van de asfaltbekleding te onderzoeken. Uit monsternamen was al gebleken dat er een grote differentiatie is tussen de kwaliteit van de toplaag en de aanhechting hiervan op de onderlaag. Op enkele locaties was die volledig bros terwijl op andere plekken sprake was van goede aanhechting. Dit verschil in kwaliteit is echter nagenoeg niet te signaleren met het blote oog. Ook potentiële holle ruimtes tussen de twee lagen zijn zo niet te signaleren.

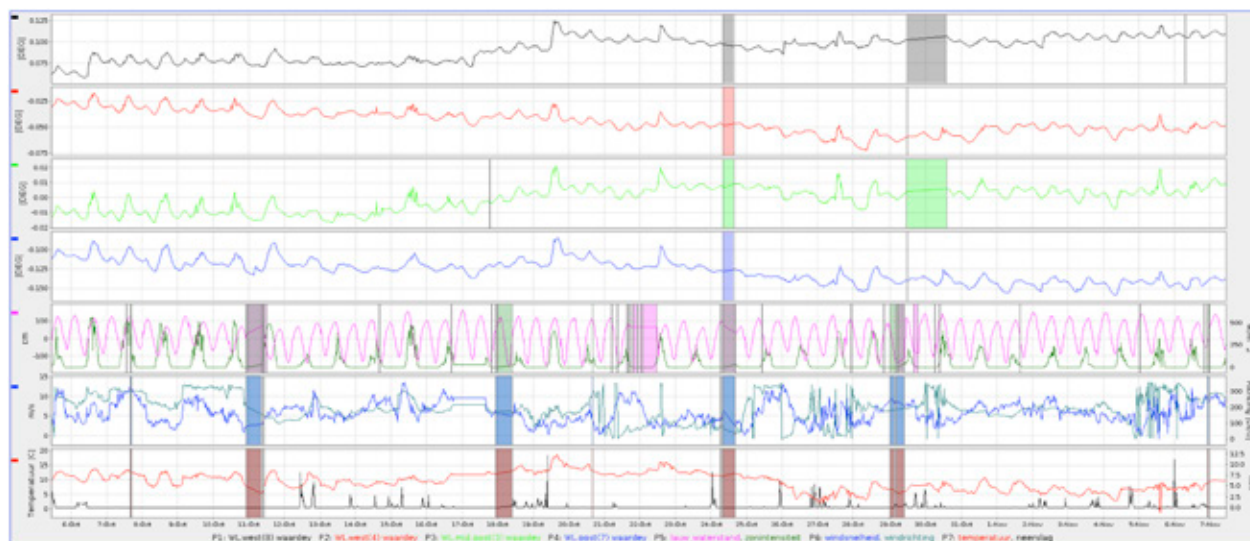
Bij aanvang was ook het idee om de veiligheid m.b.t. piping te vergroten door een verticaal waterdoorlatend en zanddicht filterdoek aan te brengen bij de binnenteen van waterkering. Om dit gelijktijdig ook te kunnen monitoren, zou TenCate GeoDetect met hierin geïntegreerde optische kabels worden toegepast. Na nadere analyse van de toetsresultaten bleek de pipingproblematiek toch minder relevant op deze locatie. Daarom is afgezien van dit deel van het onderzoek.

3.2 Vierhuizergat: aanpak risicovolle situatie

Rijkswaterstaat Noord-Nederland voert jaarlijks lodingen in de Waddenzee en zo ook langs de Lauwersmeerdijk. Mede op basis van deze gegevens was een risico op zettingsvloeiing gesignaleerd. Naast de actuele gegevens voert Rijkswaterstaat ook onderzoek uit naar de eventuele migratie van geulen en platen. Hiervoor worden de meetgegevens van de vorige loding vergeleken met die van de meest recente. Uit verschilanalyse van de lodingen 2011 en 2012 bleek dat de tegen de Lauwersmeerdijk aangelegen ebgeul ter plaatse van het Vierhuizergat lokaal verdiept was met 3m tot NAP-12m. Hierdoor was een extreem risicovolle situatie ontstaan. Noorderzijlvest besloot tot acuut ingrijpen.

Deltares is ingehuurd om na te gaan welke maatregelen effectief en op korte termijn haalbaar waren. Tegelijkertijd is aan StabiAlert opdracht verleend tot het plaatsen van sensoren die vervorming van de waterkering registreren. De meetgegevens waren direct te volgen via een door StabiAlert casus-gericht dashboard. In eerste instantie betroffen dit slechts de meetwaarden van de (deformatie)sensoren. Later zijn parameters als temperatuur hieraan toegevoegd (zie figuur 3.1). Door dit laatste kon worden achterhaald wat de reden was van het zich frequent voordoen van extreme meetwaarden bij de sensoren die waren geplaatst in het asfalt. Deze bleken zich namelijk voor te doen gedurende de momenten dat zon volop actief was wat resulteerde in het uitzetten van asfalt. Werkzaamheden aan de kastjes van de sensoren en een schaap dat zich eraan schuurde werden op afstand gesignaleerd. Door de extreme gevoeligheid van de sensoren was het ook mogelijk om de invloed van de reguliere getijbeweging op de waterkering te signaleren.

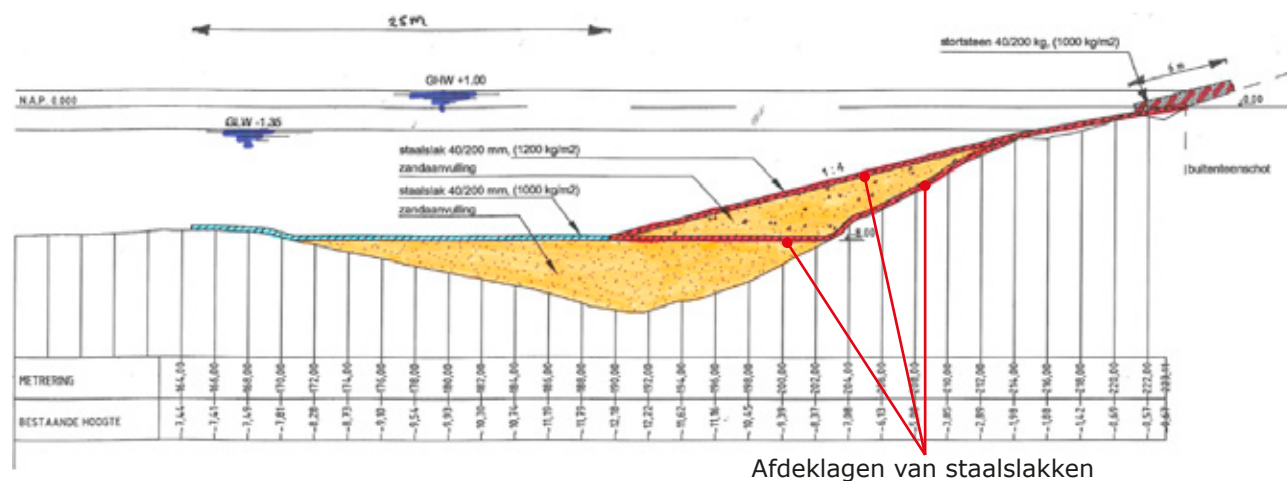
¹ Per 1 januari 2017 wijzigt de Waterwet. De tijdsperiode tussen 2 toetsingen verruimt dan naar 12 jaar. De eerstvolgende landelijke beoordeling wordt in 2023 door de Minister van I&M gepresenteerd.



Figuur 3.1 Voorbeeld uitvoer van StabiAlert metingen

Verontdiepen geul met staalslakken

Op basis van het door Deltares verrichte onderzoek is besloten om de geul lokaal te verontdiepen, het oorspronkelijke talud af te dekken met staalslakken, dit vervolgens te verflauwen naar 1:4 door het aanbrengen van zand wat weer werd afgedekt met staalslakken (zie figuur 3.2). Van staalslakken is bekend dat deze in zoutwater door chemische reactie zullen 'samensmelten'. De verwachting is dat door dit proces de doorlatendheid van het onderwaterbuitentalud ter plaatse van de versterking verder zal afnemen.



Figuur 3.2 Ontwerpprofiel stabilisatiemaatregel geul

3.3 Gefaseerde aanpak

Ook dit project kent een gefaseerde aanpak. In figuur 3.3 is de gefaseerde aanpak in de tijd weergegeven. De gekleurde vlakken op de achtergrond geven een indicatie van de stapsgewijze kennisopbouw in de tijd

Fase 0: noodmaatregel Vierhuizergat, vaststellen informatiebehoefte

Zoals uit het voornoemde blijkt, zijn vanwege de problematiek die zich voordeed ter plaatse van het Vierhuizergat de meetdoelen en de fasering bijgesteld. Het volgen van de effecten van de verbeteringsmaatregelen kreeg de hoogste prioriteit. Hiervoor is een meetprogramma opgezet, gericht op het volgen van de ontwikkelingen van de bodem rondom de ingreep. In het eerste jaar na aanleg zijn maandelijks lodingen uitgevoerd waarna de periode tussen twee lodingen werd opgeschaald naar driemaandelijks. Op basis van de bevindingen is inmiddels weer overgestapt op het reguliere patroon van eenmaal per jaar meten.

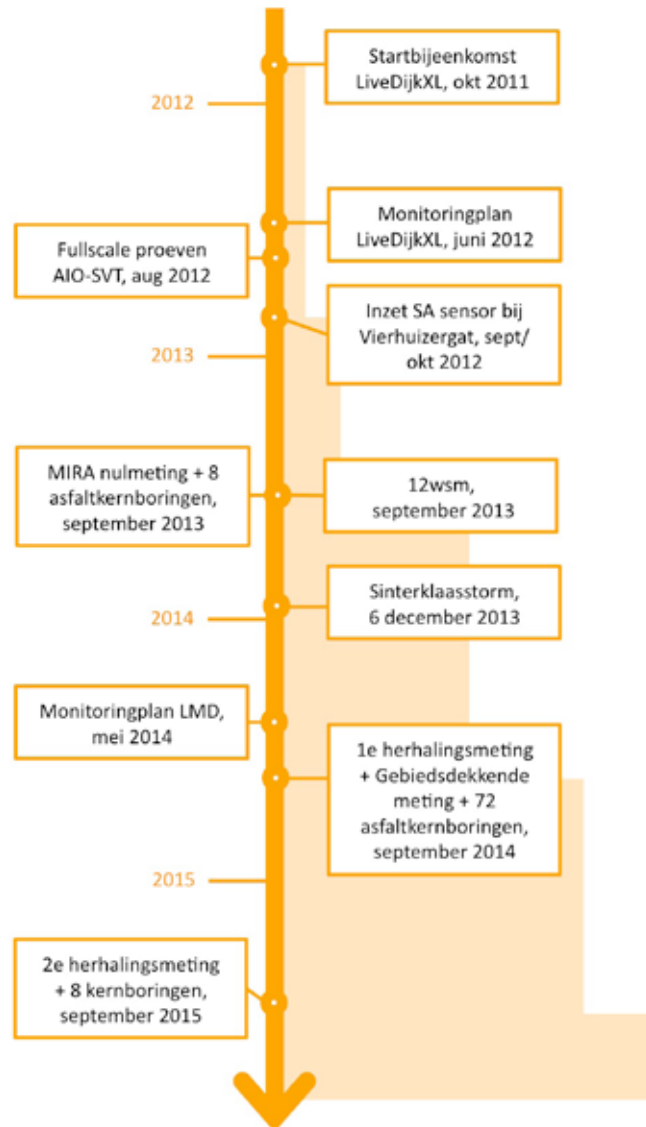
In mei 2013 is, mede naar aanleiding van de toegepaste noodmaatregel, voor de locatie Lauwersmeerdijk de informatiebehoefte opnieuw vastgesteld. Hieruit is een tweeledig monitoringdoel naar voren gekomen, wat vervolgens is gerealiseerd in Fase 1:

- Het installeren van een monitoringsysteem met waterspanningsmeters om op termijn het effect van de noodmaatregel, de toegepaste staalslakken, te kunnen beoordelen aan de hand van meetdata te verkrijgen via monitoring met waterspanningsmeters.
- Verdere invulling geven aan het innovatief asfaltonderzoek ten behoeve van het faalmechanisme asfaltbekleding.

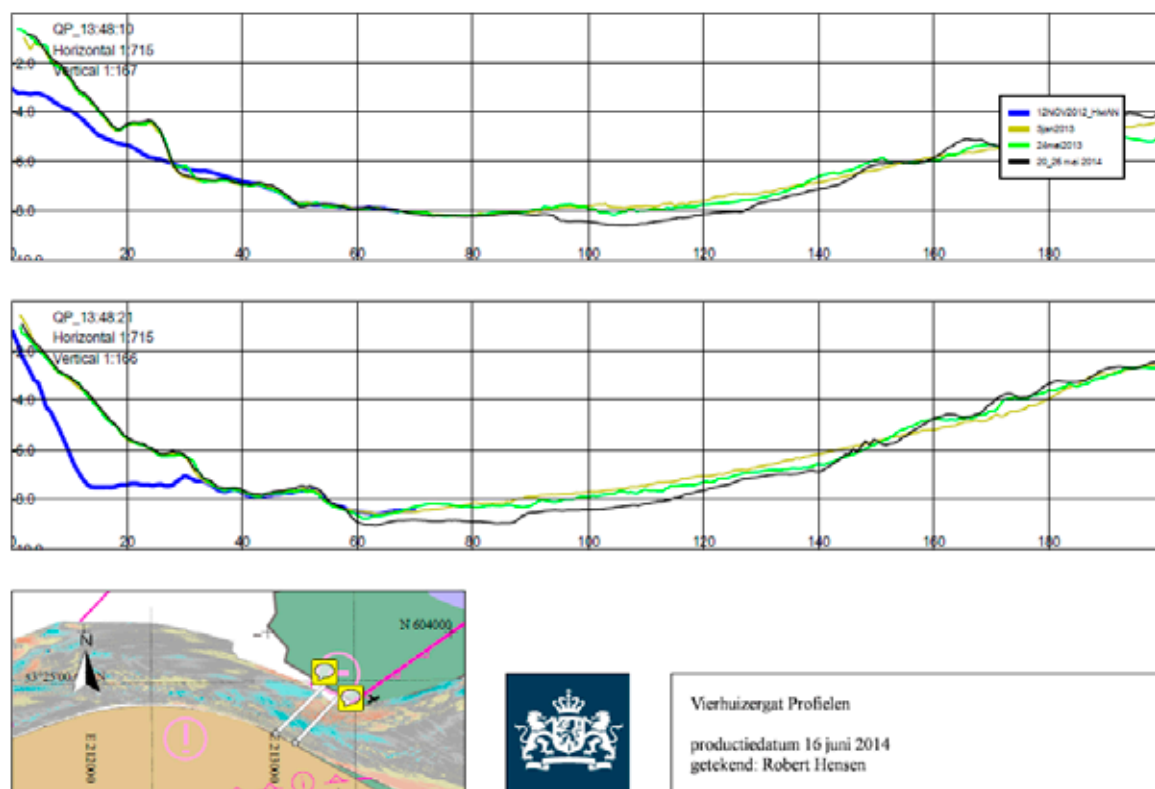
Fase 1: implementatie monitoringsysteem en nulmeting asfalt

Deze fase heeft betrekking op de Lauwersmeerdijk waar recent de herstelmaatregelen zijn uitgevoerd met staalslakken (traject KM 85,7-86,4). Aan weerszijden van en halverwege deze maatregel is een monitoringsysteem met waterspanningsmeters geïnstalleerd. De monitoring met waterspanningsmeters heeft tot doel het verkrijgen van data voor het vaststellen van eventuele veranderingen in doorlatendheid van de toegepaste afdichting door het meten van de stijghoogte ter plaatse van de Lauwersmeerdijk voor een periode van 2 jaar.

Als onderdeel van fase 1 is een innovatief asfaltonderzoek uitgevoerd met de meettechniek van Miramap. Doel van dit onderzoek is het bewaken van de veiligheid tot verbeterwerkzaamheden zijn uitgevoerd in combinatie met het leveren van aanvullende informatie over de opbouw van het asfalt/de dijk ten behoeve van de beoogde verbeterwerkzaamheden.



Figuur 3.3 Gefaseerde aanpak LiveDijk XL LMD



Figuur 3.4 Dwarsprofiel geul, ter plaatse van stabilisatiemaatregel

Fase 2: aanvullend asfaltonderzoek

De eerste metingen met Miramap gaven aan dat op meerdere plekken holle ruimten c.q. zwakke plekken in het asfalt aanwezig waren. De vraag was of deze zouden verergeren en zo ja in welke mate. Besloten werd om in fase 2 de Lauwersmeerdijk een keer in z'n totaliteit te scannen en het traject dat in fase 1 was getest na een jaar nog een keer. Voor dit traject van 1 km zouden gegevens worden verkregen uit in totaal 3 metingen over een totale periode van circa 2 jaar.

Naast de herhalingsmetingen van de asfaltbekleding verricht Rijkswaterstaat frequent lodingen om het gedrag van de geul te volgen. In de POV Waddenzeedijken worden deze meetgegevens geanalyseerd en onderzocht of er nog aanvullende maatregelen moeten worden ondernomen gerelateerd aan eventuele migratie van de geul.

De sensoren van StabiAlert zijn ook in de jaren na de versterking actief gebleven. Pas in 2015 zijn de sensoren verwijderd die in het buitentalud waren geplaatst. De sensoren in de kruin zijn nog steeds actief om eventuele aardshokken te registreren. Een enkele keer heeft zich dit nog voor gedaan.

3.4 Installatie monitoringsysteem waterspanningsmeters

Het monitoringplan [LMD 2014a] beschrijft de werkzaamheden van fase 1 in meer detail, waaronder de informatie-behoefte, meetdoelen en monitoringperiode. De monitoring is uitgevoerd voor 2 jaar na realisatie van het meetsysteem (van 9 september 2013 tot 9 september 2015). Analyse van de monitoringresultaten maakte geen onderdeel uit van fase 1 en heeft vooralsnog niet plaatsgevonden.

De voor de realisatie van het meetnet doorlopen stappen zijn navolgend beschreven:

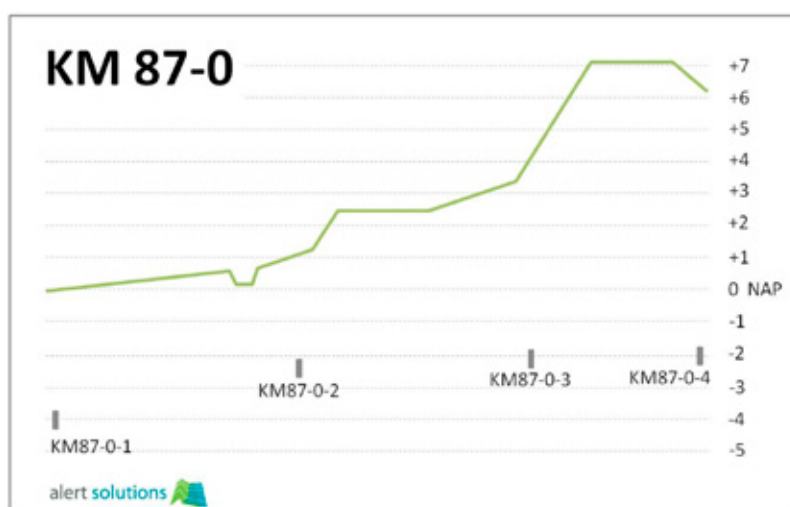
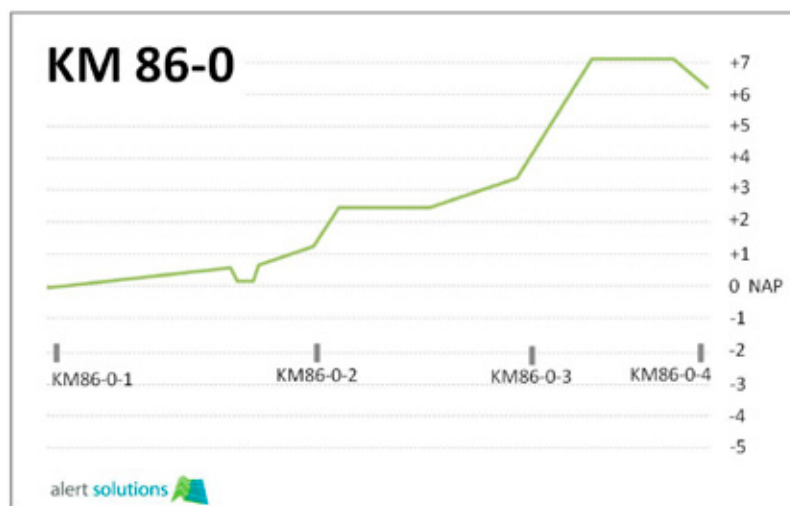
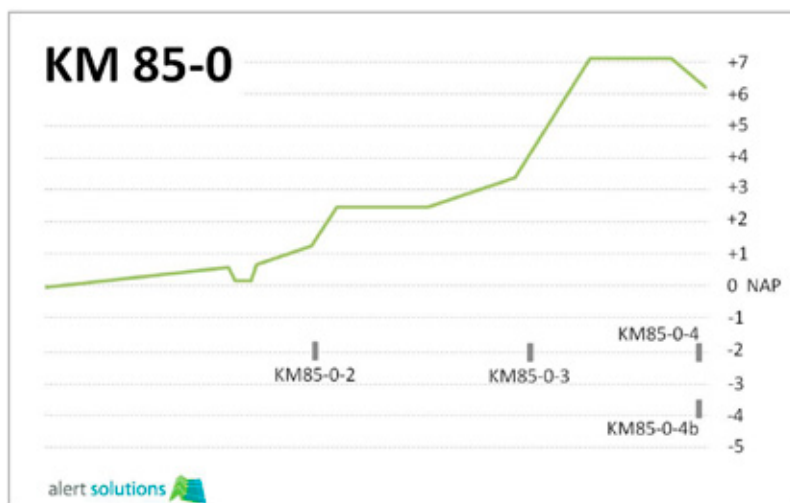
- **Uitwerking meetconfiguratie:** het beschikbare grondonderzoek is doorgenomen waarbij is gekeken of het onderzoek voldoende gedetailleerd is uitgevoerd. Op basis van dit grondonderzoek is een meetconfiguratie opgesteld welke voorziet in het monitoren van 3 locaties, KM 85-0, KM 86-0 en KM 87-0. Locatie KM 86-0 ligt in het deel van de dijk welke aan de waterzijde is aangevuld met zand en versterkt met staalslakken. De overige twee locaties dienen als referentie voor deze locatie.
- **Installatieplan:** voorafgaand aan de installatie van de waterspanningsmeters is een installatieplan opgesteld met daarin voorgenomen installatiediepten van de sensoren. Dit plan omvatte alle uitgangspunten voor de installatie (voorbereiding, uitvoering en oplevering) van het monitoringsysteem.
- **Lab-test van waterspanningsmeters:** Als onderdeel van de voorbereiding op installatie heeft een uitgebreide lab-test op de sensoren plaatsgevonden, ofwel een Factory Acceptance Test (FAT). Hieruit is naar voren gekomen dat alle in te zetten instrumenten binnen 2 cm nauwkeurig de hoogte van een waterkolom kunnen vaststellen. Het type waterspanningsmeter betreft een MEMS gebaseerde drukopnemer van Alert Solutions (type ACE-250). Dit is een absolute druk opnemer, welke drukmeting om tot waarneming van waterspanning te komen, gecorrigeerd dient te worden voor luchtdruk. De waterspanningsmeters hebben een meetbereik van 0 – 2500 mbar.
- **Aanleg en oplevering meetnet:** de installatie is gestart op 2 september 2013 en afgerond op vrijdag 6 september 2013. In totaal zijn 12 waterspanningsmeters geplaatst, op iedere dwarsraai (bij KM 85, 86 en 87) 4 stuks. De waterspanningsmeters zijn geplaatst in het buitentalud van de dijk (vlak boven het asfalt dek), in de binnenteen van de dijk, nabij de sloot aan landzijde en in het achterland (zie tabel 3.1 en figuur 3.4).
- **De installatie van de sensoren, plaatsing van de schutkokers en aansluiting van de sensoren op de ModemLoggers** is uitgevoerd door Fugro Geoservices BV. Alle beoogde sensorlocaties zijn in het terrein conform installatieplan bepaald en ingemeten. Direct na plaatsing zijn voor alle sensoren de definitieve plaatsingsdiepten vastgelegd. Deze zijn opgenomen in de tabel 3.1. In figuur 3.5 zijn schetsen van de dwarsprofielen voor de locaties KM 85, KM 86 en KM 87 opgenomen. De profielen zijn bedoeld als een indicatie voor locatie van de sensoren. De tekening vormt geen exacte schaalweergave.
- **Toelevering data aan DDSC:** Het meetsysteem is op 6 september 2013 in werking gezet. Vanaf 14.00 uur UTC (16.00 lokale tijd) zijn meetwaarden in het DDSC opgenomen. De Alert Solutions ModemLoggers in het veld stuurden dagelijks de data naar de servers van Alert Solutions. Vervolgens zijn de gegevens per dag op de FTP server van het DDSC geplaatst.
- **Site Acceptance Test (SAT):** Een SAT is uitgevoerd voor de periode 9/9 t/m 22/9 2013. De SAT betrof een uitgebreide controle van het meetsysteem en de data die wordt geleverd voor een meetperiode van twee weken na installatie. De Dataprofeet is gebruikt, een bij Witteveen+Bos beschikbare applicatie om meetdata te controleren op betrouwbaarheid en kwaliteit. Vastgesteld is dat fouten in de data aanwezig waren, mogelijk door het gelijktijdig meten en verzenden van meetdata. Om dit te verhelpen is door Alert Solutions een software-update uitgevoerd op de ModemLoggers, waarna het probleem zich niet meer voordeed. Vervolgens is de SAT beoordeeld als afgerond.
- In figuur 3.6 is een weergave van sensoren die in de teen van de dijk aan de binnenzijde zijn geplaatst. Hierin is te zien hoe de buitenwaterstand onder invloed van getij verandert (rode lijn) en dat de sensoren ter hoogte van km-paal 85 en 87 deze verandering met enige vertraging en demping volgt (gele en blauwe lijn). De groene lijn ter hoogte van km-paal 86, dit is ter hoogte van het met staalslakken bestorte deel van het buitentalud n.a.v. de in dit hoofdstuk beschreven ingreep, geeft een veel meer gedempt signaal weer.



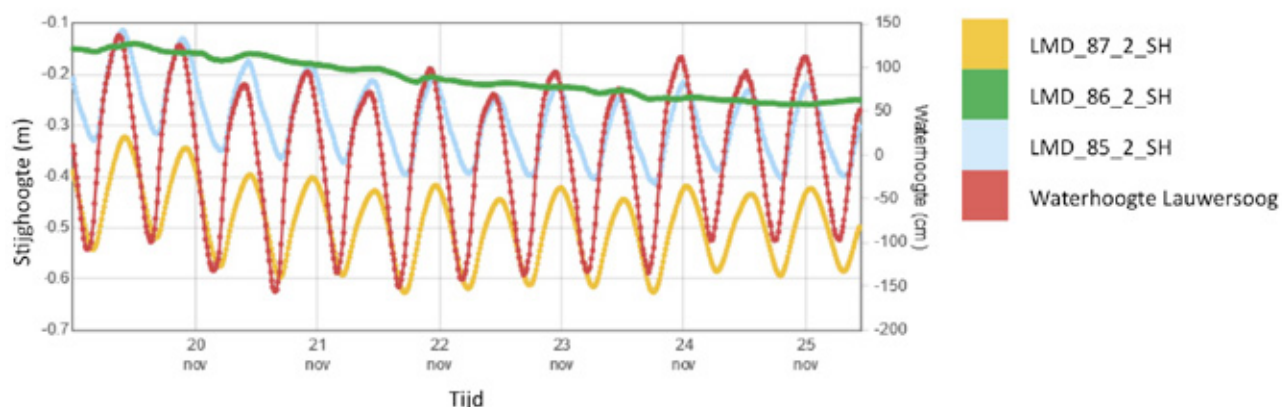
Figuur 3.5 Installatie waterspanningsmeters: diepe plaatsing met mini boorrups en plaatsing van schutkokers met Modem-Loggers

Tabel 3.1 Plaatsingsgegevens sensoren

raai	ID-modem-logger	ID WSM	X	Y	Z (in mNAP)	sensordiepte (in mNAP)
KM85-0						
85-02	24	463	213893,048	602896,086	1,806	-2,00
85-03	25	464	213900,912	602910,753	3,353	-2,00
85-04	26	465	213910,818	602930,921	6,591	-2,00
8504b	27	466	213910,000	602931,400	6,591	-3,81
KM86-0						
86-01	28	467	213002,079	603349,403	0,015	-2,08
86-02	29	468	213018,590	603379,025	1,474	-2,00
86-03	30	469	213026,137	603395,435	3,126	-2,20
86-04	31	442	213035,523	603415,229	6,427	-2,07
KM87-0						
87-01	32	471	212076,688	603428,428	0,225	-4,08
87-02	33	472	212067,191	603483,845	0,926	-2,60
87-03	34	440	212061,879	603506,427	3,199	-2,09
87-04	35	441	212055,751	603531,954	6,254	-2,00



Figuur 3.6 Dwarsprofielen KM 85, 86 en 87

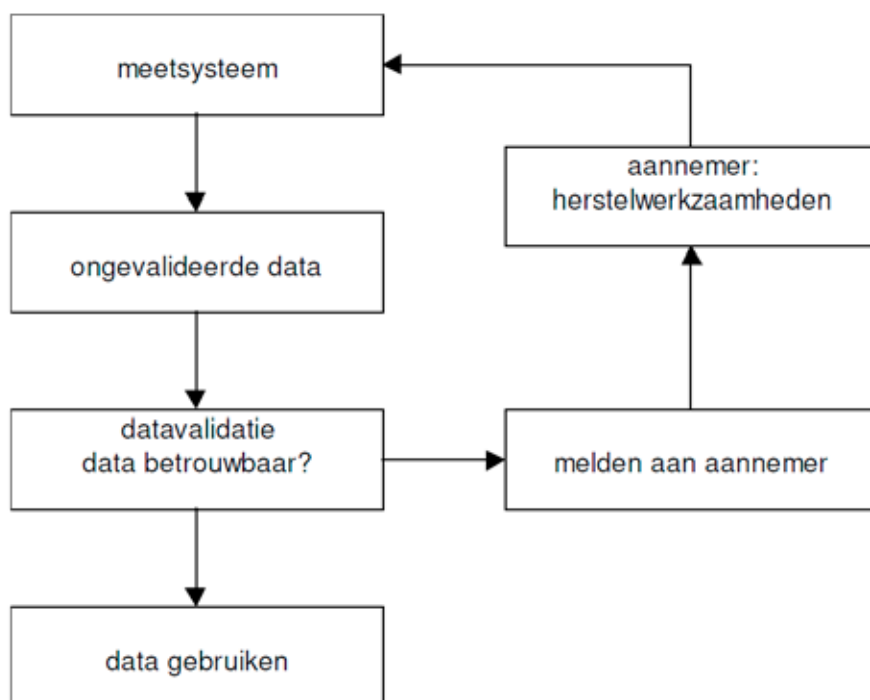


Figuur 3.7 Meetsignaal sensoren in binnenteen van de dijk

3.5 Beoordeling monitoringreeks

Introductie

Voor het verkrijgen van een optimale dataset (van hoge kwaliteit en bruikbaar voor analyse) is in het monitoringplan [LMD 2013b] de aanbeveling gedaan om tijdens de monitoringperiode (september 2013-september 2015) datavalidatie periodiek toe te passen. Dit om het functioneren van het meetsysteem te garanderen en tijdig beheer- en onderhoud toe te passen. Dit voorkomt fouten in de data die de dataset minder bruikbaar maken voor analyse. In onderstaande afbeelding is datavalidatie in relatie tot het uitvoeren van herstelwerkzaamheden schematisch weergegeven.



Figuur 3.8 Functie van datavalidatie

Datavalidatie monitoringreeks

Gedurende de tweejaarlijkse monitoring is geen datavalidatie uitgevoerd. De kwaliteit van de monitoringdata is eind 2015 beoordeeld door middel van een standaard validatie op de meetreeksen zoals beschikbaar in het DDSC.

Hieruit komt het volgende naar voren:

- Alle meetreeksen hebben meerdere dubbele meetwaarden. Voor elke meetreeks zijn de dubbele meetwaarden aangetroffen op 27 oktober 2013, 26 oktober 2014 en 25 oktober 2015, allemaal tussen 2:00 en 3:00. Dit komt overeen met de overgang van zomertijd naar wintertijd.
- Meetreeks 87_1 - SH vertoont veel meetwaarden buiten meetbereik. Deze komen voor in september 2014 en februari tot mei 2015. De meetwaarden wijken af van de meetreeks tot september 2014.
- Daar waar sprake is van overgang van winter- naar zomertijd (klok een uur vooruit) is sprake van ontbrekende meetwaarden. Elke meetreeks heeft gemiddeld 30 dagen aan ontbrekende meetwaarden.
- Voor de periode tot medio februari 2014 is sprake van een meetfrequentie van een meting per minuut. Na medio februari 2014 is sprake van een afwijkende meetfrequentie, het meetinterval is vanaf dan eens per vijf minuten voor alle meetreeksen, uitgezonderd reeks 87_4 - BARO. Na september 2014 is regelmatig sprake van een afwijkend tijdsinterval.
- Voor meetreeks 87_4 BARO ontbreken meetwaarden. Vanaf februari 2014 is geen data meer opgenomen in het DDSC. Vanaf juni 2015 is voor waterspanningsmeters 87-1, 87-2 en 86-2 geen data beschikbaar in het DDSC.

Aandachtspunten dataset ten behoeve van analyse

Bij verdere analyse dient rekening gehouden te worden met voornoemde afwijkingen in de dataset. Voor enkele afwijkingen is correctie mogelijk. Daar waar meetwaarden ontbreken is het aan te bevelen te bekijken waar dit aan ligt. De oorzaak kan zijn dat sprake is van sensorfalen en/of dat data niet geleverd is door de leverancier. Een mogelijkheid is dat data wel is geleverd, maar niet geregistreerd is in het DDSC. Het is aan te bevelen dit uit te zoeken, aangezien de bruikbaarheid voor analyse met het aanvullen van de ontbrekende meetwaarden aanzienlijk wordt verbeterd.

3.6 Asfaltonderzoek

Binnen Fase 1 van het project LiveDijk XL Lauwersmeer is in september 2013 een 0-meting uitgevoerd op de kwaliteit van het asfalt van de Lauwersmeerdijk, tussen km85 en km86. De resultaten van deze meting zijn uitgebreid beschreven in het Monitoringsplan Lauwersmeerdijk zoals dat is opgeleverd door het consortium van Fase 1 van LiveDijk XL Lauwersmeer, onder penvoerderschap van Witteveen+Bos op 28 mei 2014 (ref GN207-2/14-011.063 Definitief Monitoringplan Lauwersmeerdijk).

Opdrachtgevers Stichting FloodControl-IJkdijk en Waterschap Noorderzijlvest hebben vervolgens aangegeven resultaten van de eerste meting veelbelovend te vinden, en een tweede en derde asfaltmeting te laten uitvoeren op de Lauwersmeerdijk, zowel tussen km85 en km86, als over de gehele strekking (Fase 2). Het doel daarbij was het bepalen van potentiële zwakke plekken in de asfaltbekleding en het in kaart brengen van mogelijke achteruitgang van deze plekken.



Figuur 3.9 Traject MIRA nulmeting asfaltkwaliteit, traject km85 – km86

Het project heeft bijgedragen aan het ontwikkelen van een effectieve en efficiënte manier om de mate, locatie en tijdstip van achteruitgang van het asfalt te bepalen.

Informatiebehoefte eindgebruiker

Ter plaatse van de Lauwersmeerdijk is een asfaltbekleding aanwezig. Deze asfaltbekleding is over een lengte van 7,2 km afgekeurd op zowel het faalmechanisme AGK (golfklap) als AES/AMT (ernstige schade/materiaaltransport). Voor de eindgebruiker, waterschap Noorderzijlvest, is continu inzicht in de sterkte van de dijk van belang. De sterkte van de dijk hangt onder andere af van deze asfaltbekleding waarmee het dijklichaam is afgedekt. De bekleding - die de dijk als een stevige schil afdekt - voorkomt dat golven en overslaand water de onderliggende grond kunnen verwerken en wegspoelen. Gedetailleerd inzicht in de kwaliteit van de asfaltbekleding, en de mate, locatie en tijdstip van mogelijke achteruitgang van zwakke plekken is de belangrijkste informatiebehoefte van de eindgebruiker.

Gebruikte technologie

Voor het asfaltonderzoek van de bekleding op de Lauwersmeerdijk is gebruik gemaakt van de passieve Microgolf Radiometrie, oftewel MIRA technologie van Miramap. Deze technologie meet de natuurlijke uitstraling van de ondergrond in het microgolvenbereik. Door het uitvoeren van niet-destructieve asfaltmetingen met MIRA wordt een gedetailleerde, vlakdekkende opname gemaakt. Dit ruimtelijk beeld geeft gedetailleerd inzicht in het vochtgehalte in het asfalt en de sterkte van de bekleding en is daarmee bruikbaar om zwakke plekken te lokaliseren en, door herhaaldelijk te meten, te volgen in de tijd. Op de aldus gelokaliseerde zwakke plekken is door middel van gerichte boorkernen een validatie en nadere inspectie uitgevoerd.

Miramap metingen

Om een nauwkeurig beeld te krijgen van het proces en snelheid van asfaltslijtage zijn drie metingen uitgevoerd over één kilometer (2013, 2014, 2015). Daarnaast is een meting over de volledige Lauwersmeerdijk (7km) uitgevoerd, om een gedetailleerd beeld van de actuele toestand voor de gehele strekke van afgekeurde asfaltbekleding op de Lauwersmeerdijk. De metingen zijn in aangrenzende lengteraaian uitgevoerd vanaf Miramaps quad. Deze is uitgerust met:

1. Twee MIRA sensoren voor het bepalen van de locatie van structuurvariaties/ holle ruimten /losliggende slijtlaag en het bepalen van vocht in asfalt en asfaltdikte (door met twee MIRA sensoren tegelijk in twee polarisaties te meten, is het mogelijk een Microwave Polarization Difference Index, MPDI, te bepalen, een maat voor de asfaltstructuur);
2. Een camera die foto's maakt van de bovenzijde van het asfalt (ter ondersteuning van de MIRA metingen, 'weet wat/waar je meet');
3. Een RTK GNSS ontvanger met een hoekmeter om de metingen exact te geo-refereren, de locatie van anomalieën exact te bepalen en bij een vervolgmeting mogelijke (hoogte) deformaties te ontdekken;
4. Een warmtebeeldcamera voor het bepalen van de asfalttemperatuur als ondersteuning bij het onderzoeken van opbollingen/frezen/lassen/patches.



Figuur 3.10 MIRA metingen met quad

Bepalen locatie boorkernen

Nadat de dijkvakken zijn ingewonnen, zijn de meetdata verwerkt en gevisualiseerd tot een gedetailleerde kaart met de actuele toestand van de afgekeurde asfaltbekleding op de Lauwersmeerdijk. Hierbij is de identificatie van

holle ruimten en losliggende slijtlaag (structuurvariaties) vanuit beheer perspectief het belangrijkste. Deze kaart is vervolgens nauwkeurig bestudeerd samen met de beheerder en de verdachte en interessantste plekken zijn hieruit bepaald. Dit zijn de plekken waar de beheerder nadere informatie van wil hebben: hoe slecht is zo'n plek, is op deze plek sprake van een losliggende slijtlaag (oppervlaktebehandeling), zijn er op deze plek holle ruimten in en/of onder het asfalt, wijkt de dichtheid van het asfalt hier af, of is het een plek die misschien al eerder vervangen? Op deze plekken zijn in totaal ruim tachtig boorkernen geboord.

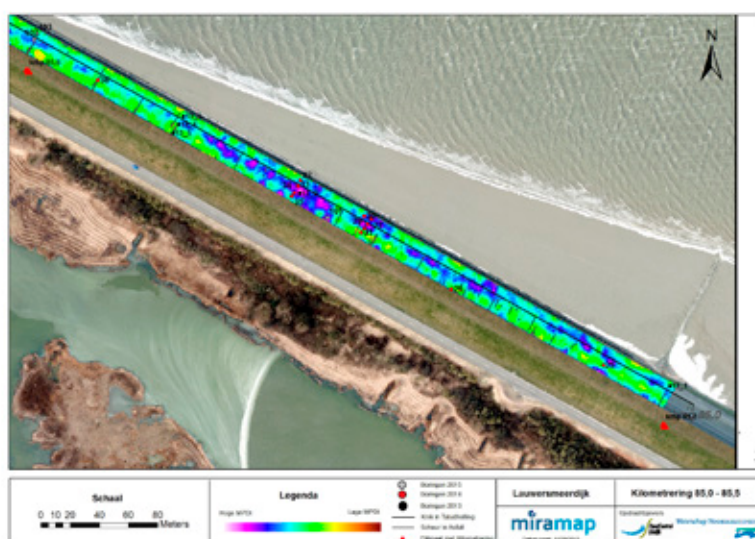


Figuur 3.11 Asfalt boorkern

Resultaten

Het totaal aan informatie (MIRA en boringen) geeft de beheerder inzicht in kwetsbare locaties, zodat indien nodig noodvoorzieningen kunnen worden getroffen. Daarnaast geven de metingen aan of de gehele asfaltbekleding dient te worden gereconstrueerd, of dat wellicht delen van de bekleding nog voor een langere periode veilig kunnen functioneren. De beheerder heeft het idee dat de asfaltkwaliteit de laatste tijd snel slechter is geworden. Dit is bevestigd met verschilbeelden tussen de MIRA metingen van 2014 en 2013, en die van 2015 en 2014.

Onderzoek Asfalt Dijkbekleding Lauwersmeerdijk 2015



Figuur 3.12 Voorbeeld presentatie MIRA resultaten

Naast de verschilbeelden is de beheerder geïnteresseerd in de sterkte van het asfalt. Uit dit onderzoek blijkt dat de MIRA metingen iets zeggen over de structuur van het asfalt, met name of er sprake is van een losliggende slijtlaag, of er holle ruimten in en/of onder het asfalt zijn en of de dichtheid van het asfalt afwijkt. Het is tot nu toe echter niet duidelijk in hoeverre deze indicatoren ook iets zeggen over de sterkte. Om hier meer duidelijkheid over te krijgen zijn de MIRA data in lengteprofiel van km 82,2 tot 86,0 vergeleken met de kans op overschrijden van de asfaltrek, die is berekend uit Val Gewicht Deflectie (VGD) metingen in 2009. De VGD methode wordt momenteel gebruikt bij het toetsen van asfaltdijkbekledingen. Daarin betekent een hogere kans op overschrijden van de asfaltrek een lagere sterkte. Tussen de MIRA methode en de VGD methode is een sterke overeenkomst te zien.

De overgangen tussen de zones met een hogere of lagere overschrijdingskans hebben een hoge correlatie met overgangen tussen de zones met een hoge of lage MPDI waarde van de MIRA metingen. Hieruit blijkt dat de MIRA metingen zeer waarschijnlijk kunnen worden herleid naar de sterkte van het asfalt. Nader onderzoek zou dat verder moeten uitwijzen. Een groot voordeel van de MIRA metingen voor sterkteberekeningen is dat de MIRA methode een gebiedsdekkende uitkomst geeft van directe puntmetingen, in tegenstelling tot de VGD methode waaruit om de 50 meter één sterkte waarde wordt berekend uit omringende zones van honderden meters.

De resultaten van de metingen zijn vastgelegd in een drietal rapportages. De nulmeting over km85 – km86 (2013) is vastgelegd in het 'Monitoringsplan Lauwersmeerdijk' [LMD 2014a]. De herhalingsmeting over km85 – km86 (2014) en de meting over de volledige 7 km (2014) zijn vastgelegd in de rapportage 'LiveDijk XL aanvullend asfaltonderzoek locatie Lauwersmeerdijk' [LMD 2015]. De derde herhalingsmeting over km85 – km86 en de verschilanalyse zijn vastgelegd in de rapportage 'LiveDijk XL aanvullend asfaltonderzoek locatie Lauwersmeerdijk - eindrapportage' [LMD 2016].

Wat heeft het project opgeleverd voor de eindgebruiker

De eindgebruiker heeft op een drietal momenten (2013, 2014, 2015) inzicht gekregen in de staat van het asfalt, de locatie van kwalitatief zwakke plekken, alsmede de mate van achteruitgang van de asfaltbekleding tussen 2013 en 2015. Deze informatie kan door de eindgebruiker worden gebruikt bij het beoordelen van de kwaliteit en het vormgeven van een beheer- en onderhoudsplan.

Wat heeft het project opgeleverd voor Miramap

Miramap heeft, dankzij het project, de MIRA meetmethode kunnen valideren en verder ontwikkeld. Op basis van advies van Witteveen en Bos zijn de meetmethode en de data-uitwerking en -analyse geoptimaliseerd:

- Meetmethode is gevalideerd door vergelijking met boringen.
- Meetmethode is vergeleken met (eerdere) valgewichtdeflectie (VGD) metingen.
- De data-inwinning is verder ontwikkeld door aanpassing van de manier van meten op specifiek asfaltdijkbekledingen, zoals bijvoorbeeld de rijsnelheid, mobiele stroomvoorziening genoeg voor hele meetdagen, het hantieren van een vaste sensorconfiguratie en de invloed van getij op de metingen.
- De data-uitwerking is verder ontwikkeld voor het vergelijken van datasets tussen verschillende jaren, het op elkaar kunnen leggen van grids, en het gericht selecteren van boorlocaties.

Andere veelbelovende toepassingen

De veiligheidsketen bestaat uit de stappen Toetsen, Ontwerpen, Realiseren, Beheer en onderhoud. In deze stappen zijn verschillende toepassingen mogelijk:

- Beheer en onderhoud - In het project LiveDijk XL Lauwersmeer is de MIRA-technologie ingezet om een gedetailleerd inzicht in de kwaliteit van de asfaltbekleding van afgekeurde dijkvakken te verkrijgen, en de mate, locatie en tijdstip van mogelijke achteruitgang van zwakke plekken voor de eindgebruiker (beheerder) in beeld te brengen. De beheerder gebruikt deze informatie als input voor (gehele of gedeeltelijke) reconstructie van de bekleding. Met andere woorden, de technologie is in dit project ingezet in de stap beheer en onderhoud.
- Toetsen – Een toepassing is het inzetten van de methode MIRA bij de toetsing van dijkvakken, zowel de 'continue toetsing' als de toetsing conform WBI 2017 (Waterwet). In het project is gebleken dat met de methode MIRA de kwaliteit en daarmee de sterkte van de asfaltdijkbekleding goed in beeld gebracht kan worden. De toetsing op basis van VGD is gebaseerd op puntmetingen om de 50 meter op het talud van de dijk, op basis waarvan via een model een dijkbekleding in delen van enkele kilometers wordt goed- of afgekeurd. Het is niet onwaarschijnlijk

dat binnen een dergelijk groot dijkvak voor toetsing meerdere kleine plekken ten onrechte worden goed- of afgekeurd. Een vergelijking met de VGD-methode leert dat MIRA geschikt is voor niet-destructieve, vlakdekkende sterktebepaling van het asfalt.

- Ontwerpen en realiseren – Een tweede veelbelovende toepassing is het inzetten van de methode MIRA bij het ontwerpen en realiseren van dijkverbeteringstrajecten. Zo is het bij een ontwerp interessant te weten hoe de dijk er precies bij ligt, om later bij de uitvoering niet voor verrassingen te komen staan. Bijvoorbeeld wanneer het ontwerp is om bestaande bekleding te overlagen, is inzicht in holle ruimte onder of in de huidige bekleding belangrijk. Bij diverse andere projecten is de methode al op deze manier ingezet. Daarnaast kan na de realisatie en aanleg van nieuwe bekleding het werk van de aannemer gecontroleerd worden met de methode MIRA. Hierbij is het zaak dat de methode wordt opgenomen in een inspectieprotocol.

3.7 Totaalbeeld dijktraject Lauwersmeerdijk

Zoals aan het begin is aangegeven is het verloop van het project Lauwersmeerdijk voor een groot deel anders verlopen dan oorspronkelijk gepland. De problematiek bij het Vierhuizergat en het 'ontbreken' van de aanvankelijk verwachte problematiek met piping hebben geresulteerd in andere ingrepen en andere vormen van monitoring. De oorspronkelijk geplande monitoring van de asfaltbekleding is overeind gebleven. De positieve resultaten van de testmeting hebben geresulteerd in het besluit om in fase 2 een 'nulmeting' te doen van de gehele Lauwersmeerdijk en 2 herhaalmetingen van het proefvak uit fase 1. Bij analyse is aandacht geweest voor het aantonen van veranderingen tussen de herhaalmetingen. Daarnaast is vergeleken in hoeverre de analyse-uitkomsten uit de boorkernen representatief zijn voor de gebiedsdekkende meting met de MIRA sensor.

3.8 Bijdrage aan doelen Waterschap Noorderzijlvest

Met langjarige monitoring van de Lauwersmeerdijk is tegemoetgekomen aan alle drie de door het Waterschap Noorderzijlvest gestelde doelen in het LiveDijk XL project. Onderstaand wordt een overzicht gegeven van de resultaten.

Doel 1: early warning

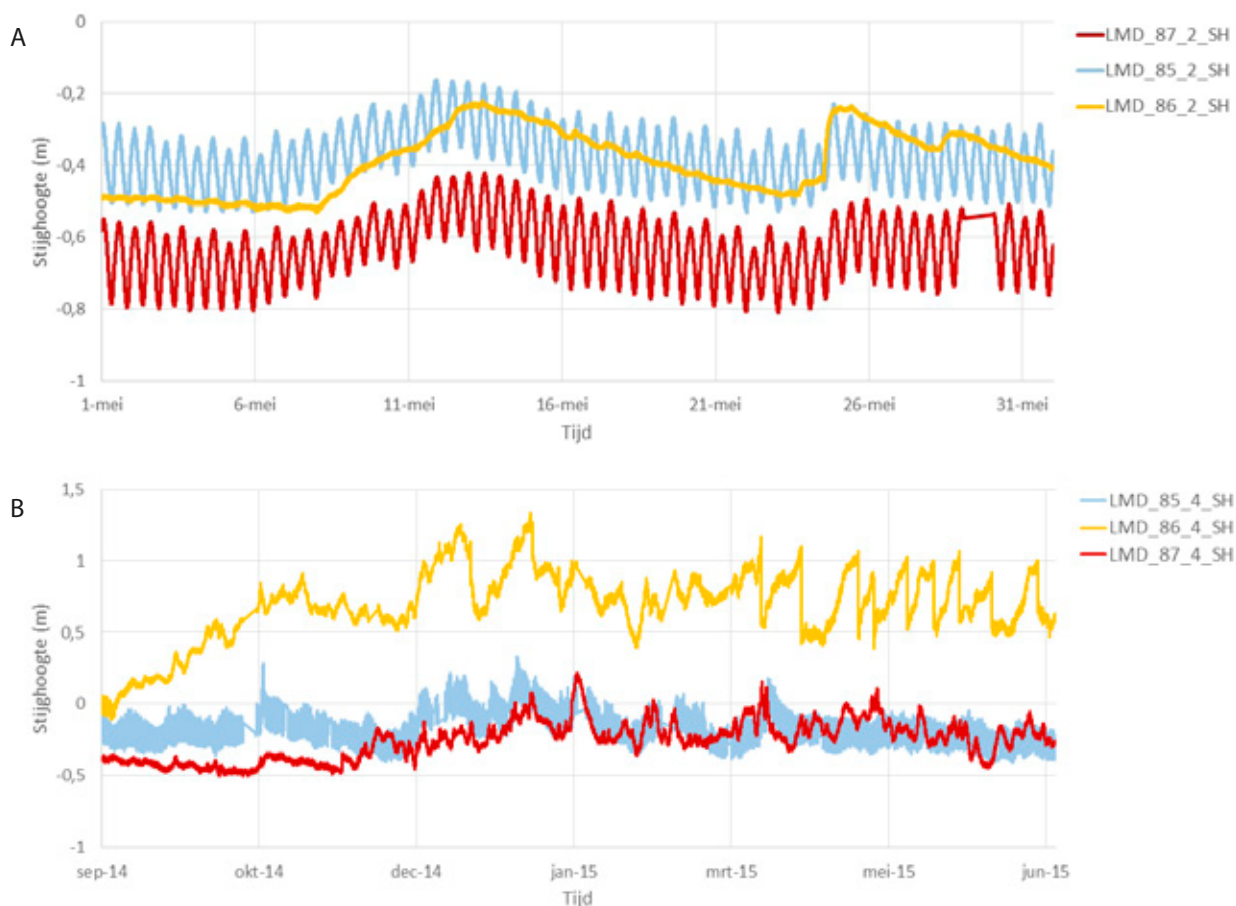
- Met de sensoren van StabiAlert zijn unieke gegevens over de 'bewegingen' van de dijk opgeleverd. Het waarnemen van de vervorming van de waterkering ten gevolge van de getijdebeweging was een verrassing. De aanwezigheid van de sensoren tijdens de dijkverbetering bood een veilig gevoel. De gedragingen van de dijk konden op afstand goed gevolgd worden. Eventuele benodigde actie kon daardoor snel in gang gezet worden. Dit is gelukkig niet nodig geweest. Snel inzetbaar bij geulprobleem (StabiAlert en Alert Solutions)
- Tijdens de Sinterklaasstorm zijn de sensoren benut als early warning systeem. Dit geldt tevens voor twee vrij hoge stormvloed in oktober 2014.
- Gedurende de meetperiode is soms sprake geweest van sterke, maar niet verklaarbare, schommelingen in de waterspanning. Een voorbeeld is de periode september 2014 – december 2014. De waterspanning bij km-paal 86 loopt dan plotseling op. Ter plaatse van de buitenteen gaat dit relatief geleidelijk. Bij de binnenteen stijgt de waterspanning medio november plotseling met circa 0,8m. In de periode januari – juni daalt de waterspanning aan de binnenzijde van de kering weer geleidelijk terug naar het oorspronkelijke niveau. Ter plaatse van de buitenteen resteert uiteindelijk een verhoging van circa 0,5 m (zie figuur 3.13 - B).

Doel 2: effectiever verbeteren

- Door het gebruik van de technologie van Miramap kon gericht worden vastgesteld waar de zwakke plekken van de asfaltbekleding zijn. Verificatie met boorkernen scoorde positief. Met deze nieuwe kennis is het mogelijk snel een beeld te krijgen waar (op korte termijn) preventieve 'herstelmaatregelen' nodig zijn. Dit betreft zowel onderhoudswerkzaamheden als dijkverbeteringsmaatregelen.
- Voorafgaand aan de ingreep bij het Vierhuizergat zijn helaas geen metingen verricht met waterspanningsmeters. Het lokale gedrag van de kering van voor de ingreep kennen we daarmee niet. Uit de meetgegevens is wel af te leiden dat ter plaatse van de grootste uitbouw van het onderwatertalud het gedrag op de getij/waterstandsbeving de meeste demping vertoont. Ook lijkt er een vertraging te zitten in de reactie van de waterstand in de

kering (zie figuur 3.13 - A). In hoeverre dit te wijten is aan de staalslakken is niet eenduidig te bepalen maar wel aannemelijk.

- Na het verbeteringswerk is er geen lokale wel achter de dijk meer geconstateerd.



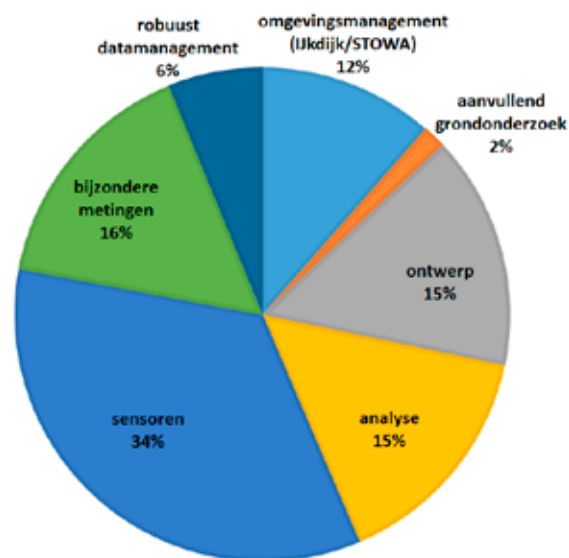
Figuur 3.13 Waterspanningen ter plaatse van binnenteen (A) en buitenteen (B)

Doel 3: effectiever beheren

Nu moet de Lauwersmeerdijk over de gehele strekking worden aangepakt maar daarmee zijn nog niet alle kilometers asfaltdijk van Noorderzijlvest 100% op orde. Er resteert nog circa 50 kilometer dijk met asfaltbekleding. Ook hier kunnen zwakke plekken aanwezig zijn. Juist in het kader van de 'nieuwe' zorgplicht loont het mogelijk om dit traject te onderzoeken met de technologie van Miramap en daarmee tot effectiever beheer te komen.

Kosten verhouding LiveDijk XL LMD

Bij elkaar is voor LiveDijk XL LMD ca. 0,6 MEuro excl. btw besteed. Figuur 2.17 geeft een indicatie van de verdeling naar de verschillende soorten bijdragen.



Figuur 3.14 Verdeling bestedingen consortium LMD

4 Dijk Data Service Centrum

4.1 Ontwikkeling en toepassing DDSC

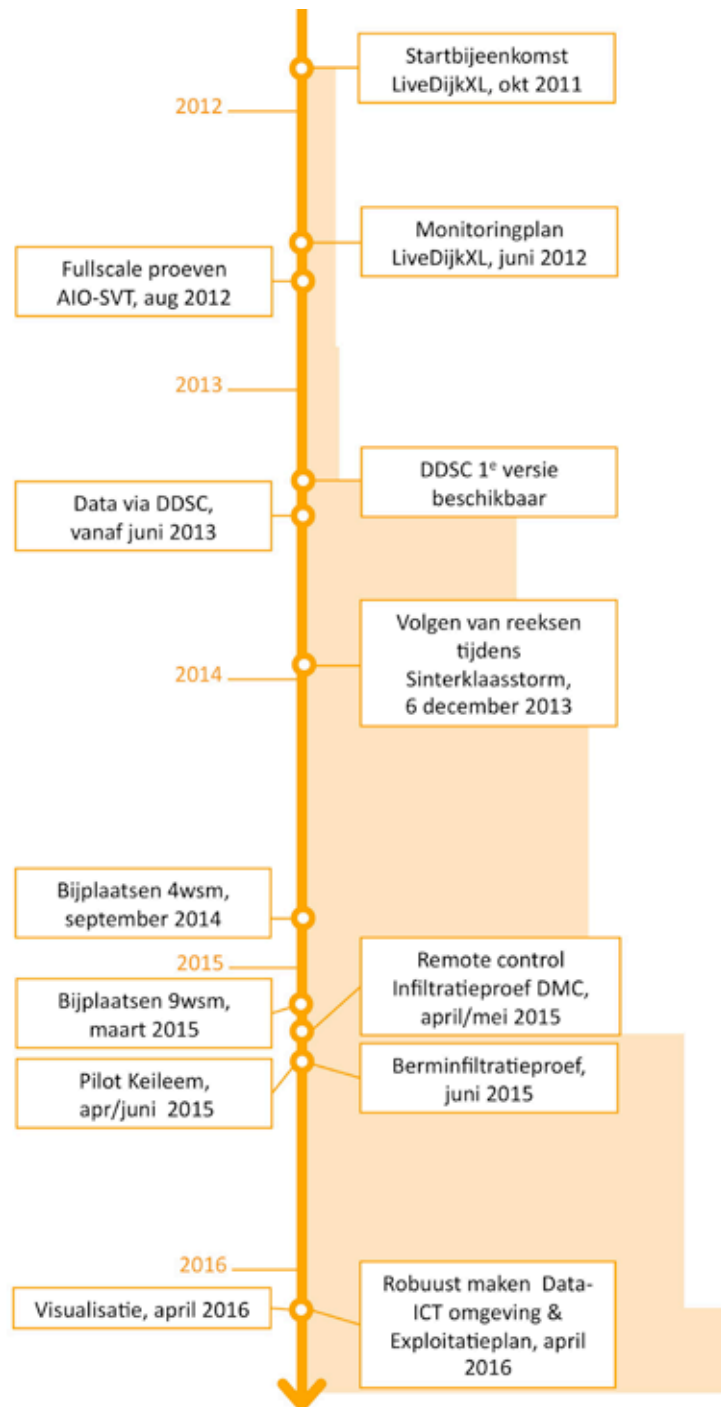
In 2011 is op initiatief van Stichting FloodControl IJkdijk (destijds Stichting IJkdijk) een initiatief ontwikkeld om te komen tot de ontwikkeling van een DDSC. Een consortium van Nelen en Schuurmans en Fugro realiseerde de bouw. DDSC staat voor Dijk Data Service Centrum. De wens voor een DDSC komt voort uit de ervaringen met eerste projecten waarbij er een grote hoeveelheid data beschikbaar komt. Vaak afkomstig van verschillende dataleveranciers. In 2013 is het Dijk Data Service Center (DDSC) in de eerste operationele versie beschikbaar gekomen en vanaf die periode ook benut voor het project LiveDijk XL

Het DDSC is een portal voor waterkeringbeheerders om monitoringsinformatie beheersbaar te verzamelen, op te slaan en beschikbaar te maken voor verdere verwerking en kan benaderd worden via www.ddsc.nl. Het DDSC is een systeem dat in nauwe samenwerking met de deelnemende waterkeringbeheerders is ontwikkeld. Het is specifiek gebouwd om zeer grote hoeveelheden data op een gestructureerde en uniforme manier op te slaan en beschikbaar te maken voor bewerking en analyse. Het gaat dan om data die afkomstig is van nieuwe monitoringssystemen voor dijken. Daarnaast worden de meetgegevens gecombineerd weergegeven met relevante andere statische databronnen zoals het AHN en de gegevens die in Dino-databases worden opgeslagen.

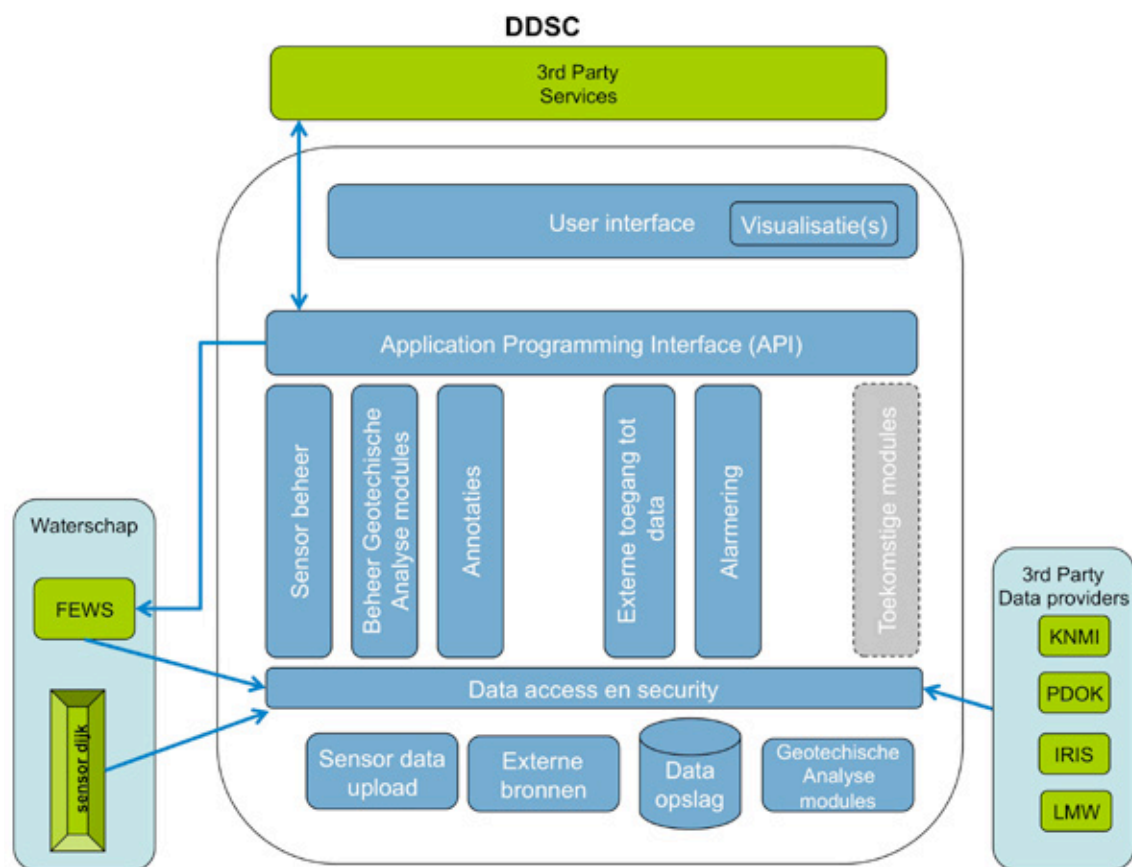
Naast vastleggen en uitwisselen van monitoringsdata wil het DDSC bijdragen aan:

1. standaardisatie;
2. meer kennis over het gedrag van de dijk;
3. kennisdeling;
4. open source code en open standaarden voor uitwisseling.

Het DDSC kan zowel series met vlakdekken-de meetgegevens (bv. remote sensing) als tijdreeksen op één vast punt vastleggen. De kern van het DDSC bestaat uit snelle en slimme database technologie. Deze database technologie wordt veel toegepast bij de ICT van sociale media. De technologie leent zich uitstekend voor het identificeren van patronen in datareeksen. Voor de analyse van gedrag van een dijk onder verschillende omstandigheden is dit veelbelovend. Externe aanbieders van gegevens zoals marktpartijen met monitoringssystemen krijgen toegang tot de DDSC API (application programming interface). Hier kan data worden opgeslagen en opgevraagd.



Figuur 4.1 Ontwikkeltraject en gefaseerde inzet DDSC



Figuur 4.2 Schema opbouw DDSC

4.2 Usecase LiveDijk XL

Na de installatie van de sensoren is gestart met het ontsluiten van de data in het DDSC. Ook is een aantal standaard kaartlagen uit de GIS-omgeving van het waterschap ingelezen. Deze omvatten gegevens van grenzen van het beheergebied, dijkpaalkilometers, sloten en watergangen, etc.

Voor de proeflocaties van het LiveDijk XL project is een aantal standaard locaties aangemaakt voor LMD en OMZD zodat deze dijkvakken snel geraadpleegd kunnen worden in het gebruik.

In het project LiveDijk XL zijn door een flink aantal verschillende partijen gegevens ingewonnen. Daarbij is steeds als uitgangspunt gehanteerd dat deze data via het DDSC ontsloten wordt zodat er vanaf de werkplek bij het waterschap of onderweg in het veld gebruik van kan worden gemaakt. De volgende databronnen zijn in het DDSC ontsloten.

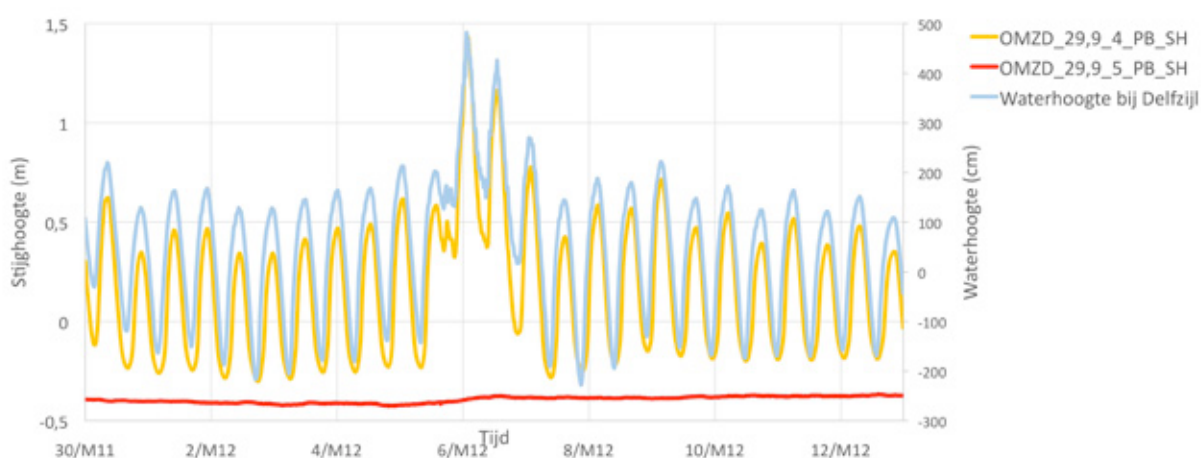
- Meetsystemen voor actuele systeem-informatie over toestand van de dijk
 - Waterspanningsmeters
 - Warmtebeelden
 - Actieve drainage
 - Meting buitenwaterstand
- Ontsluiten vaste omgevingsinformatie, o.a.
 - DINO
 - AHN2
 - GIS Waterschap

Voor een eerste uitleg over gebruik en toepassing van het DDSC is een zogenaamde use-case DDSC opgemaakt van de OZD. Hierin is in een aantal stappen het praktisch gebruik van het DDSC gedemonstreerd voor zowel betrokkenen binnen het waterschap Noorderzijlvest als voor geïnteresseerden van buiten de organisatie.

Operationeel gebruik tijdens de veldproeven

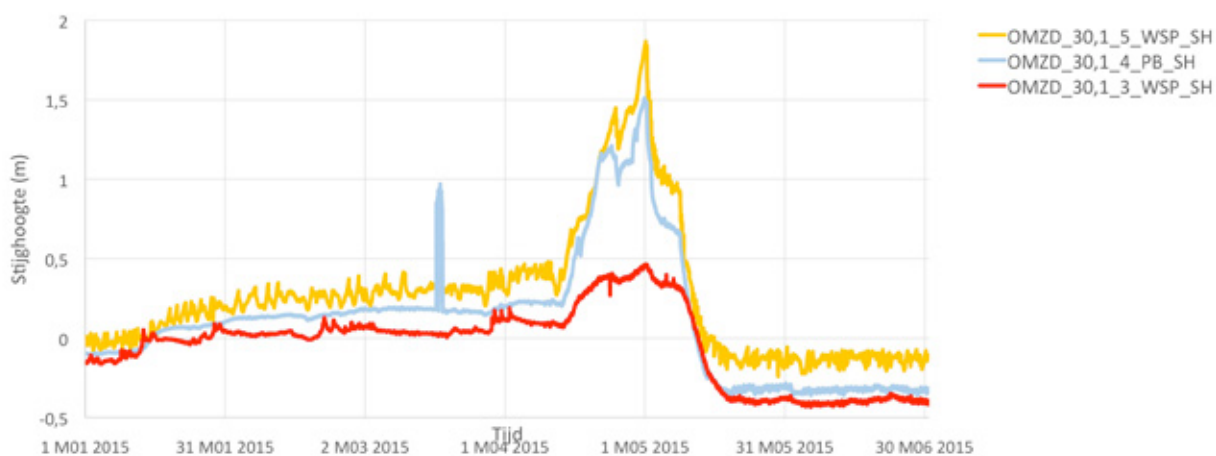
Het operationeel gebruik van het DDSC heeft tijdens de uitvoering van het project vorm gekregen. Het gebruik van het systeem binnen het waterschap, concentreert zich tot nu toe bij de projectleider LiveDijk XL Noorderzijlvest, de heer Jan Willem Nieuwenhuis. Daarnaast is het DDSC meermalen benut bij de verschillende deelfasen van het project. Opvallende zaken daarbij zijn:

- Tijdens de 5/6 decemberstorm van 2013 (St. Nicolaasstorm) bleek een actuele weergave van gegevens via het DDSC van nut bij het volgen van het verloop van de storm; na afloop van de storm zijn de gegevens van opgetreden waterspanningen geanalyseerd voor een beter begrip van het gedrag van de dijk



Figuur 4.3 Actuele informatie DDSC - decemberstorm 2013

- Tijdens de infiltratieproeven in het najaar 2014 en voorjaar 2015 bleek inzet van het DDSC van belang voor het actief controleren van waterspanningen in de dijk. Benutting van het DDSC maakte het mogelijk dat er op afstand kan worden bijgestuurd. Onderstaande figuur 4.4 werd met regelmaat tussen de deelnemers gedeeld en vergeleken met de waarnemingen in het veld en via andere monitoringsapparatuur waarmee er feitelijk sprake was van een op afstand bewaakte dijk.

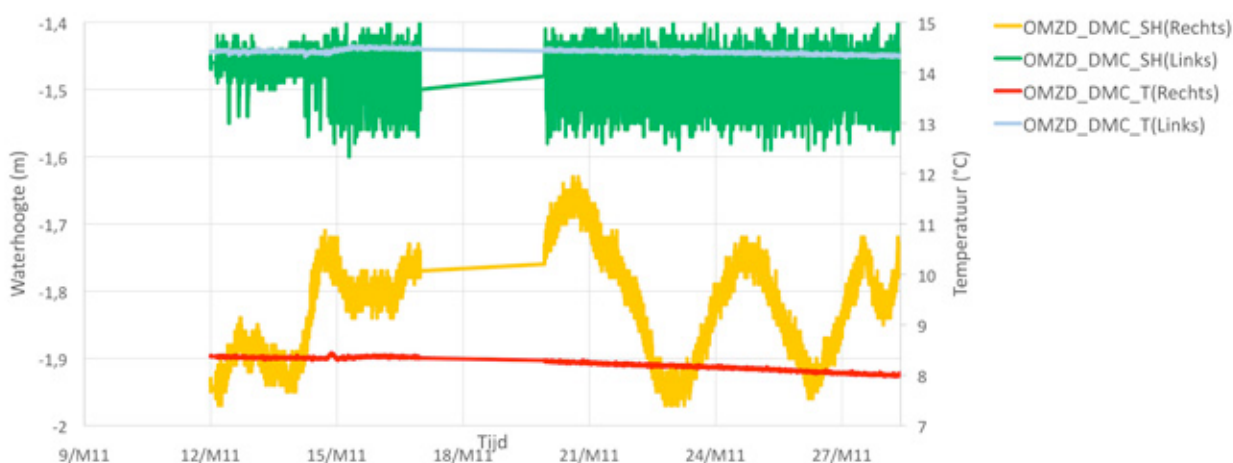


Figuur 4.4 Actuele informatie DDSC – infiltratieproef XL, voorjaar 2015

Kwetsbaarheden/Verbeterpunten

Tijdens het gebruik is er ook een aantal zaken aan het licht gekomen die onhandig/onwerkbaar bleken. Een aantal kon binnen het project worden opgelost; andere zijn als aandachtspunt genoteerd.

- De data komt soms met hapering binnen, hierbij vallen stukken data uit de reeks weg. Dit kan zowel bij de dataleverancier als bij het ontvangende DDSC een oorzaak kennen, maar dit is niet altijd duidelijk. Gevolg is dat de gebruiker wordt geconfronteerd met incomplete dataseries en dat is storend in het gebruik. Vaak blijft na signalering reparatie mogelijk, alleen dit is tot nu toe een tijdrovende bezigheid. Er is momenteel een functionaliteit in het DDSC beschikbaar om datagaten te signaleren maar nog niet alle toeleveranciers maken hiervan gebruik.



Figuur 4.5 Actuele informatie DDSC – haperingen in de datasets

- In het DDSC werden alle sensoren op een gelijke manier op een kaart weergegeven, namelijk als sensor met icoon. Dit leidde na toevoegen van datapunten van dataleveranciers als Intech en Hansje Brinker, die vlakdekkende informatie aanleveren, tot een enorme drukte in het kaartbeeld. Bij de visualisatie is nader gewerkt aan het inbrengen van layers voor individuele sensorgroepen waarbij de gebruiker zelf kan aangeven welke wel/niet te tonen. Hiermee is dit ongemak verholpen. Als work-around is er tijdens het project gekozen om genoemde dataleveranciers niet standaard te tonen op het kaartbeeld.
- Het maken van een exports uit DDSC van lange perioden was alleen mogelijk door data reeksen te splitsen. In de nieuwe versie van DDSC is dit probleem verholpen.

4.3 Verbeteringen en ontwikkelingen

Maatwerk wensen naar aanleiding van eerste gebruik

In 2014 is naar aanleiding van een periode van eerste gebruik een bijeenkomst georganiseerd om de ervaringen te delen met andere deelnemers/gebruikers van het DDSC. Uit deze bijeenkomst zijn een aantal verbeterpunten benoemd met de wens tot aanpassing in het DDSC. De gewenste aanpassingen hebben betrekking op:

- Aanpassen van DMC-userinterface tot interactief dashboard;** voor het DMC-systeem is in het DDSC een z.g. Dashboard aangemaakt. Dit dashboard biedt in één beeld een overzicht van het functioneren van het DMC-systeem en is gekoppeld met de server van het DMC. Via het dashboard is het mogelijk om in te loggen op dit server systeem. Hiervoor is aparte autorisatie blijvend gewenst uit veiligheidsoverwegingen.
- Aansturen van FEWS/DAM vanuit het DDSC voor aansturing van DAM modelberekeningen;** Op basis van de data in het DDSC kan een DAM berekening worden opgezet. De koppeling DDSC – DAM is in een proof-of-concept aanpak gerealiseerd. Waterspanningsgegevens worden benut voor het opstellen van een DAM berekening van actuele stabiliteit. Deze wordt terug geleverd naar het DDSC. Uit deze eerste versie is geconcludeerd dat dit technisch mogelijk is. In de nieuwe versie van het DDSC is dit verwerkt en is de nauwkeurigheid verbeterd.
- Wegwerken van hinderlijkheden in huidige UI n.a.v. gebruikerservaringen (selectie);** Een aantal verbeterpunten in de userinterface zijn doorgevoerd.

- Toevoegen van de mogelijkheid om te werken met grafisch GeoTiff format; De mogelijkheid om grafische data in te lezen is verder verbeterd.
- Opnemen van data Hansje Brinker en StabiAlert in het DDSC; Deze aanbieder leveren data en informatie over de dijken aan het waterschap. Hun data is geïntegreerd in het DDSC.

Analyse Robuustheid infrastructuur en implementatie

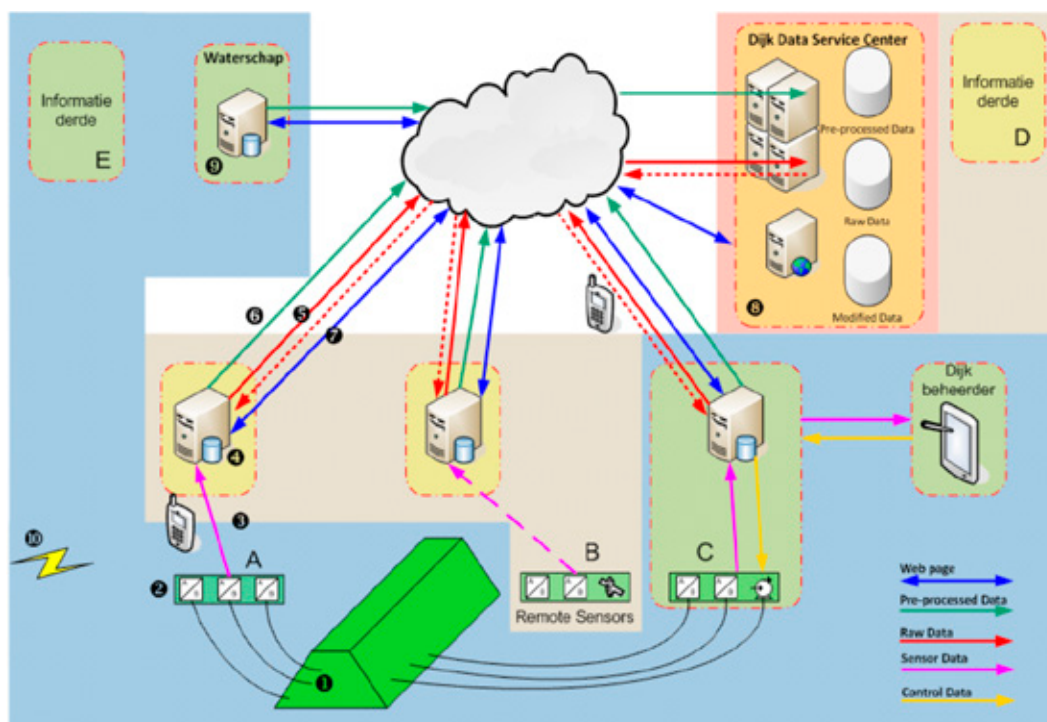
Door Siemens N.V. is een review uit gevoerd op de gerealiseerde data-ICT infrastructuur [DDSC 2013b]. De data-infrastructuur omvat de hardware en software van sensoren in de dijk, verbindingen naar server en communicatie met het DDSC. Aanleiding voor deze analyse is de notie van het projectteam van potentiële kwetsbaarheden in de ontstane data-infrastructuur van het project met het oog op duurzame inbedding na de projectperiode bij het waterschap. Hierbij is door projectpartner Siemens het perspectief van een proces-automatiseringsopgave ingebracht dat zij kennen vanuit hun werkpraktijk. Voor de analyse zijn de volgende onderzoeksvragen geformuleerd:

- Wat zijn de systeem- en gebruikseisen voor de gebruiker waterschap Noorderzijlvest; kunnen deze worden gekwantificeerd (o.a. robuustheid, beschikbaarheid, performance, etc.).
- Voldoet de gekozen systeemarchitectuur voor levering van monitoringsdata van sensorbedrijven via het DDSC naar de waterschap Noorderzijlvest o.b.v. te verkrijgen belangrijkste systeem- en gebruikseisen.

De analyse heeft een goed inzicht geleverd in de huidige typologie van de data-ICT infrastructuur terwijl het kwantificeren van systeem- en gebruikseisen alleen op hoofdlijnen mogelijk bleek.

Een belangrijke conclusie uit de analyse is dat de data-ICT-infrastructuur ontstaan en gebouwd is in het project zonder strikte toepassing van architectuur principes en dat er daardoor kwetsbaarheden zitten in het data-ICT-infrastructuur door de decentrale toelevering van gegevens via derden. Een centrale server op locatie van het waterschap met directe toelevering van data vanuit de sensoren zou dat kunnen opheffen (lokale intelligentie toevoegen).

Een volledig herinrichting en herbouw van de data-ICT-architectuur vallen buiten de scope en mogelijkheden van het project LiveDijk XL. Wel kunnen een aantal maatregelen worden genomen om de geconstateerde



Figuur 4.6 Typologie architectuur overzicht LiveDijk XL (bron: Siemens)

kwetsbaarheden te reduceren. Hiervoor wordt verwezen naar het door TNO uitgevoerde quick-wins analyse met een concrete aanpak in stappen [DDSC 2015a].

Gerealiseerd: Visualisatie

In het project LiveDijk XL is opgenomen dat er na een initiële periode van inwinning werk gemaakt wordt van visualisatie van de dataset in het DDSC. In 2014 is hiervoor reeds een uitvraag uitgezet bij de deelnemers van Stichting FloodControl IJkdijk naar partijen die geïnteresseerd zijn in deze visualisatie. In 2015 is een aanpak nader uitgewerkt door een consortium van partijen met penvoering door Nelen en Schuurmans. In overleg met de beheerder (Noorderzijlvest) zijn rondom de volgende thema's aanpassingen gerealiseerd:

- Verbeterde integratie van het Fews-DAM-model met het DDSC; nadruk ligt hierbij op het verbeterde datakwaliteit.
- Upgrade van user-interface met inzet van bewezen visualisaties vanuit de Lizard omgeving.
- Koppeling met Success dashboard voor visualisatie van informatie voor bestuurders.
- Meer robuuste datakoppeling in samenspraak met sensordata aanbieders.

Een meer technische beschrijving van de aanpak is opgenomen in het plan van aanpak van het consortium [DDSC 2015b].

Gerealiseerd: Aquathon

Naast deze projectinspanning van visualisatie omvat het deelproject ook de organisatie van een hackaton evenement gericht op creativiteit in samenwerking met derden. Deze noemen we voor de gelegenheid een Aquathon en wordt als volgt omschreven:

Waterschap Noorderzijlvest en Stichting IJkdijk voeren gezamenlijk het innovatieproject LiveDijk XL uit. In de Stichting FloodControl IJkdijk is een groot aantal (markt)partijen waaronder NOM, TNO en Target betrokken. Het project beoogt om door middel van nieuwe technologie en intensieve monitoring bij te dragen aan veilige dijken in Groningen. Van een aantal dijkvakken is inmiddels een flinke hoeveelheid data beschikbaar gekomen. Deze is on-dergebracht in een landelijke database met de naam DDSC. Deze database is inmiddels bij een flink aantal andere waterschappen (o.a. Vallei en Veluwe, Waternet, Rivierenland, HDSR) in gebruik voor het vastleggen van allerhande parameters.

Voor het benutten van deze data willen de partners specialisten, creatieve denkers en ICT'ers uitdagen om met nuttige toepassingen te komen om het innovatiepotentieel volledig te ontsluiten. Dit is gedaan in de vorm van een Hackaton: gedurende één weekend samenwerken met alle stakeholders, waar onder programmeurs, start-up bedrijfsleven en ICT experts werken aan nuttige ICT applicaties voor het waterveiligheidsopgave van morgen. De beste realisaties zijn beloond met een budget om het idee uit te werken tot volwaardige app. Het evenement is georganiseerd in de stad Groningen in het weekend van 20-22 mei 2016. Voor de resultaten wordt doorverwezen naar de website <https://www.aquathon.nl>.

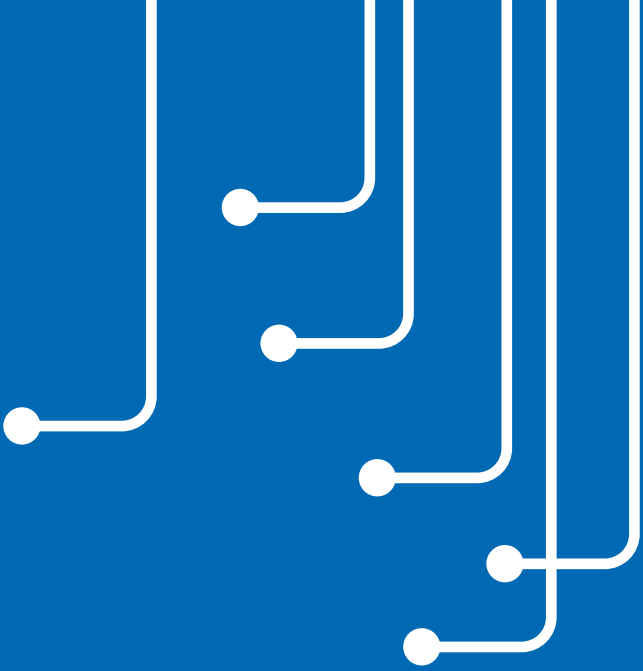
4.4 Exploitatieplan

Om het beheer en onderhoud van het sensor systeem en de toelevering naar het online DDSC platform te borgen wordt gewerkt met een onderhoudscontract met een dienstverlener. Hiermee wordt, ondanks de staking van activiteiten door de oorspronkelijke leverancier, ook in de komende jaren het sensorsysteem in de lucht te houden. Per januari 2016 is een exploitatiecontract afgesloten tussen het waterschap en VolkerWesselTelecom. Deze partij zal de werking van de sensoren en het goede verloop van de datastromen van de sensoren naar het DDSC actief monitoren. Bij een storing wordt de beheerder ingeseind en wordt er actie ondernomen om de problemen in het veld te lokaliseren en op te lossen. Totaal worden circa 50 sensoren op deze wijze beheerd.

4.5 Conclusies en Lessons learned

Tijdens het project hebben we door het benutten van het DDSC platform ook een aantal zaken geleerd op die voor een volgende projectuitvoering van belang kunnen zijn:

- Bij het gebruiken van een online dataplatform DDSC wordt de data geleverd door derden. Dit zijn de sensor/data leveranciers. Wensen ten aanzien van de aanlevering moeten vooraf duidelijk zijn en worden geborgd in contracten om implementatie daadwerkelijk te realiseren. Het aansluiten van sensoren op het online DDSC platform vereist de nodige ICT knowhow die met eenmalige projectfinanciering ook eenmalig wordt ingekocht door de sensor/dataleveranciers.
- Tijdens de infiltratieproef bleek als leerpunt ook de noodzaak voor proceschecks duidelijk. Het leerpunt hier is dat je goede procescontroles uitvoert voordat de beschikbaarheid van het systeem kritisch wordt. Nu moest er soms worden teruggevallen op handmatige metingen/waarnemingen omdat de online ontsluiting van gegevens niet werkte.
- Er is gewerkt aan een DMC dashboard vanuit het DDSC. Daarbij is ook het plan opgevat om een directe doorlink met eenmalige authenticatie naar het technische beheer portal van het DMC mogelijk te maken. Hierbij bleek in de uitvoering dat de veiligheid onvoldoende geborgd was door het open karakter van het DDSC en is ervan afgezien. Algemene toegankelijkheid en veiligheid zijn daarmee makkelijk te verenigen.
- De link met de DMC poort wijzigde in de loop van de tijd waardoor een periode in de data niet zichtbaar is.
- De verwerking van puntmetingen / tijdreeksen in het DDSC bleek in het project van meerwaarde. Vlakdekkende informatie en andersoortige informatie bleek in praktische zin lastig verwerkbaar.
- We zijn geconfronteerd met wijzigingen/beëindiging van de bedrijfsvoering bij toeleverende partijen. Ook hebben sensoren niet het eeuwige leven. Dit leidde ertoe dat naarmate het project vordert er meer inspanning nodig is om alles draaiende te houden, ook zijn sommige componenten niet 1-op-1 te vervangen en leidt dit lokaal tot herontwerp. Deze exploitatie taak moet voldoende zijn belegd binnen het project.



5 Conclusies en aanbevelingen

5.1 Behaalde doelen

Onderstaande tabel geeft aan in welke mate op dit moment aan de in paragraaf 1.1 genoemde doelstellingen van het waterschap Noorderzijlvest en van de stichting FloodControl IJkdijk is voldaan. Dit is uiteraard slechts een momentopname want het systeem blijft in gebruik. Zodoende komen er ook weer nieuwe ervaringen.

Tabel 5.1 Behaalde doelen

Doel	OZD	LMD
Waterschap Noorderzijlvest		
1. Early warning tot dijkversterking	Sinterklaasstorm	Vierhuizergat probleem
2. Effectiever verbeteren	ROI=10x	prioriteren asfaltwerk
3. Effectiever beheren voor en na dijkversterking	deklaaggedrag	asfaltconditie
Stichting FloodControl IJkdijk		
4. Validatie nieuwe monitoringtechnieken	geobeads / IR / DMC	Miramap
5. Combineren in een geïntegreerde aanpak	infiltratieproef	asfaltconditiebepaling
6. Opdoen gebruikservaringen met DDSC	ontsluiten dataset	ontsluiten dataset

Toelichting:

1. Bewaken van de veiligheid van de afgekeurde dijken tot deze zijn verbeterd.
De periode vanaf afkeuren tot de dijkversterking kan in sommige gevallen circa 10 jaar bedragen, dus een significante periode waarin een verhoogd overstromingsrisico wordt gelopen. Dit vraagt om aanvullende calamiteitenbeheersing. Monitoring is hier een onmisbaar onderdeel van. Bij LiveDijk XL heeft dit bijvoorbeeld tijdens de Sinterklaasstorm de beheerder geholpen, omdat de monitoring aantoonde dat de effecten op de dijkveiligheid beperkt bleven.
2. Leveren aanvullende informatie t.b.v. de verbeterwerken.
Bovenbedoelde tussenliggende periode kan worden benut om de informatie die straks nodig is voor de dijkversterking stapsgewijs en daardoor efficiënter in kaart brengen. Maak daarbij gebruik van hiertoe beschikbare financiering vanuit het HWBP; het doel is immers verkleining van de versterkingsopgave. Bij OZD kan met de aanvullende informatie uit LiveDijk XL de versterkingsopgave significant worden verkleind, waardoor de investering zich naar verwachting in het dijkversterkingsproject met een factor 10 zal terugbetalen. Bij LMD kan met de informatie over de asfaltconditie een prioritering in de versterkingsopgave worden aangebracht. Tevens zorgt inzicht in de asfaltconditie ervoor dat de aannemer bij aanvang van de versterkingsopgave weet wat hij kan verwachten en een gefundeerde keuze kan maken tussen vervangen of overlagen of een combinatie van beide.
3. Het monitoren van de dijkvakken voor, tijdens en na de verbeterwerken.
De dijkspecteurs kunnen hun kennis inbrengen in het monitoringproject, en andersom de kennis en inzichten uit het monitoringsproject daarna weer gebruiken in hun normale inspectiewerkzaamheden. Immers, een beter inzicht in het gedrag van de dijk betekent een beter begrijpen wat bepaalde waarnemingen op de dijk betekenen voor de veiligheid. Bijvoorbeeld wat is de onderliggende oorzaak van natte plekken en wat betekent dit voor de veiligheid van de dijk? Of: wat zijn de verschillen in grondwaterstand langs het beschouwde dijktraject, hoe kunnen deze worden verklaard en wat is de impact hiervan op de dijkveiligheid? Bij de OZD is deze interactie een belangrijke succesfactor gebleken voor de infiltratietest. Het daaruit voortvloeiende inzicht in de kwetsbaarheid en het gedrag van de op sommige locaties zeer dunne deklaag kan goede diensten bewijzen bij de dijkbewaking. Bij de LMD kunnen inspecties van de asfaltbekleding gerichter worden ingezet. Een aandachtspunt is nog het in gebruik na afloop van het LiveDijk XL project. Daarvoor is per 1 januari een exploitatieplan in werking

gegaan. Volker Wessels draagt zorg voor het dagelijkse beheer- en onderhoud voor het systeem en is verantwoordelijk voor de borging van dataleverantie van sensoren naar het DDSC. VolkerWessels Stevin opereert als serviceprovider voor een aantal sensor leveranciers

4. Validatie nieuwe innovatieve monitoringtechnieken.

Er is een groot aantal nieuwe technieken toegepast. Hiermee is beter inzicht gekregen in de gebruikswaarde en gebruiksbependingen:

- GeoBeads bleken in zand zeer goede resultaten te geven en in veen niet te werken;
- IR bleek goede aanvulling voor 24/7 monitoring tijdens risicovolle werkzaamheden;
- Met de DMC kan de belasting in de dijk zeer effectief worden gemanipuleerd;
- Miramap bleek bruikbaar vlakdekkende conditiebepaling van asfaltbekleding;
- Geoflight metingen gaven in diep en troebel water geen bruikbare resultaten.

5. Combineren van monitoring technieken in een geïntegreerde aanpak

Hier spelen verschillende aspecten een rol:

- Voor een goed ontwerp van het monitoringsysteem is het van belang om (lieft vooraf) zoveel mogelijk informatie te verzamelen. Dit betreft het al beschikbare grondonderzoek, maar bijvoorbeeld ook de historische gegevens van de dijk, ontwerp- en as-built tekeningen van de laatste dijkversterking(en). De bevestiging van de aanwezigheid van de oude kleidijk en het met monitoring aantonen van het gunstige effect op de dijksterkte bleek bij de OZD van groot belang te zijn.
- Combinatie van vlakdekkende conditiemetingen van asfalt door Miramap met puntsgewijze traditionele valgewichtdeflectie technieken als ijking om betrouwbare, gedifferentieerde uitspraken over de toestand van het asfalt te kunnen doen.
- Om een goed inzicht in het gedrag van de dijk te krijgen, is een combinatie van verschillende monitoring-technieken nodig. Nut en noodzaak van de gebruikte technieken is onder andere aangetoond bij de full-scale infiltratieproef op de OZD. Een bijkomend voordeel is, dat de afhankelijkheid van een enkele monitoringtechniek wordt beperkt. Dit is van belang, omdat een leverancier tussentijds kan 'omvallen'.
- Monitoring betekent dat het gedrag van de dijk over meerdere jaren wordt gevolgd. Dit geeft ook de mogelijkheid om het monitoringsysteem stap voor stap op te bouwen, waarbij de ervaring uit de ene stap wordt benut voor het optimaliseren van de volgende stap. Deze strategie is bij de OZD met succes toegepast.

6. Opdoen van gebruikservaringen met het DDSC

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

5.2 Conclusie: begint eer ge bezint

De waterbouw is 'lean and mean'. De weinige projecten waar het waterschap de kans krijgt om het gedrag van de dijk gedurende een langere tijd te volgen, leveren daarom ook snel meer inzicht op. Het heeft daarom voordelen om dit niet uit te stellen totdat er een concrete onontkoombare opgave ligt, maar op basis van bij de beheerder al aanwezige kennis en ervaring een proeftraject aan te wijzen en daar de eerste ervaringen op te gaan doen met langjarige monitoring.

Het tijdig beginnen heeft veel organisatorische voordelen:

- Er kan al met een beperkte inzet worden begonnen, die stap voor stap kan worden uitgebreid. Bij langer meten kom je steeds weer op meer inzicht, van de ene bevinding kom je tot ene volgende actie. Hiermee bouw je aan de kennis van een dijk.
- Er is een stapsgewijze opbouw van de benodigde budgettering. Hierbij kan in elke stap het budget mede worden afgestemd op de te verwachten baten.

- Naarmate je eerder begint is het handelingsperspectief voor het waterschap groter dus zullen ook de baten van monitoring voor het waterschap groter zijn.
- Een goede inbedding in het waterschap en het betrekken van meerdere afdelingen binnen het waterschap heeft baat bij een rustige stap voor stap benadering.
- Ook de samenwerkende partijen in een langdurend meetproject kunnen hun onderdelen steeds beter op elkaar en op de vragen bij het waterschap afstemmen.

Het monitoren over langere tijd heeft technische consequenties:

- Hoe langer je meet, des te groter de kans dat er in de meetperiode ook een hogere belastingsituatie optreedt. Dit vergroot de waarde van de informatie. De tijdsduur die je nodig hebt om het systeem te leren kennen, hangt onder andere af van het soort dijk en de omstandigheden. Bij een dijk aan een meer heb je meer tijd nodig om het gedrag in voldoende contrasterende omstandigheden te meten, dan bij een dijk in een getijdegebied.
- Componenten met een korte levensduur zullen tussentijds vervangen moeten worden, of de toepassing ervan moet vermeden worden.
- De betrouwbaarheid van de toegeleverde sensordata moet op een aantal momenten worden gecontroleerd en vastgelegd: voor installatie (af fabriek), na installatie, periodiek tijdens normaal gebruik, tijdens en na onderhoud, voorafgaand aan een geplande of voorspelde kritische situatie.
- Bij langjarige monitoring dienen de technische, organisatorische en budgettaire afspraken worden verduidelijkt en vastgelegd in een exploitatieplan.

Een kritische succesfactor is het hebben van een 'ambassadeur' in het waterschap die met name in de opstartfase op zowel het niveau van de dijkinspecteurs, de technisch- en beleidsmedewerkers als op het niveau van dijkgraaf en management het vuurtje brandend houdt.



6 Reflectie LiveDijk XL

6.1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt het project LiveDijk XL geëvalueerd. Het doel van deze evaluatie is om inzicht te krijgen in de uiteindelijk gerealiseerde projectaanpak en waar deze verschilde van de in eerste instantie voorgestelde aanpak. De eerst voorgestelde aanpak sloot aan bij de gebruikelijke werkwijze van onderzoeksprojecten op dijken, zoals bijvoorbeeld wordt uitgevoerd bij de toetsing/beoordeling van dijken. Bij de uitvoering bleek dat een andere aanpak nodig was bij de toepassing van innovatieve technieken dat uiteindelijk leidde tot nauwkeurigere en betrouwbaarder inzicht in de dijk.

In paragraaf 6.2 wordt de projectaanpak geëvalueerd waarin ook de consortiumvorming aan bod komt. Daarna volgt in paragraaf 6.3 de evaluatie van de planvorming en in paragraaf 6.4 een procesevaluatie over de samenwerkingsvorm en de totstandkoming van de gesloten contracten. Ten slotte volgen in paragraaf 6.5 conclusies en aanbevelingen, zoals geformuleerd op basis van de opgedane ervaringen bij de LiveDijk XL Noorderzijlvest.

6.2 Projectaanpak en consortiumvorming

Waterschap Noorderzijlvest en stichting IJkdijk (met haar partners TNO, NOM, STOWA en Deltares), thans FloodControl IJkdijk, werkten in 2010 tot 2011 het projectplan LiveDijk XL uit. In dit projectplan werd voorzien in de monitoring van 2, mogelijke 3 locaties, te weten:

- de Ommelanderveedijk bij Delfzijl
- de Lauwersmeerdijk
- de dijk langs het Eemskanaal

Aanvullend op de gestelde inhoudelijke doelstellingen (bewaken veiligheid, inwinning informatie en behoefte van verbeterwerken, monitoring tijdens en na de realisatie van verbeterwerken) was het een expliciet doel om gevalideerde innovatieve meetsystemen toe te passen in het project. Om hier de kans op toepassing hiervoor zo groot mogelijk te maken, werd aan Deltares gevraagd om op basis van functionele specificaties een meetplan op te stellen. Het stellen van functionele specificaties laat de ruimte voor toepassing van innovaties groot.

Op basis van het meetplan werden bij IJkdijk aangesloten bedrijven (monitoringsbedrijven, ingenieurbureaus, ICT-experts, etc.) verzocht om aanbiedingen op te stellen voor het inhoudelijk invullen van het LiveDijk XL concept. Hierbij werd in eerste instantie gefocust op de locaties Ommelanderveedijk en Lauwersmeerdijk. Als verplichting werd meegegeven dat er als onderdeel van te vormen consortia ten minste één partij aangesloten moest zijn die geotechnische expertise en ervaring inbracht zijnde niet een kennisinstelling. De reden hiervoor was dat juist deze partijen zorg moesten dragen voor de vertaling van ingewonnen meetdata naar informatie over de sterkte en het gedrag van de kering in relatie tot de gestelde doelen. Daarnaast werd verplicht gesteld dat toe te passen meetsystemen innovatief waren, maar zich reeds bewezen hadden in bijvoorbeeld bezwijkexperimenten of iets soortgelijks.

Uit de toetsing op veiligheid was geconcludeerd dat op beide locaties andere faalmechanismen speelden. Bij de Noorderzijlvest en IJkdijk bestond de verwachting dat door de verschillende locaties en faalmechanismen twee verschillende consortia zouden ontstaan die ieder werkten aan een eigen voorstel. Na enkele maanden doorlooptijd werd door de groep bedrijven echter aangegeven dat men niet tot consortiumvorming kwam. De primaire reden die hiervoor werd aangevoerd was dat bij de bedrijven het overzicht ontbrak van wat ieder partij gerelateerd aan de gestelde doelen in consortiumverband kon inbrengen. Tevens was het niet helder hoe de samenwerking met de andere partijen kon worden vormgegeven opdat samenwerking zou leiden tot een kansrijk team én toepassing van relevante systemen en technieken.

Aan stichting IJkdijk werd door zowel het bedrijfsleven als Noorderzijlvest gevraagd om hierin sturend op te treden. Er is vervolgens in samenwerking met Deltares voor de locaties Lauwersmeerdijk en Ommelanderveedijk, op basis van de kennis en kunde van partijen, gekoppeld aan de faalmechanismen op de locaties, een advies voor consortiumvorming opgesteld. Deelnemers konden zich vinden in het gegeven advies en vond elkaar in de consortia die vervolgens ook werden gerealiseerd. De gevormde consortia werkten vervolgens voor beide locaties plannen van aanpak uit.

De doorlooptijd van de consortiumvorming betrof uiteindelijk meer dan een half jaar, waardoor het niet meer mogelijk bleek om voor het stormseizoen van 2012 tot realisatie van monitoringssystemen te komen. Uitzondering hierop vormde de installatie van een referentiemonitoringsysteem rond het Dijk Monitorings- en Conditionerings-systeem (DMC) dat in september/oktober 2012 werd gerealiseerd.

De conclusie die na het voorbereidingstraject werd getrokken, is dat het na succesvolle validatie van meetsystemen niet vanzelfsprekend is dat marktpartijen elkaar weten te vinden. Men moet nog kennisnemen van de nieuwe meet-systemen, het te leren toepassen en er mee om te leren gaan. Er moet nog meer begrip komen voor wat de mogelijkheden voor toepassing zijn, gerelateerd aan de vraag van de waterkeringbeheerder. Er bleek actieve sturing nodig te zijn om tot consortiumvorming en realisatie van projectplannen te komen waarin gevalideerde innovaties werden toegepast.

6.3 Planvorming

6.3.1 Lauwersmeerdijk

Bij de Lauwersmeerdijk was instabiliteit van de vooroever (zettingsvloeiing) een belangrijk mechanisme. Tevens speelde piping mogelijk, maar hier waren zowel Noorderzijlvest als de betrokken experts van ingenieursbureaus en Deltares niet zeker van. Daarom werd nader onderzoek uitgevoerd. In de periode dat er nader onderzoek werd uitgevoerd bleek de mogelijke instabiliteit van de vooroever echter een veel groter probleem te zijn dan in de toetsing werd aangenomen.

Waterschap Noorderzijlvest bleek in 2012 gedwongen tot het uitvoeren van versterkingsmaatregelen op zeer korte termijn. Hierdoor vervielen de kansen voor een project op de Lauwersmeerdijk. Vervolgens is door het Lauwersmeerdijk consortium, IJkdijk en Noorderzijlvest gezocht naar een geschikt alternatief om piping en stabiliteit nader te onderzoeken. Deze werd gevonden in de Eemskanaaldijk. Besloten werd om locaties langs de Eemskanaal dijk te selecteren om daar het LiveDijk onderzoek toe te passen. Begin 2012 ontstonden er echter door zware regenval in Noord-Nederland hoogwaterproblemen waardoor de dijk langs het Eemskanaal met zandzakken moest worden versterkt. Noorderzijlvest heeft vervolgens met grote spoed dijkversterking op deze locaties gerealiseerd waardoor ook hier het voorziene LiveDijk project geen doorgang kon vinden.

Op de Lauwersmeerdijk zijn echter, zoals ook is gerapporteerd in deze rapportage, metingen naar de kwaliteit van de asfaltbekleding uitgevoerd.

Geconcludeerd kan worden dat door optredende belasting van de dijken de sterkte van de dijken negatief werd beïnvloed waardoor de dijken moesten worden versterkt. De verhouding tussen in praktijk aangetoonde sterkte onder belasting en theoretisch berekende sterkte bleek van belang. Deze constatering heeft mede bijgedragen aan het ontwikkelen van het concept van stresstesten.

6.3.2 Ommelanderzeedijk

Voor de Ommelanderzeedijk leek van tevoren duidelijk te zijn welke faalmechanismen een rol speelden. Het consortium stelde echter voor om monitoringssystemen in fasen toe te passen. Zodoende konden onduidelijkheden die naar voren waren gekomen uit een eerste monitoringsfase nader worden geanalyseerd en worden vergeleken met de toetsresultaten. Op basis van de resultaten van deze eerste monitoringsfase, zou een tweede monitoringssysteem worden ontworpen en geïnstalleerd.

Deze voorgestelde aanpak resulteerde in de maanden na installatie van het DMC in een projectvoorstel dat de steun had van Noorderzijlvest en IJkdijk (thans FloodControl IJkdijk). Voor het stormseizoen van 2013 was het eerste fase-monitoringssysteem operationeel en startten de metingen.

Op basis van de verkregen meetresultaten uit de eerste monitoringsfase bleken er aanvullende vragen te bestaan over de bodemopbouw, infiltratiesnelheid van water door de bekleding onder maatgevende omstandigheden en de maximale grondwaterstand in de dijk tijdens maatgevende omstandigheden. Het idee ontstond om een infiltra-

tieproef met het DMC uit te voeren in combinatie met infiltratieproeven op de bekleding van de dijk; het concept van belastingsproeven, die later stresstesten zijn gaan heten, werd hiermee verder uitgewerkt.

Het belasten van een primaire zeewering in functie met maatgevende omstandigheden is complex. In de planvorming werd daarom niet alleen op de in te winnen monitoringsgegevens gefocust, maar trad ook de calamiteitenorganisatie van Noorderzijlvest in functie zodat deze adequaat kon reageren op het moment dat dit onverhoopt nodig mocht blijken. De belastingsproef/stresstest werd echter zo nauwkeurig gemonitord, dat iedere kans op escalatie richting calamiteit daarmee bleek te worden vermeden.

In het project LiveDijk XL is gekozen voor een flexibele, gefaseerde aanpak in de uitvoering van het project alsmede in het projectontwerp. Daardoor kon steeds effectief gebruik worden gemaakt van de meest recente kennis en kon het project efficiënt worden bijgestuurd om de te behalen doelen te realiseren. Daarnaast is de tijd genomen en gegund waardoor deze flexibiliteit kon worden gerealiseerd.

Er wordt geconcludeerd dat het belangrijk is bewust tijd te nemen voor de uitvoering van dijkmonitoringsprojecten. Daarbij is het essentieel voldoende flexibiliteit in te bouwen in het plan van aanpak om ook gaandeweg het project de uitvoering en aanpak te kunnen aanpassen en het project te kunnen bijsturen. Daarbij moet de te verzamelen data en informatie én de reeds beschikbare/verzamelde data en informatie over de hele levenscyclus beschouwd, dus niet alleen voor de fase (versterking, beheer, toetsing) waarin of waaraan op dat moment wordt gewerkt.

6.4 Procesevaluatie samenwerkingsvorm en contracten

Bij aanvang van het project LiveDijk XL had het bestuur van Noorderzijlvest in afwachting van financiering door het ministerie van I&M een krediet ter beschikking gesteld zodat gestart kon worden met de realisatie van het project LiveDijk XL. Complicerende factor was echter dat over de voorwaarden voor uitvoering nog werd onderhandeld tussen het ministerie en stichting IJkdijk en dat de voorwaarden daarmee nog niet definitief waren gesteld. Ieder van de in de consortia betrokken partijen reageerde hier anders op.

Het ene consortium hamerde op het belang van duidelijke voorwaarden en wilde deze eerst op schrift zien voordat aan inhoudelijke uitwerking werd gewerkt. Dit consortium stelde zich formeel op als ware zij opdrachtnemer die met een opdrachtgever onderhandelde. Ondertussen werd wel aan het plan van aanpak gewerkt.

Het andere consortium vertrouwde erop dat de nog overeen te komen voorwaarden tussen I&M en de stichting niet in hun nadeel zouden uitpakken en realiseerde hun plan van aanpak op korte termijn. De insteek die dit consortium hanteerde was dialoog. Omdat het in dit project ging om de eerste praktijktoepassing van gevalideerde innovaties wat complex is, werkt de dialoog daarom beter dan de standaard verhoudingen van opdrachtgever-opdrachtnemer.

De conclusie die hieruit getrokken wordt staat ook de conclusie uit paragraaf 6.2. Bij de eerste toepassing van gevalideerde innovaties komt heel wat kijken. Niet alleen zijn er technische uitdagingen, maar ook organisatorische en contractuele uitdagingen. Samenwerkingsverbanden zijn beter toepasbaar in deze fase van ontwikkeling en eerste praktijktoepassingen dan het verstrekken van opdrachten in de traditionele rolverdeling. Daarbij dient opgemerkt te worden dat ook opdrachten in samenwerkingsvorm of -verband gegoten kunnen worden.

6.5 Conclusies en aanbevelingen

Dijkmonitoringsprojecten, waarin gevalideerde innovatieve meetsystemen in combinatie met andere (waaronder traditionele) meetsystemen worden toegepast, zijn complex. In de LiveDijk XL zijn succesvol gevalideerde innovatieve meetsystemen naast reguliere meetsystemen toegepast. Partijen wisten elkaar echter pas te vinden na actieve sturing van een derde, onafhankelijke partij. Daarna bleken zij gezamenlijk in staat om tot realisatie te komen van een complex project waarin gevalideerde innovatieve technieken, traditionele meetsystemen en het innovatie DijkMonitorings en Conditionerings-systeem (DMC-systeem) werden gecombineerd in een dijkmonitoringsproject en belastingsproeven (stresstest).

Geconcludeerd wordt dat in de fase waarin de stap van gevalideerde innovatie naar reguliere toepassing nog wordt gezet, actieve sturing op consortiumvorming nodig is om tot toepassing te komen in praktijksituaties van gevali-

deerde innovatieve meettechnieken en belastingsproeven. Vervolgens wordt in samenwerking tussen de consortia, onafhankelijke adviseurs (kennisinstellingen, stichting IJkdijk) en de beheerder de koppeling gelegd tussen de meetsystemen, geotechniek, waterveiligheid en waterveiligheidsdoelstellingen.

De complexiteit om van gevalideerde innovatie naar toepassing in reguliere situaties te komen is in dit project naar voren gekomen. De problematiek richt zich niet alleen op de techniek, maar ook op samenwerkingsvorm, contractuele afspraken, benodigde flexibiliteit en vertrouwen. Geadviseerd wordt om de ervaringen uit dit project te vertalen in een *best practises* voor beheerders, bedrijfsleven en kennisinstellingen. Hierin kan worden aangegeven hoe complexe en innovatieve dijkmonitoringsprojecten en –meetsystemen kunnen worden toegepast in diverse situaties, variërend van regulier in primaire processen tot in onderzoek en ontwikkeling.

Onderdeel van deze best practices is het verspreiden van ontwikkelde kennis binnen het netwerk van FloodControl IJkdijk maar zeker ook daarbuiten. Daarbij kan worden aangesloten op het Kennisplatform Dijkmonitoring, de cursus Dijkinformatie voor beheer en versterking en andere cursussen van de Stichting Wateropleidingen, de opleidingen van het HWBP, symposia etc. Actieve ondersteuning hiervan is noodzakelijk.

De enige succesvolle innovatie, is een gevalideerde innovatie die wordt toegepast in de praktijk in primaire processen. Pas bij toepassing is benutting van aangetoond potentie mogelijk en kan valorisatie plaatsvinden. LiveDijk XL is hiervan een succesvol voorbeeld gebleken.

7 Toekomstvisie

7.1 Toekomstvisie in 2005

Het is 2005... er doet een verhaal de ronde dat er gewerkt werd aan meetsystemen voor dijken die het inzicht in dijken zouden moeten gaan verhogen, tot een hogere mate van waterveiligheid zou moeten leiden en efficiëntcyvergroting door ontwikkelingen vorm te geven vanuit de gedachte van transsectorale kruisbestuiving. Een stevige en gedurfde ambitie in een sector waarin Nederland als wereldspeler fungeert. Een nieuwe stap in de sector na de realisatie van de Deltawerken.

Met de afronding van de *State of the Art rapportage*, waarin de resultaten van de LiveDijk XL zijn opgenomen, blijkt veel van deze ambitie aangetoond te zijn. Technisch blijkt veel mogelijk te zijn. Aangetoond is dat het investeren in dijk-informatie zowel op de korte als lange termijn veel oplevert. Centraal punt van de ontwikkelingen in FloodControl IJkdijk-verband blijken data en informatie te zijn, en wel *Big Data* en informatie. Met relatief geringe inspanning is er veel data en informatie over dijken in te winnen of blijkt reeds beschikbaar te zijn in databases (zoals het AHN, DINO, beheerregisters, etc.). De combinatie van deze data en informatie levert de meerwaarde ten opzichte van de traditie. Het combineren van deze data en informatie is echter ook een grote uitdaging. Gebruikelijke modellen zijn niet ingericht op continue berekeningen. Daarnaast is er in deze modellen geen ruimte voor metingen anders dan de invoerparameters. Toch kunnen andersoortige metingen belangrijke aanvullende informatie leveren over de toestand van de waterkering.

7.2 Toekomstvisie 2016

Anno 2016 gaan de ontwikkelingen door. In andere sectoren, zoals wegbeheer, gezondheidszorg, beveiliging en astronomie is het gebruik van *Big Data* al langer gemeengoed. De theorie en praktijk van *Life Cycle Management* onderbouwen de noodzaak van goede data en informatie in voldoende omvang voor het nemen van betrouwbare beslissingen over het levenscyclusbeheer van infrastructuur. Ervaringen in de civiele techniek tonen aan dat een efficiëncyslag van 10 tot 20% realiseerbaar is. Deze efficiëncyslag levert niet alleen een financiële besparing op, maar een hogere efficiency (effect per bestede euro) en een hogere mate van waterveiligheid door een vergroot inzicht in het gedrag van dijken.

Het combineren van verschillende databronnen is in de projecten op kleine schaal succesvol gebleken. Het blijkt echter dat het op grote schaal combineren van deze bronnen een andere wijze van dataverwerking vergt. patroonherkenning in grote datasets is hierbij met name kansrijk. Hierbij wordt gebruik gemaakt van kunstmatige intelligentie en machine learning. Zo doet kunstmatige intelligentie voorzichtig zijn intrede in de dijkdata-analyse.

De uitdaging ligt in het omgaan met steeds grotere datasets en het voorspellend karakter van de dijkdata-analyses: kan afwijkend gedrag tijdig worden gedetecteerd of zelfs worden voorspeld? Onder tijdig worden zowel de korte termijn ((bijna) calamiteiten en bijzondere situaties) als de lange termijn (regulier onderhoud, toetsing, versterking) verstaan; het omvat daarmee alle fasen van de levenscyclus; data en informatie vormen de rode draad hierin.

Hoe ziet het punt op de horizon eruit? Komt er een alles integrerend en overziend digitaal intelligent systeem dat ons waarschuwt wanneer dat nodig is? De verwachting is dat de mens voor waterveiligheid de besluiten blijft nemen en dat data en ICT een steeds grotere rol gaan spelen, zoals dat in andere sectoren ook plaatsvindt. Door gebruik te maken van big data analytics in waterveiligheid, wordt op de langere termijn meer kennis ontwikkeld over dijkgedrag en -veiligheid, worden nieuwe inzichten ontwikkeld. Van data, via informatie naar betrouwbaardere handelingsperspectieven voor keringbeheerder.

Voor het goed en betrouwbaar inzichtelijk hebben van de waterveiligheid, moeten methoden worden ontwikkeld die gebruik maken van alle data en informatie die over de dijk beschikbaar is. Ga niet meer uit van reguliere sommen, maar kijk breder, pas big data analytics toe en verken wat het oplevert. De eerste resultaten afkomstig uit de LiveDijk projecten stemmen positief.

Daarnaast biedt big data analytics de mogelijkheden voor het betrouwbaarder, nauwkeuriger, kortom efficiënter sturen op beheer, onderhoud, versterking en noodmatregelen. De reactietijd wordt in deze omstandigheden verkort omdat kennis (digitaal) wordt gedeeld door omzetten hiervan in referentie-situaties, waar actueel optredend dijkgedrag mee vergeleken wordt.

Nederland kan de ontwikkelingen van de afgelopen jaren aangrijpen om koploper te worden in deze nieuwe vorm van waterveiligheid. Het levert bij gebruik niet alleen de Nederlandse partijen (keringbeheerders, bedrijfsleven, kennisinstellingen en de belastingbetaler) iets op voor de thuissituatie, maar biedt ook kansen voor export. Nederland kan de wereldmarktleiderspositie claimen voor slimme dijken en moet dat ook doen!

En nu... Kansen te over! Verzilveren is echter noodzakelijk. De oproep is gericht aan de waterkeringbeheerders, kennisinstellingen en het bedrijfsleven: past toe wat is ontwikkeld om in de toekomst gesteld te staan voor betrouwbaar, nauwkeurig en eigentijds waterveiligheidsbeheer en om de gedane investeringen terug te verdienen.

Bronnen en onderliggende documenten

ALG IJkdijk algemeen

- ALG 2009a IJkdijk programma 2010 - 2012. Rapport IJkdijk, 29 sept 2009
- ALG 2009b Eindrapport validatie-experiment macro-instabiliteit, proeflocatie Bellingwolde
- ALG 2010c Eindrapport validatie-experiment piping, proeflocatie Bellingwolde
- ALG 2013 AIO-SVT: uitvoering proeven augustus 2012, rapportage maart 2013

LXL LiveDijkXL voorbereiding

- LXL 2011a Plan van Aanpak Livedijken NZV DG Water KF, 10 maart 2011
- LXL 2011a Startbijeenkomst LiveDijk XL Noorderzijlvest Maandag 31 oktober 2011
- LXL 2011b Presentatie monitorlocaties – projectbijeenkomst 14 december 2011
- LXL 2012a Monitoringsplan LiveDijk XL Noorderzijlvest, Deltares rapport 1205450-000, juni 2012
- LXL 2012b Grondonderzoek t.b.v. DMC-plaatsing Fugro 2012

OZD Ommelanderzeedijk

- OZD 2012 3D ondergrondmodel LiveDijkXL Ommelanderzeedijk, Fugro powerpoint presentatie, 19 oktober 2012. Interne presentatie bij Siemens
- OZD 2013a Projectplan LivedijkXL – Waterschap Noorderzijlvest, locatie Ommelanderzeedijk. InTech, Fugro, Landustrie, Volker Wessels Telecom, Alert Solutions, Siemens, 7 februari 2013 (opdrachtverlening 13 feb 2013)
- OZD 2013b Continue monitoring voor Ommelanderzeedijk, artikel Land en Water nr. 5, mei 2013
- OZD 2013c Opleverdocumentatie Alert Solutions fase 1, 14 juni 2013
- OZD 2013d Rapportage geotechnisch veldwerk, Fugro, Ingenieursbureau BV, opdracht 5012-0117-011, d.d. 26 september 2013
- OZD 2013e Rapportage geotechnisch veldwerk, Fugro, Ingenieursbureau BV, opdracht 5012-0117-010, d.d. 11 oktober 2013
- OZD 2013f Presentatie data-analyse Ommelanderzeedijk, 5 november 2013
- OZD 2014a LiveDijkXL Ommelanderzeedijk, eerste analyse meetresultaten. Rapport 1212-0075-002.R01, 25 maart 2014
- OZD 2014b LiveDijkXL Ommelanderzeedijk, tweede meetresultaten. Rapport 1212-0075-002.R01v2, 5 december 2014
- OZD 2014c Projectplan LivedijkXL – Waterschap Noorderzijlvest, locatie Ommelanderzeedijk, fase 2. InTech, Fugro, Landustrie, Volker Wessels Telecom, Alert Solutions, 26 juni 2014.
- OZD 2014d LiveDijkXL Ommelanderzeedijk fase 2: resultaten Infiltratieproef XL. Rapport 1212-0075-004, 2 december 2014.
- OZD 2014e Notitie bijplaatsing sensoren / bestuursnotitie
- OZD 2015a LiveDijkXL Ommelanderzeedijk fase 2: resultaten DMC infiltratieproef. Rapport 1212-0075-005a, 4 juni 2015.
- OZD 2015b LiveDijkXL Ommelanderzeedijk fase 2b: resultaten berminfiltratieproef XL. Rapport 12-0075-005b, 22 juni 2015 (concept).

LMD Lauwersmeerdijk

- LMD 2013a Verslag vaststellen informatiebehoefte en invulling aanpak Lauwersmeerdijk (fase 1), kenmerk GN207-1/zutd/013, d.d. april 2013.
- LMD 2013b Plan van Aanpak LiveDijk XL - monitoring Lauwersmeerdijk, definitief, GN207-1/zutd/014 d.d. 27 juni 2013.
- LMD 2013c Beoordeling meetconfiguratie Alert Solutions BV, definitief, GN207-1/zeir/015 d.d. 27 juni 2013.
- LMD 2013d Definitief installatieplan, Alert Solutions, d.d. 26 augustus 2013
- LMD 2013e Verslag bespreking installatieplanning d.d. 25 juli 2013, definitief GN207-1/stam2/017, d.d. 9 september 2013.

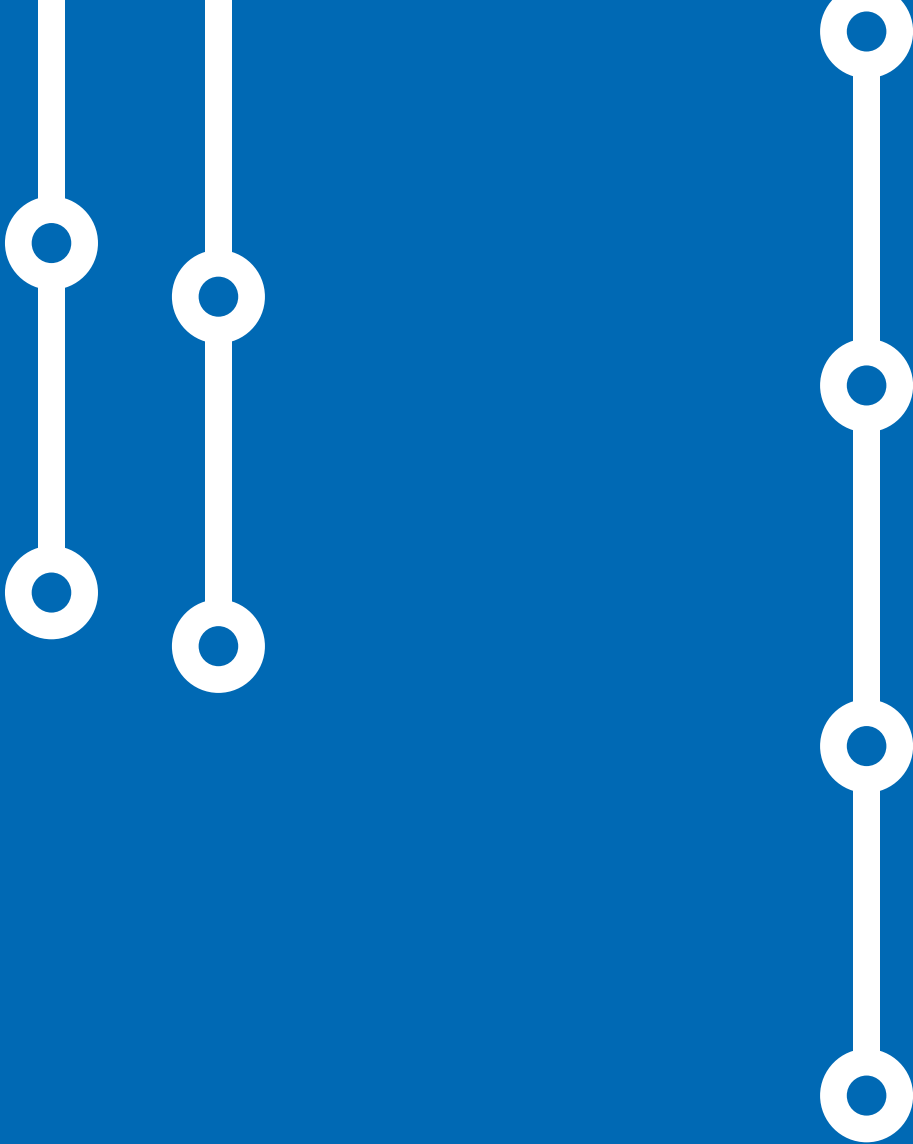
- LMD 2013f Rapportage geotechnisch veldwerk, Fugro, Ingenieursbureau BV, opdracht 5012-0117-011, d.d. 26 september 2013
- LMD 2013g Verslag overleg afronding installatiewerkzaamheden d.d. 25 september 2013, kenmerk GN207-1/kolm/018, definitief, d.d. 23 oktober 2013
- LMD 2013h Verslag project overleg d.d. 26 november 2013, GN207-1/13-002.025
- LMD 2013i Notitie datacontrole waterspanningsmeters en afronding SAT Lauwersmeerdijk, kenmerk GN207-1/13-000.217 definitief d.d. 3 december 2013
- LMD 2014a Monitoringplan Lauwersmeerdijk, definitief, GN207-2/14-011.063 d.d. 27 mei 2014.
- LMD 2014b Verslag FAT WSM's AlertSolutions, definitief, GN207-1/14-011.377, d.d. 4 juni 2014
- LMD 2015 Rapport 'LiveDijk XL aanvullend asfaltonderzoek locatie Lauwersmeerdijk' d.d. 17 februari 2015
- LMD 2016 Rapport 'LiveDijk XL aanvullend asfaltonderzoek locatie Lauwersmeerdijk – Eindrapportage' d.d. 18 februari 2016.

DDSC [Dijk Data Service Center](#)

- DDSC 2013a Notitie maatwerk wensen tbv DDSC, NZV, 2013
- DDSC 2013b Adviesrapport Architectuur & topologie LiveDijk XL Noorderzijlvest, Siemens, 31 augustus 2013
- DDSC 2015a Quickscan robuustheid LiveDijk XL v2.0, TNO, 27 januari 2015
- DDSC 2015b LiveDijk XL visualisatie en robuust systeem, Nelen en Schuurmans, versie 28 augustus 2015

[Overige geraadpleegde bronnen](#)

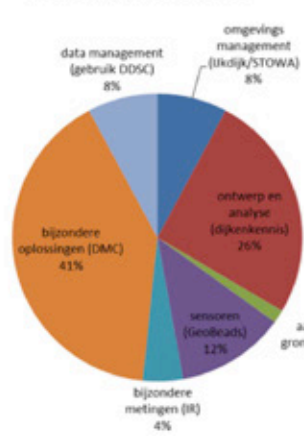
- ENW 2010 Piping, realiteit of rekenfout? Vrijling et al., onderzoeksrapport ENW, 2010
- TFDT 2015 Pilot Keileem, rapport 1 aanleg steunberm. Antea Group in samenwerking met Taskforce Deltatechnologie, 24 oktober 2015



BIJLAGE

Bijlage 1a OMMELANDERZEEDIJK - OVERZICHTSBLAD

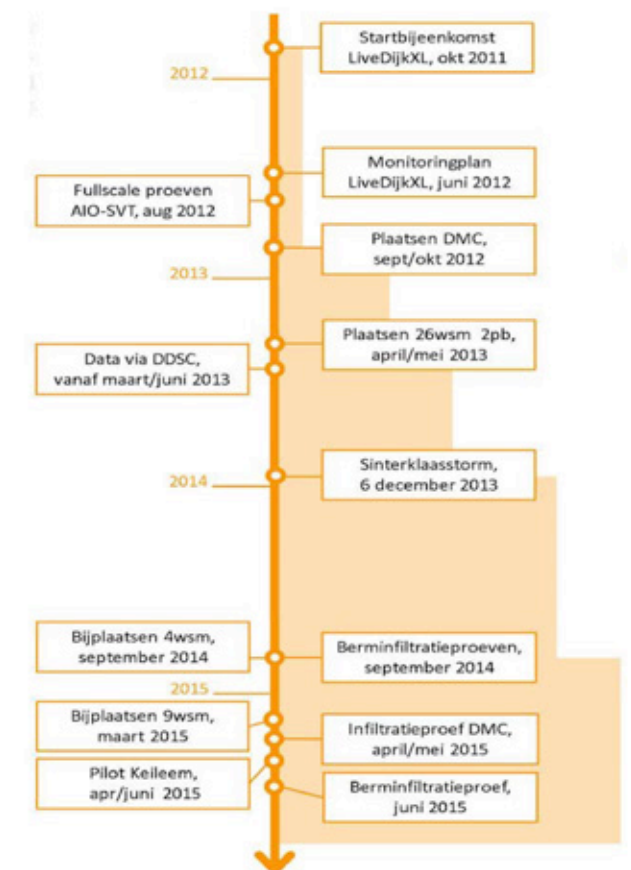
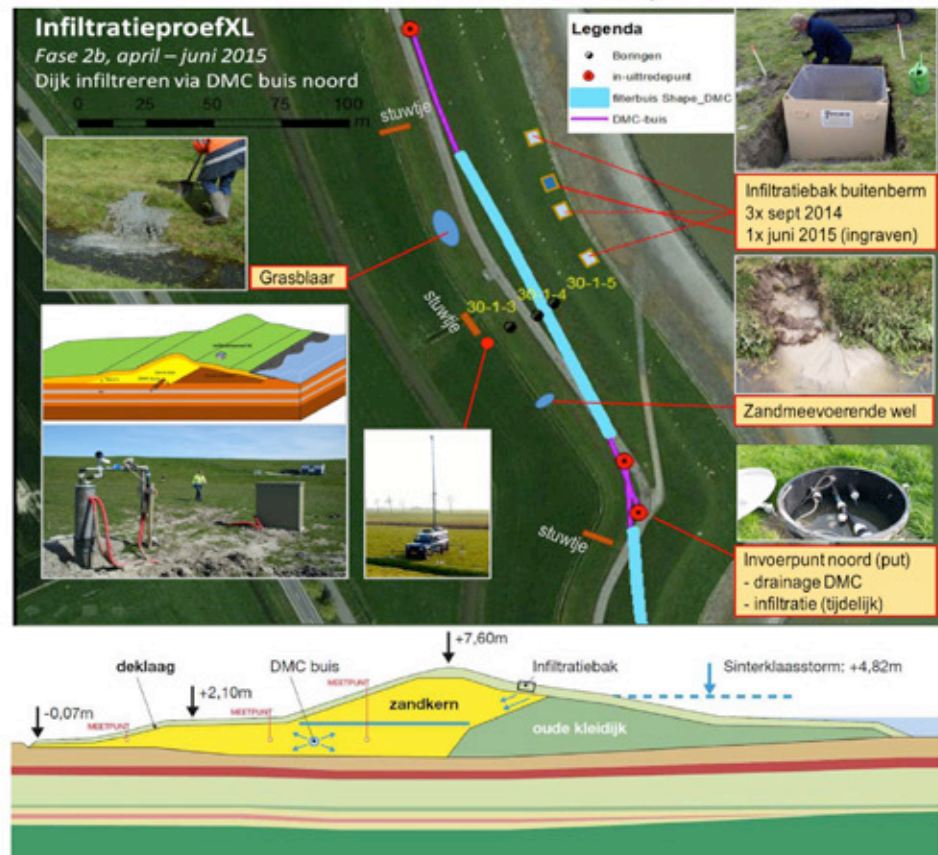
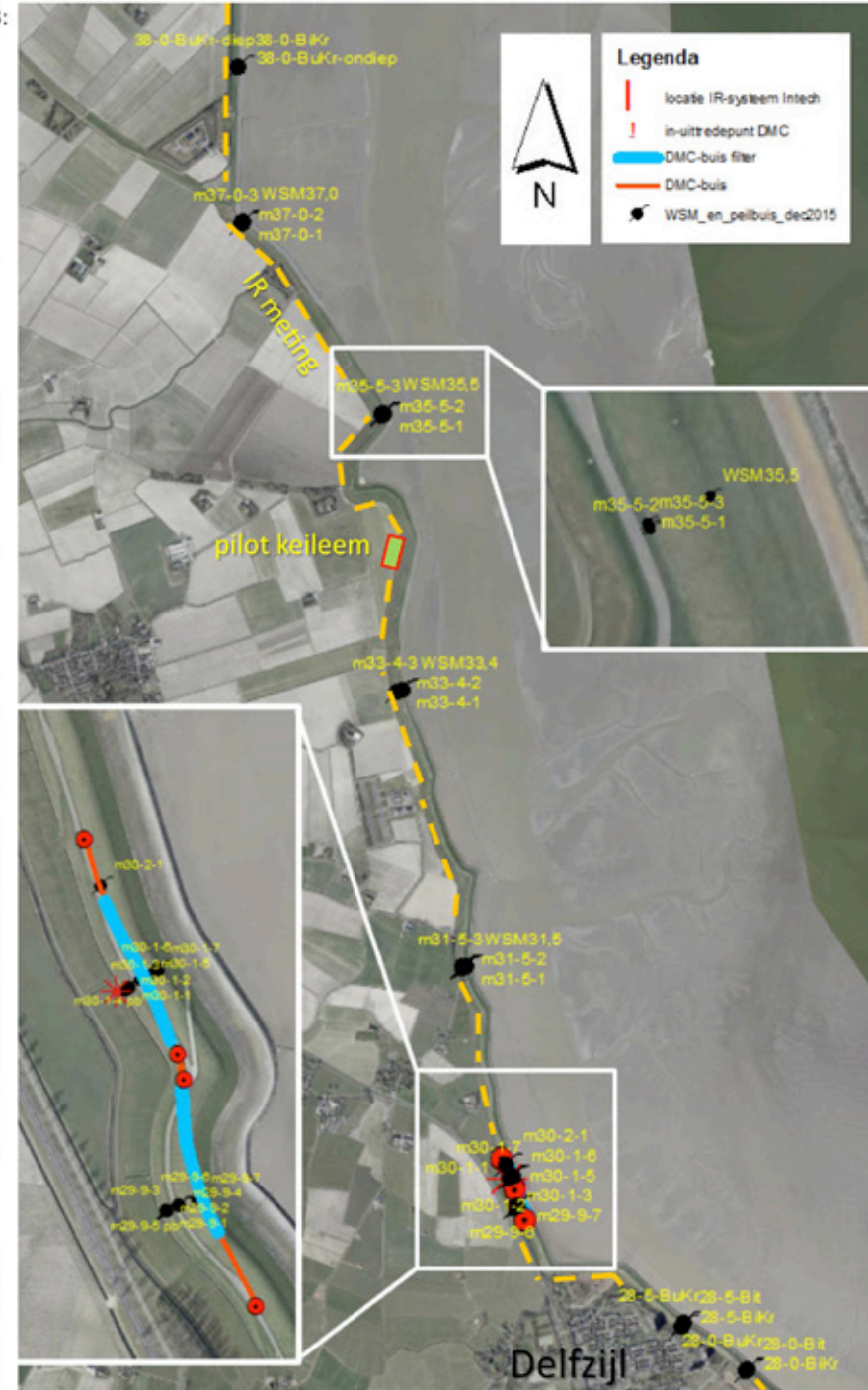
Verdeling bestedingen:



Resultaten wsm's: geel= 30,1_5, blauw=30,1_4, rood=30,1_3:



Sensoren DMC-systeem: geel=stijghoogte, blauw=debiet:



Waterschap NOORDERZIJLVEST

FloodControl IJkdijk

Deltares Enabling Delta Life

VolkerWessels

Landustrie

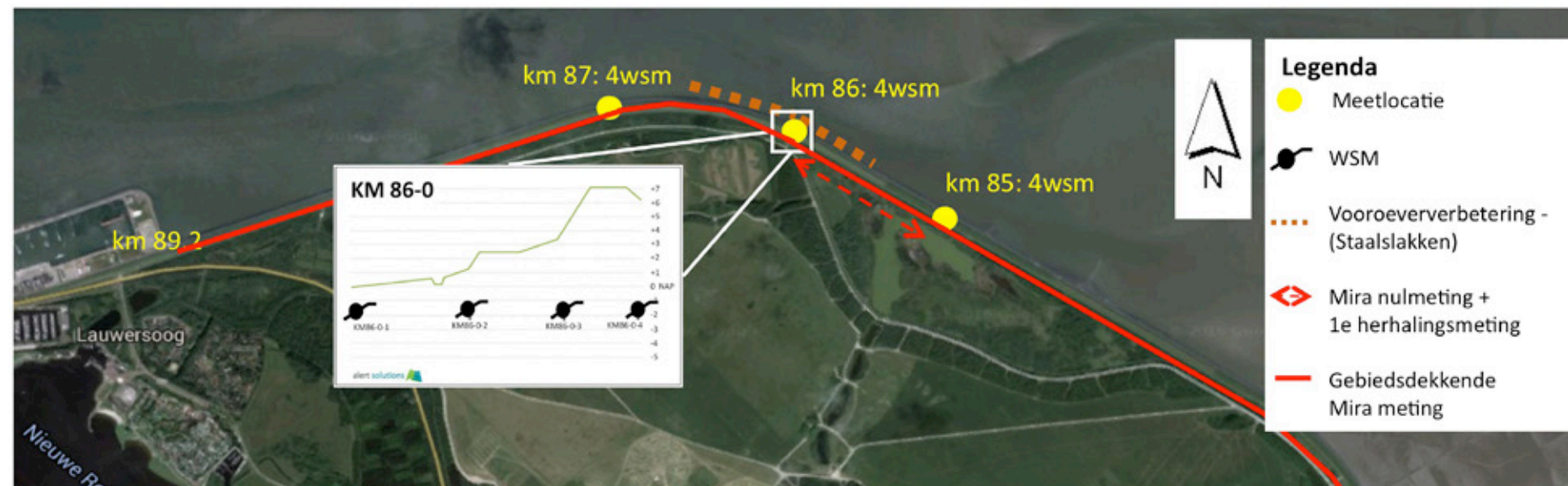
FUGRO

InTech Ingenieurs & Technisch Adviesbureau

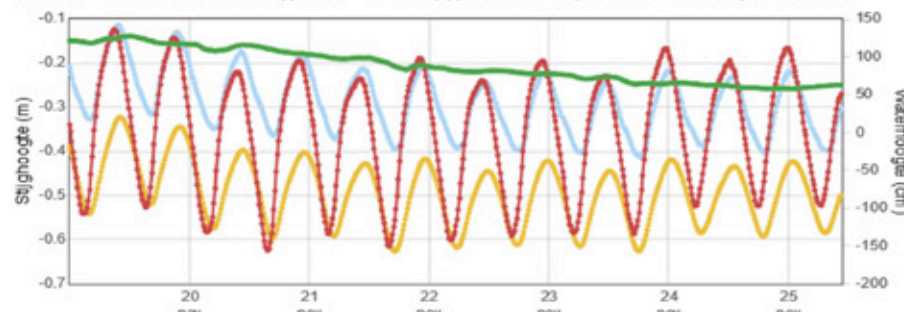
alert solutions measures for safety

LiveDijkXL – Ommelanderszeedijk overzichtsbld

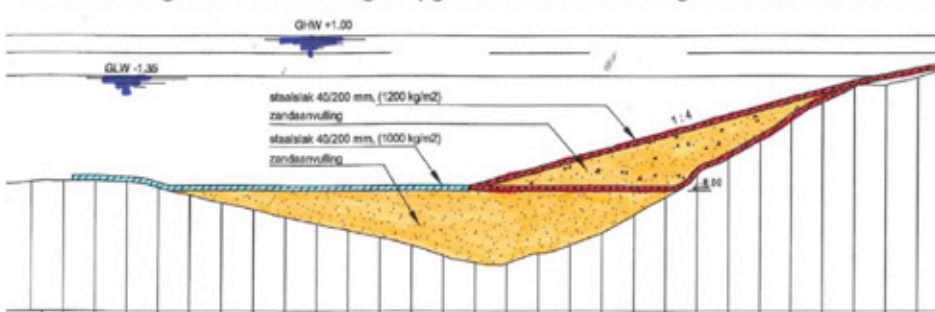
Bijlage 1b LAUWERSMEERDIJK - OVERZICHTSBLAD



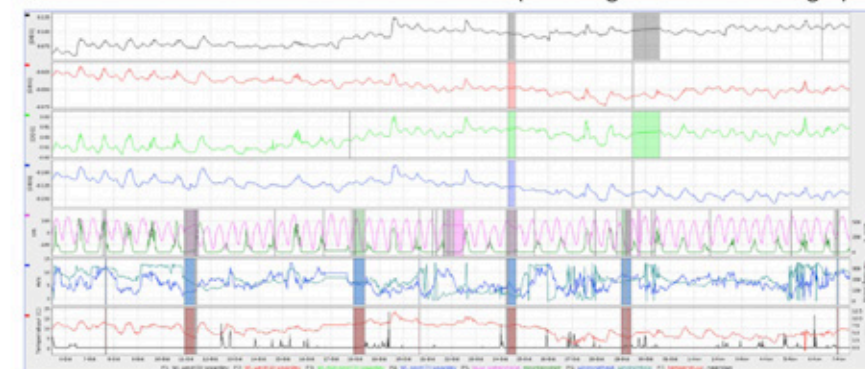
Meetresultaten wsm's: groen= km 86, geel=km 87, blauw=km 85, rood=WL



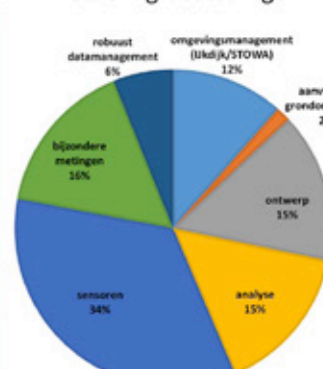
Geul ter hoogte van Vierhuizergat opgevuld met zand en afgedekt met staalslakken:



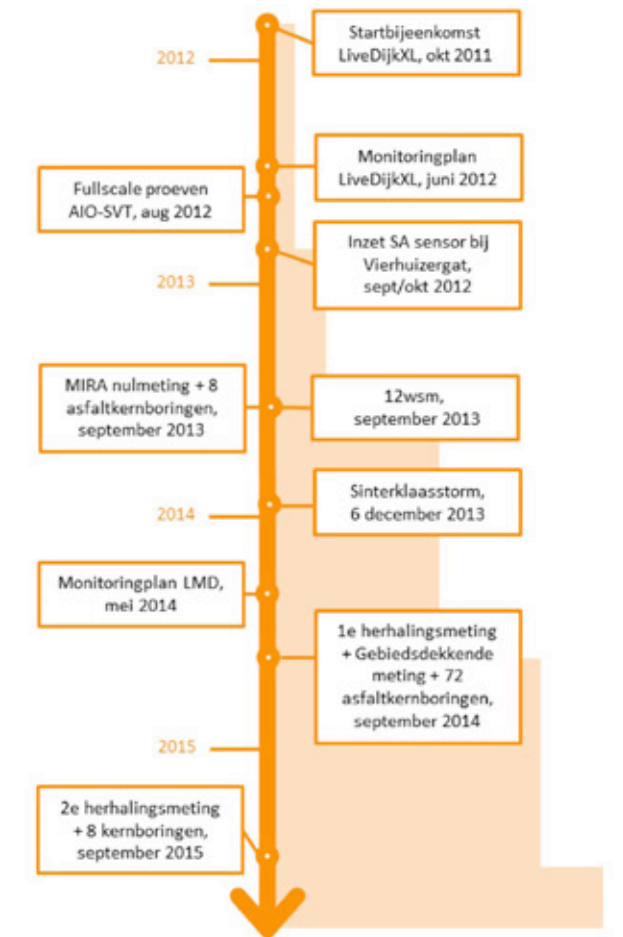
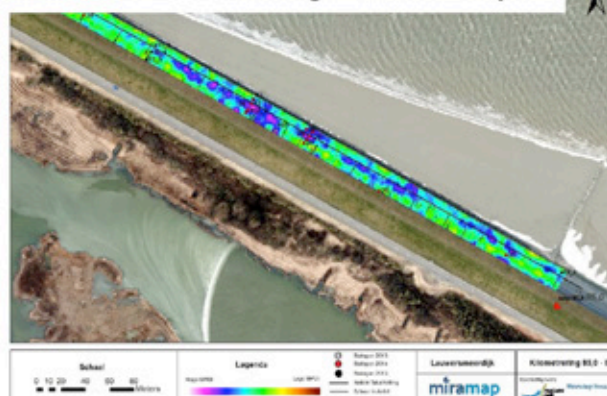
Voorbeeld van meetresultaten tilsensoren (ter hoogte van Vierhuizergat):



Verdeling bestedingen:



Onderzoek asfaltbekleding Lauwersmeerdijk:



LiveDijkXL – Lauwersmeerdijk overzichtsbld

Logos: FloodControl IJkdijk, Waterschap NOORDERZIJLVEST, StabiAlert, ECOFLIGHT, miramap, Witteveen+Bos

Contact

Stichting FloodControl IJkdijk
Postbus 97 | 9350 AB Leek

E info@ijkdijk.nl
T 0594 55 50 50

www.floodcontrolijkdijk.nl

Stichting FloodControl IJkdijk
is gevestigd in Groningen

