



JLD-Dijkstabilisator Watergraafsmeer Eindrapportage

Antea Group

Understanding today.
Improving tomorrow.

projectnummer 413509.104

17 november 2023

www.anteagroup.nl

Inhoudsopgave

1.	Inleiding	5
1.1	Doel	6
1.2	Scope	6
1.3	Leeswijzer	7
2.	Algemene beschrijving JLD-Dijkstabilisator	8
2.1	Beschrijving van de JLD-Dijkstabilisator	8
2.2	Conceptuele werking	9
2.3	Voorafgaand aan monitoringsfase	11
2.3.1	Ontwerp en realisatie versterking ringdijk	12
2.3.2	Onderzoeksvragen	15
2.4	Monitoringsfase 2019-2024	16
2.4.1	Te monitoren aspecten	16
2.5	Organisatie en sturing	17
3.	Monitoringsfase	18
3.1	Reguliere monitoring	18
3.1.1	Veldinspectie en incidentenmeldingen	18
3.1.2	Deformatiemetingen	19
3.1.3	Waterspanningsmeters	20
3.1.4	Neerslag	20
3.1.5	Monitoring voorspanning	20
3.1.6	Beplanting	22
3.2	Reguliere rapportages	23
3.2.1	Feitenrapportage per kwartaal	23
3.2.2	Jaarrapportage	23
3.2.3	Werkplan	23
3.3	Dataverzending	23
3.3.1	Bureauonderzoek naar herstel van de verbinding, 2019 - 2020	24
3.3.2	Test van oplossingen, 2020	24
3.3.3	Herstel verbinding nodes, 2022	25
3.4	Monitoring proeflocatie Purmerend	28
3.5	Actualisatie onderzoeksvragen	29
3.5.1	Onderzoeksvraag 1: Ontwerpbaarheid JLD-Dijkstabilisator	30
3.5.2	Onderzoeksvraag 5: draagkracht kopplaat	30
3.5.3	Onderzoeksvraag 7 en 11: piping en kwel	31
3.5.4	Onderzoeksvraag 8: invloed vervormingen op JLD-Dijkstabilisator	31
3.5.5	Onderzoeksvraag 9: Beplanting	32
3.5.6	Onderzoeksvraag 13: Verloop voorspanning JLD-Dijkstabilisator	34
3.6	Postdictie	34
3.6.1	Tijdspad	34
3.6.2	Werkwijze en resultaat	35
3.7	Monitoringsplatform	36
3.8	Inzet Waternet	36
3.9	Vergunningverlening (doorlopend)Overdraagbaarheid	37
4.	Nieuwe inzichten uit pilot	38
4.1	Veiligheidsfilosofie	38
4.2	Ontwerpmethodiek	38
4.3	Beheer en onderhoud	40
4.4	Witte vlekken PPV	43
4.5	Conclusie	43

5. **Betrokkenen pilot JLD Dijkstabilisator** 44

6. **Bibliografie** 45

Bijlage 1 Overzicht voorgenomen monitoring Watergraafsmeer

Bijlage 2 Monitoringstabel Watergraafsmeer

Bijlage 3 Witte vlekken PPV

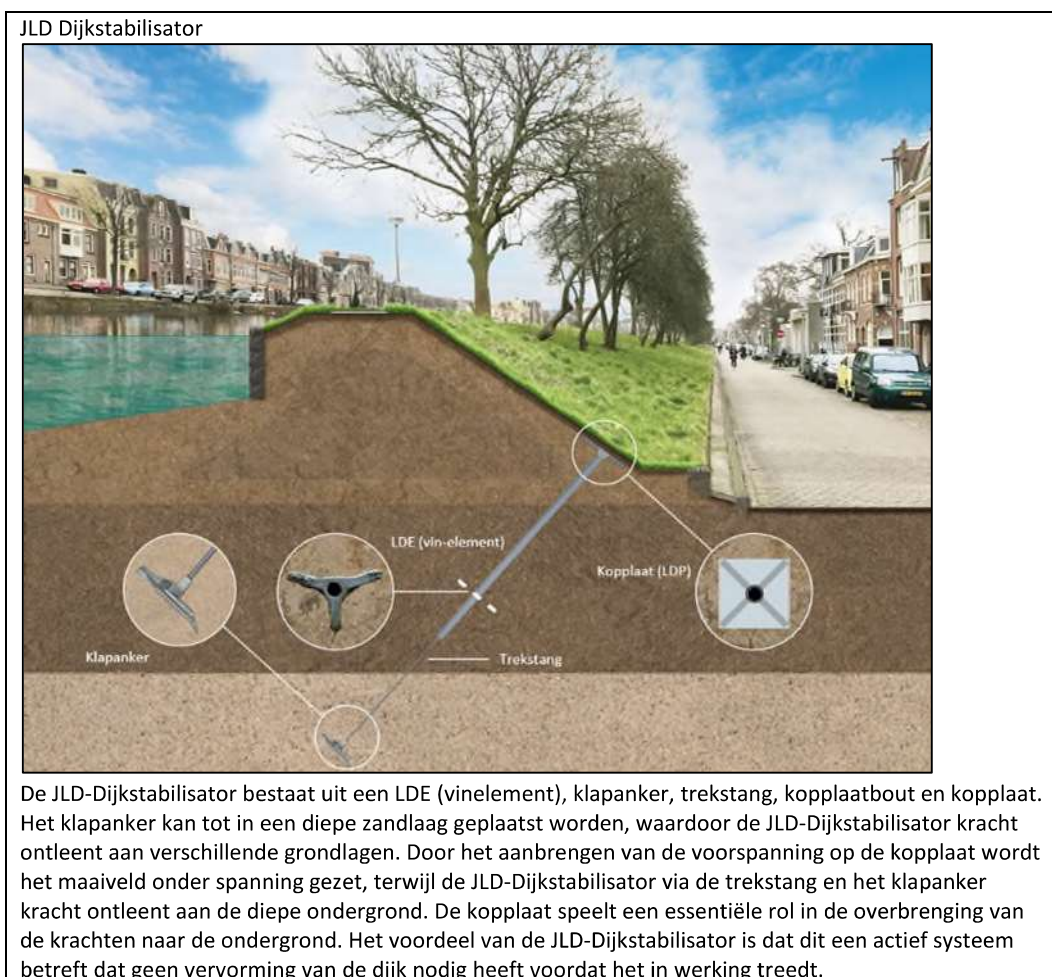
1. Inleiding

De JLD-Dijkstabilisator is een innovatieve dijkversterkingsmethode. Voor de ontwerpbaarheid en bewijsbaarheid van deze methode is de afgelopen jaren een pilotproject met praktijkproeven uitgevoerd. De resultaten hiervan hebben geleid tot een positief advies van het Expertise Netwerk Waterveiligheid (ENW) voor het toepassen van de JLD-Dijkstabilisator in dijkversterkingen [1].

In samenwerking met Waterschap Amstel, Gooi en Vecht is het pilotproject uitgevoerd. Als pilotproject is gekozen voor de versterking van de Ringdijk te Watergraafsmeer in Amsterdam. Daarbij is een team van Waternet, JLD, Antea Group en Deltares betrokken. Tevens is een locatie in Purmerend aangewezen als een proeflocatie. De pilot omvat niet alleen het ontwerp en de realisatie van de dijkversterking maar ook een monitorings- en nastelperiode van 2019 tot 2024. Parallel aan het pilotproject in Watergraafsmeer zijn op basis van vragen van het Expertise Netwerk Waterveiligheid (ENW) voor de doorontwikkeling van de JLD-Dijkstabilisator 19 onderzoeksvragen opgesteld. Een groot deel van deze vragen is beantwoord tijdens de realisatie van het pilot project. Voor de verdieping van een aantal onderzoeksvragen is het ook nodig om tijdens de beheerfase te monitoren hoe de JLD-Dijkstabilisator zich gedraagt. Hiertoe is in de periode van 2019 – 2024 het systeem gemonitord conform het vooraf opgestelde monitoringsplan [2].

De monitoring van de dijkversterking richt zich op:

- JLD-Dijkstabilisator en de invloed op de omgeving.
- Verzamelen parameters voor de onderzoeksvragen.



1.1 Doel

Het doel van de voorliggende rapportage is verantwoording van de uitgevoerde werkzaamheden in de monitoringsfase ten opzichte van het vooraf opgestelde monitoringsplan [2]. Voorliggende rapportage vormt tevens een overzicht van de relatie tussen alle uitgevoerde werkzaamheden en rapportages zoals de postdictie en het beheer- en onderhoudsplan.

1.2 Scope

De voorliggende eindrapportage omvat de beschouwing van de monitoringsperiode. Het betreft onder andere een beschrijving van de uitgevoerde werkzaamheden en afwijkingen van het monitorings- en nastelplan. De eindrapportage is onderdeel van het totale opleverdossier. Het overige deel is gerapporteerd in andere relevante documenten (zie hieronder).

- Actualisatie beheerplan [3]: In het beheerplan zijn alle aan beheer gerelateerde onderwerpen beschreven. Dit omvat jaarlijkse inspectie en monitoring middels het monitoringsplatform.
- Postdictie [4]: In de postdictie is de technische werking van het systeem beschouwd.
- Eindrapportage onderzoeksvragen: Parallel aan het opstellen van het ontwerp zijn er 19 onderzoeksvragen m.b.t. de JLD-Dijkstabilisator beantwoord. De onderzoeken en de conclusies zijn gerapporteerd in 19 onderzoeksrapportages. Een aantal onderzoeksvragen zijn naar aanleiding van de monitoringsperiode en de postdictie aangescherpt, dit betreft onderzoeksvragen:
 1. ontwerpbaarheid van de JLD-Dijkstabilisator [5];
 5. stabiliteit/sterkte van de grond onder de kopplaat [6];
 7. piping [7];
 8. effect van doorgaande kruindaling op de JLD-Dijkstabilisatoren [8];
 9. effect van beplanting [9];
 11. kwel [7];
 13. verloop van de voorspanning [10].

Hieronder is een overzicht gegeven van de in de realisatiefase opgestelde producten. De onderdelen die in de betreffende rapportages zijn opgenomen zijn niet óf beknopt opgenomen in het voorliggende rapport.

- Definitief Ontwerp, beschrijving van het definitief ontwerp [11].
- Uitvoeringsplan Versterking Ringdijk [12].
- As-built ontwerp, beschrijving van het geplaatste systeem en aantoonbaarheid van de ontwerpbaarheid van een dijkversterking met de JLD-Dijkstabilisator [13].
- Beheerplan [3]: In het beheerplan zijn alle aan beheer gerelateerde onderwerpen beschreven.
- Monitorings- en nastelplan [2]: In het monitorings- en nastelplan richt zich op het beheer en onderhoud in de komende 5 jaar. In deze periode wordt er nieuwe kennis ontwikkeld op basis van de monitoring van het systeem.
- Eindrapportage onderzoeksvragen (versie 2019): Parallel aan het opstellen van het ontwerp zijn er 19 onderzoeksvragen m.b.t. de JLD-Dijkstabilisator beantwoord. De onderzoeken en de conclusies zijn gerapporteerd in 19 onderzoeksrapportages:
 1. ontwerpbaarheid van de JLD-Dijkstabilisator [5];
 2. hanteren van de juiste referentieperiode [14];
 3. faalkansruimte bezwijken talud boven de kopplaat [15];
 4. interactiekracht tussen het LDE en venige ondergrond [16];
 5. stabiliteit/sterkte van de grond onder de kopplaat [6];
 6. groepseffecten [17];
 7. piping [7];
 8. effect van doorgaande kruindaling op de JLD-Dijkstabilisatoren [8];
 9. effect van beplanting [9];
 10. inpasbaarheid JLD-Dijkstabilisator nabij funderingspalen [18];
 11. kwel [7];
 12. beoordelingsmethode gedurende de levensduur [19];

13. verloop van de voorspanning [10];
14. inbrengwijze in stedelijk gebied [20];
15. trillingen [21];
16. grondverdringing tijdens inbrengen [22];
17. Life Cycle Costs [23];
18. uitvoerbaarheid bij diepe zandlagen [20];
19. beheerplan [3].

1.3 Leeswijzer

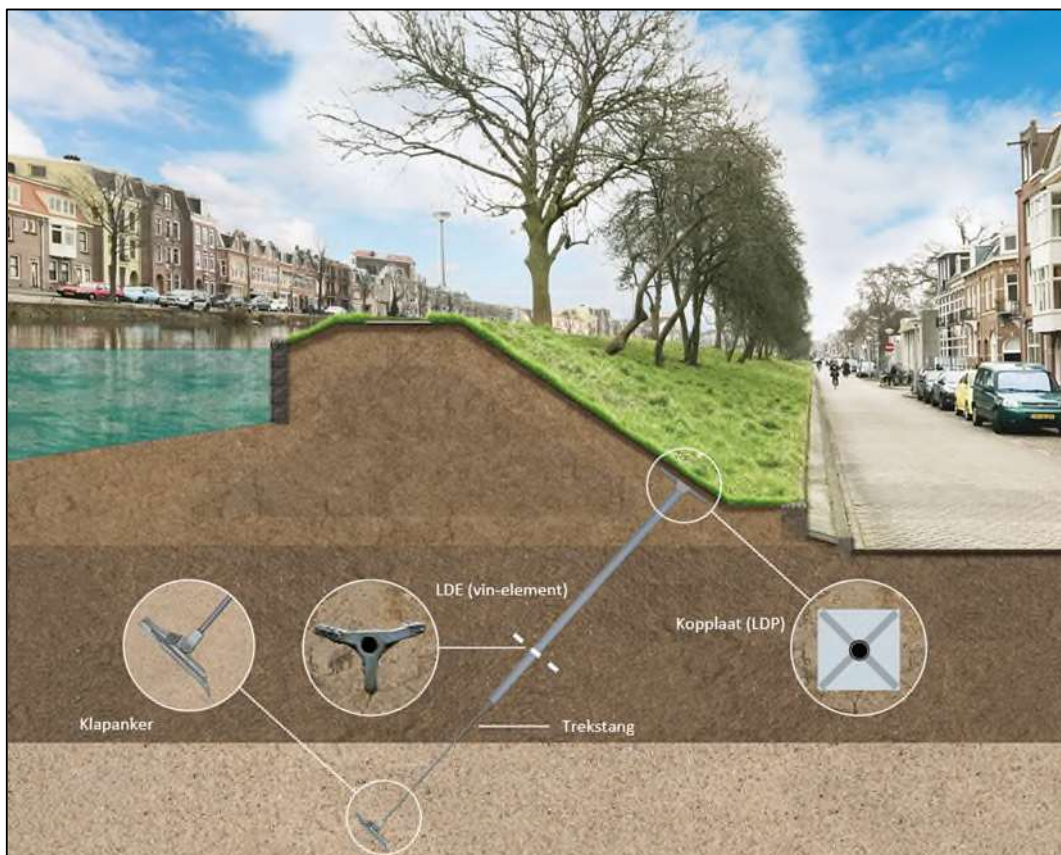
In hoofdstuk 2 is een beschrijving opgenomen van het startpunt van de monitoringsfase met daarin het doel en een beknopte omschrijving van de geplande monitoring. In hoofdstuk 3 is een beschrijving opgenomen van de uitgevoerde werkzaamheden tussen 2019 en 2024 in relatie tot het monitoringsplan. Hoofdstuk 4 beschrijft de nieuwe inzichten die verkregen zijn uit de pilot Watergraafsmeer met betrekking tot de veiligheidsfilosofie, ontwerpmethodiek, beheer & onderhoud en ten slotte de witte vlekken uit de POVM Publicatie Vernagelingstechnieken PPV. Tot slot zijn in hoofdstuk 5 de betrokkenen binnen de pilot van de JLD-Dijkstabilisator Watergraafsmeer beschreven.

2. Algemene beschrijving JLD-Dijkstabilisator

2.1 Beschrijving van de JLD-Dijkstabilisator

De JLD-Dijkstabilisator is een verankerings- en vernagelingssysteem dat de sterkte van de ondergrond kan vergroten en weerstand biedt tegen afschuiven waardoor de dijk een grotere stabiliteit krijgt. De *JLD-Dijkstabilisator* is opgebouwd uit 6 onderdelen (zie Figuur 2-1):

1. Klapanker.
2. Trekstang (verbindt klapanker met kopplaat).
3. LDE (vin-element dat over de trekstang is geschoven).
4. LDP (kopplaat waaraan de trekstang nabij maaiveld is bevestigd).
5. Spanbout (verbindt de trekstang met de kopplaat).
6. druksensor + zendkast (ten behoeve van monitoring).



Figuur 2-1: Overzicht elementen JLD-Dijkstabilisator.

Een klapanker is in het binnentalud onder een hoek in de bodem gebracht en met een drijfslag op diepte gebracht. Het anker is uitgeklat en daarmee verankerd in een diepere (zand)laag. Op deze wijze is de trekkracht naar de ondergrond overgebracht.

Het klapanker is door middel van een schroefverbinding aan de trekstang verbonden. De trekstang is tijdens het aanbrengen van het klapanker door middel van de drijfslag mee op diepte getrokken. Over de trekstang heen is vervolgens het LDE-element de grond in gedrukt. De uitvoeringswijze is daarmee grondverdringend. Het LDE-element zal onder laterale belasting gaan aanliggen op de ankerstang.

Aan het maaiveld is de trekstang bevestigd aan de kopplaat door middel van een spanbout en een moer. De stalen spanbout is over de trekstang geschroefd en steekt door de kopplaat. De kopplaat sluit aan op het LDE maar is niet constructief verbonden. Door met een moer over de spanbout spanning op de kopplaat te zetten, is

de trekstang aangespannen en is voorspanning aangebracht. Hierna is kort de werking van de verschillende onderdelen van de *JLD-Dijkstabilisator* beschreven.

Trekstang en klapanker

De trekstang en het klapanker zorgen voor de verankering van het systeem in een vaste (zand)laag. Samen met de kopplaat kan hiermee ook voorspanning op het systeem worden gezet.

LDE (vin-element)

Het LDE steekt door het verwachte bezwijkvlak. Dit zorgt er voor dat een deel van de kracht van het afschuifvlak wordt overgebracht naar de trekstang en daarmee naar het klapanker en de kopplaat (LDP). Tevens zorgt het LDE voor een oppervlakte vergroting ten opzichte van de ankerstang waardoor de grond minder makkelijk langs het element kan vloeien/snijden. Hierdoor kan het LDE krachten vanuit het afschuivende deel van het bezwijkvlak opnemen. Dit betreft dwarskrachten (deuvelwerking) en trekkrachten (nagelwerking).

LDP (kopplaat)

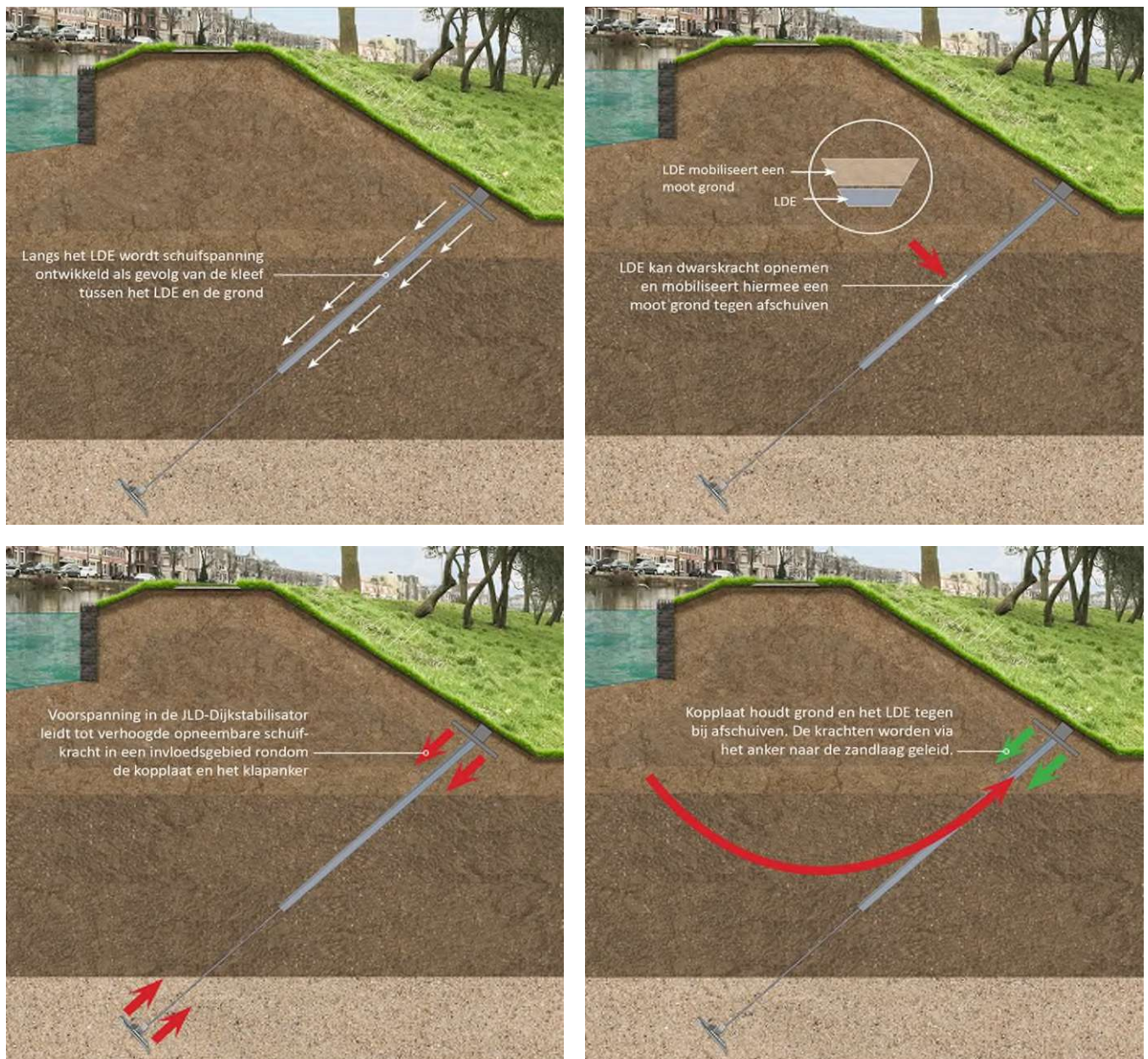
Nabij het maaiveld wordt de LDP kopplaat geplaatst. Deze verhindert dat het afschuivende deel van het bezwijkvlak langs de ankerstang (en/of LDE) kan afschuiven. De kopplaat zet de krachten vanuit de grond om in een normaalkracht op de trekstang en het klapanker. Daarnaast zorgt de kopplaat er samen met de trekstang en het klapanker voor dat er voorspanning op het systeem gezet kan worden. Hierdoor kan de *JLD-Dijkstabilisator* directer reageren op kleine vervormingen in de grond zonder dat de trekstang eerst veel moet rekken voordat deze weerstand gaat bieden. De kopplaat is voorzien van voldoende gaten om uitwisseling van water tussen de toplaag en de onderliggende lagen mogelijk te maken.

2.2 Conceptuele werking

De *JLD-Dijkstabilisator* bestaat uit een lang en smal element dat in de dijk wordt geplaatst. Door de *JLD-Dijkstabilisator* dwars op het potentiële glijvlak te plaatsen wordt een constructief element toegevoegd aan de dijk. Dit element zal krachten leveren die het bezwijken van de dijk tegengaan. Dit is weergegeven in de onderstaande opsomming en in Figuur 2-2.

De *JLD-Dijkstabilisator* verhoogt de weerstand tegen afschuiven op een aantal manieren:

- Bij verplaatsing van de afschuivende grondmoot moet de grond of langs de kopplaat vloeien of een grotere trekkracht uitoefenen dan (onderdelen van) de *JLD-Dijkstabilisator* kan opnemen. Bij verplaatsing van de afschuivende grondmoot ontwikkelen zich ook schuifspanningen langs het LDE welke als een trekkracht worden “afgevoerd” naar de ondergrond. Beide bijdragen berusten op “nagelwerking”.
- Het LDE fungeert in de grond als een element dat dwarskrachten op kan nemen. Het LDE zal vervorming van het afschuivende deel van het bezwijkvlak tegen willen gaan. Hierdoor ontwikkelt zich dwarskracht in het LDE. Deze bijdrage berust op “deuvelwerking”.
- De voorspanning zorgt ervoor dat het systeem directer reageert en er beperktere vervormingen van de ondergrond nodig zijn om de krachtwerking te mobiliseren. Door de grond tussen het klapanker en de kopplaat voor te spannen, wordt de effectieve korrelspanning (na consolidatie) vergroot. Door dit effect neemt de opneembare schuifkracht in de grond toe.



Figuur 2-2 De werking van de JLD-Dijkstabilisator.

De JLD-Dijkstabilisator is onderscheidend ten opzichte van andere dijkverbeteringsmethoden door:

- Het systeem brengt *actief* voorspanning in de ondergrond aan. Hierdoor worden de toelaatbare schuifspanningen in de ondergrond vergroot al voordat de maatgevende belasting optreedt. Het systeem levert dus *actief* extra sterkte. Het hoeft niet eerst gemobiliseerd te worden door vervorming van het talud.
- Door de aanwezigheid van het klapanker en de kopplaat wordt de *pull out kracht* van het systeem sterk vergroot. Deze is niet alleen meer afhankelijk van de kleefkracht langs het LDE. De dijk kan als het ware "aan het anker gaan hangen".
- Door de kunststof onderdelen met relatief lage rekstijfheid bezit het systeem *voldoende rek* om voor te kunnen spannen én om tegelijkertijd het zwellen en krimpen van de dijk te kunnen volgen; het is een flexibel systeem.

- Doordat de JLD-Dijkstabilisator bijna uitsluitend uit kunststof onderdelen bestaat is het systeem niet corrosiegevoelig. (met uitzondering van het klapanker, de naspanbout en de naspanmoer).

2.3 Voorafgaand aan monitoringsfase

De JLD-Dijkstabilisator is een innovatieve dijkversterkingsmethode die is ontwikkeld door JLD Contracting B.V. met ondersteuning van Antea Group. Het eerste idee ontstond in 2012. De JLD-Dijkstabilisator werd binnen het kader van de Project overstijgende Verkenning Macrostabieliteit (POV-M), onderdeel van het Hoogwaterbeschermingsprogramma (HWBP), verder doorontwikkeld. Inmiddels is de POV-M overgegaan naar de Kennis en Innovatie agenda. In 2013 tot en met 2015 is het idee uitgewerkt tot concept en zijn proeven uitgevoerd in Purmerend. De JLD-Dijkstabilisator is een dijkversterkingsmethode waarbij de dijk actief “inwendig” wordt versterkt.

In 2015 en 2016 zijn op een testlocatie in Purmerend fullscale proeven uitgevoerd met de JLD-Dijkstabilisator. Op basis van de proefresultaten is een postdictie (analyse van de proefresultaten op basis van metingen die zijn uitgevoerd tijdens de proeven) uitgevoerd. De postdictie is vervolgens als basis gebruikt voor de verdere ontwikkeling van de ontwerpmethodologie van de JLD-Dijkstabilisator. De ontwerpmethodologie is in de zomer van 2016 behandeld door het Expertise Netwerk Waterveiligheid (ENW). In oktober van 2016 heeft de ENW geconcludeerd dat de ontwerpmethodologie en de bijbehorende veiligheidsfilosofie van de JLD-Dijkstabilisator voldoende basis bieden voor verdere doorontwikkeling.

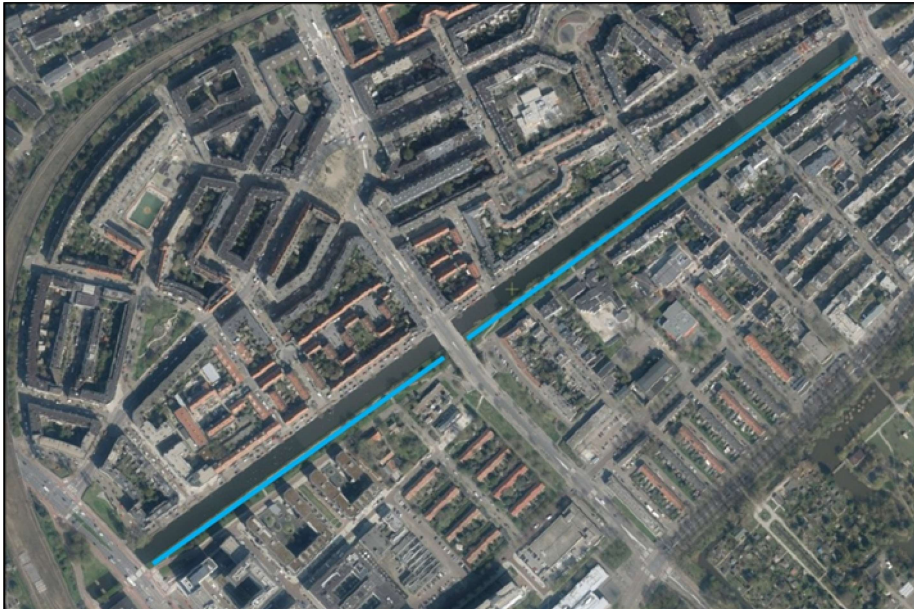
De volgende stap was om met de JLD-Dijkstabilisator tot een ontwerpbaar en uitvoerbaar techniek te komen waardoor er sprake is van een dijkversterkingstechniek die generiek kan worden toegepast. Voor die stap is het nodig om een dijkversterking uit te voeren waarin de JLD-Dijkstabilisator wordt toegepast als versterkingsmethode in een bestaande kering. Een geschikte locatie hiervoor was een gedeelte van de Ringdijk langs de Watergraafsmeer, gelegen binnen het beheergebied van het Waterschap Amstel, Gooi en Vecht (AGV). De locatie is weergegeven in Figuur 2-3 en Figuur 2-4. Alle onderzoeksvragen (zie de opsomming in paragraaf 1.2 en de beschrijving in paragraaf 2.3.2) sloten goed aan bij de locatie specifieke eigenschappen van het betreffende dijktraject.

Het project heeft als doel:

- Het beantwoorden van de onderzoeksvragen met betrekking tot de toepassing van de JLD-Dijkstabilisator om deze als dijkversterkingsmethode toe te kunnen passen.
- Het versterken van de Ringdijk zodat deze voldoet aan de gestelde norm van de Ringdijk Watergraafsmeer.
- Een ander belangrijk doel is het voorzien van andere HWBP projecten van informatie zoals KIIK en MMD.



Figuur 2-3 Ligging Ringdijk Watergraafsmeer in Amsterdam.



Figuur 2-4 Projectlocatie dijkversterking Watergraafsmeer met de JLD-Dijkstabilisator.

2.3.1 Ontwerp en realisatie versterking ringdijk

In de periode 2017-2018 is een ontwerp opgesteld voor de versterking van de ringdijk met de JLD-Dijkstabilisator. De versterking is in de periode van november 2018 tot maart 2019 gerealiseerd.

De inpassing van de JLD-Dijkstabilisator in de omgeving is afgestemd op de aanwezigheid van objecten, zoals bomen, trappen en kabels en leidingen. Het overzicht van de as-built situatie is opgenomen in volgende tekening. Het volledige as-built ontwerp is beschreven in de 'rapportage As-built ontwerp' [24].

Samengevat is de configuratie van de JLD-Dijkstabilisator als volgt:

- Totaal 647 JLD-Dijkstabilisatoren (inclusief de overgangszones), waarvan 618 met voorspanning en 29 zonder voorspanning door een defecte trekstang.
- Hoek van aanbrengen is gemiddeld $54,7^\circ$.
- De lengte van de ankerstangen varieert tussen de 10 en 23 meter.
- De standaard hart op hart afstand (h.o.h. afstand) is 1 meter.
- De h.o.h. afstand tussen 2 rijen in de dwarsrichting van de dijk is 1,3 meter.

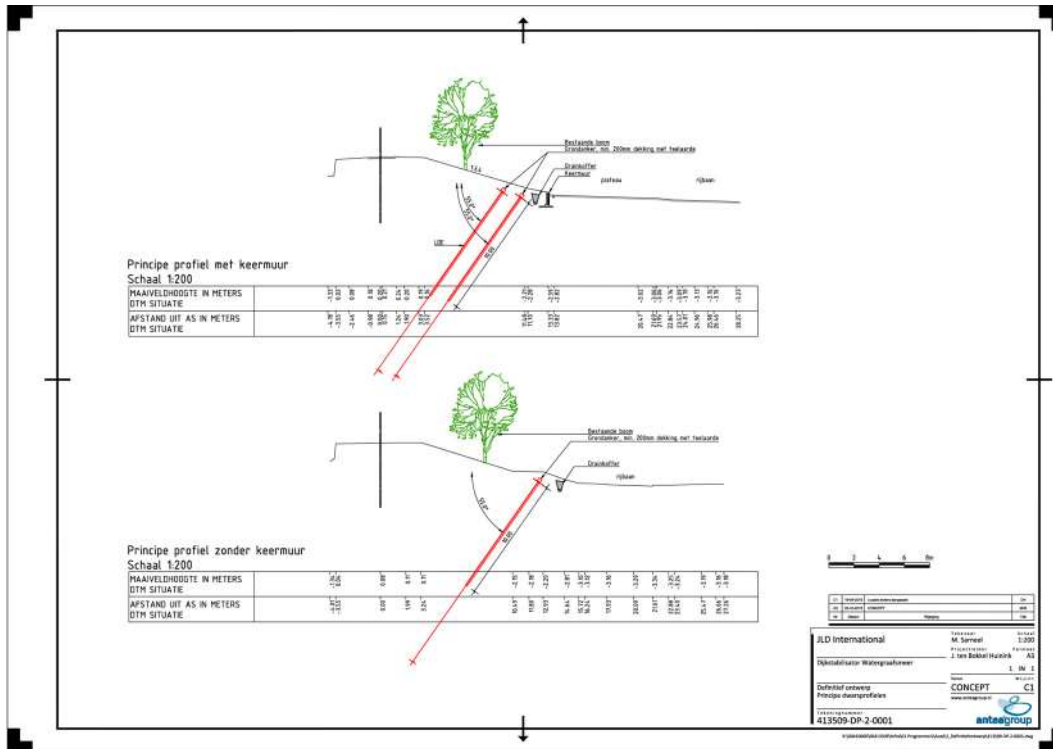
datum 17 november 2023
projectnummer 413509.104
betreft WGM eindrapportage



- De diepte van de kopplaat onder het maaiveld is gemiddeld 0,55 meter.
- Het LDE heeft een lengte van 10 meter.
- Aan het eind van elke rij is een overgangszone van circa 20 meter.
- De voorspanning in de JLD-Dijkstabilisatoren is ingedeeld in 2 categorieën:
 - 30 - 70 kN;
 - 30 – 45 kN.



Figuur 2-5 Overzicht as-built ontwerp.



Figuur 2-6 Principe profielen aanbreng JLD-Dijkstabilisator.

2.3.2 Onderzoeksvragen

Samen met het positieve advies in 2016 heeft het ENW nog een aantal vragen gesteld over de techniek om tot een gedragen techniek te komen. De vragen van het ENW zijn ondergebracht in 19 onderzoeksvragen zoals weergegeven in Tabel 2-1.

Parallel met het ontwerp en de realisatie van het pilotproject zijn alle 19 onderzoeksvragen behandeld en beantwoord op basis van de tot dan toe beschikbare kennis. Het resultaat is gebundeld in de rapportage 'Ontwerpbaarheid JLD-Dijkstabilisator' [5].

Tabel 2-1 Totaal overzicht onderzoeksvragen

Nr.	Omschrijving onderzoeksvraag
1	De ontwerpbaarheid van de Dijkstabilisator gegeven de afgeleide ontwerpwijze en de daarmee te realiseren veiligheid (stabiliteit).
2	Overstappen van referentieperiode van 10 jaar naar jaarkans in veiligheidsfilosofie.
3	Bezwijken talud boven de kopplaat meenemen in faalkansverdeling.
4	Interactie kracht (schuifkracht langs het LDE element) in venige grond.
5	Stabiliteit/sterkte grond onder de kopplaat meenemen in ontwerp.
6	Groepseffect wanneer ankers vanuit ontwerpbehoefte dichter op elkaar moeten worden geplaatst.
7	Pipingrisico langs het anker (door het inbrengen van het anker met de drijfstaag) in andere dan zuiver kleiige gronden.
8	Effect doorgaande kruindaling en grondvervorming op ankers.
9	Effect bestaande beplanting op JLD ankers.
10	Inpasbaarheid in verband met aanwezigheid palen keermuur.
11	Aanwezige wateroverspanning in relatie tot pipingrisico en uitvoerbaarheid.
12	Opstellen beoordelingsmethode incl. te monitoren parameters gedurende levensduur.

13	Mate waarin de voorspanning over langere tijd aanwezig blijft bij een samendrukbare dijk.
14	Inbrengwijze in een stedelijk gebied, (ruimtebeslag stelling, bomen etc.).
15	Trillingen tijdens het inbrengen.
16	Grondverdringing tijdens het inbrengen (deformaties dijk en panden).
17	Inzicht in kosten over de levensduur (TCO).
18	Welke consequenties op engineering en uitvoerbaarheid heeft de relatief diepe ligging van de pleistocene zandondergrond waarin de verankering moet worden geplaatst.
19	Wat zijn de beheerconsequenties?

2.4 Monitoringsfase 2019-2024

De monitoringsfase van dit pilotproject is gestart na afronding van de uitvoering van de dijkversterking (maart 2019). In de monitoring binnen dit project kan onderscheid worden gemaakt tussen de dijkversterking en het onderzoekspoor. De monitoring van de dijkversterking is nodig om het functioneren van de JLD-Dijkstabilisatoren te kunnen volgen. De monitoring van het onderzoekspoor bestaat uit de monitoring van parameters om meer inzicht te krijgen in het gedrag van de dijk en de JLD-Dijkstabilisator, om de innovatie verder te ontwikkelen.

Om de monitoring gestructureerd te laten verlopen is een ‘nastel- en monitoringsplan’ opgesteld [2]. In dit plan is beschreven welke parameters moesten worden gemonitord en waarom deze gegevens nodig zijn. Ook is beschreven met welke frequentie de monitoring plaatsvindt en wat er dient te gebeuren als een parameterwaarde boven een grenswaarde uit komt of onder een grenswaarde zakt. In het voorliggende rapport wordt teruggeblikt op de uitgevoerde werkzaamheden in relatie tot de voorziene werkzaamheden.

2.4.1 Te monitoren aspecten

In het monitoringsplan zijn de te monitoren aspecten gekoppeld aan de te actualiseren onderzoeksvragen. In Bijlage 2 is een overzichtstabel opgenomen met alle te monitoren parameters voor Watergraafsmeer.

Tabel 2-2 Overzicht monitoring.

Parameter	Onderzoeksvragen (OV)					
	OV5	OV7	OV8	OV9	OV11	OV13
Veldinspecties	X	X	X	X	X	X
Deformatie JLD-Dijkstabilisator	X		X			
Deformatie kruin (maaiveld)	X		X			
Deformatie kopplaat	X		X			
Beplanting				X		
Piping		X			X	
Voorspanning						X
Neerslag	X	X	X		X	X
Materiaal degradatie	X	X	X	X	X	X
Waterspanningen	X	X	X	X	X	X

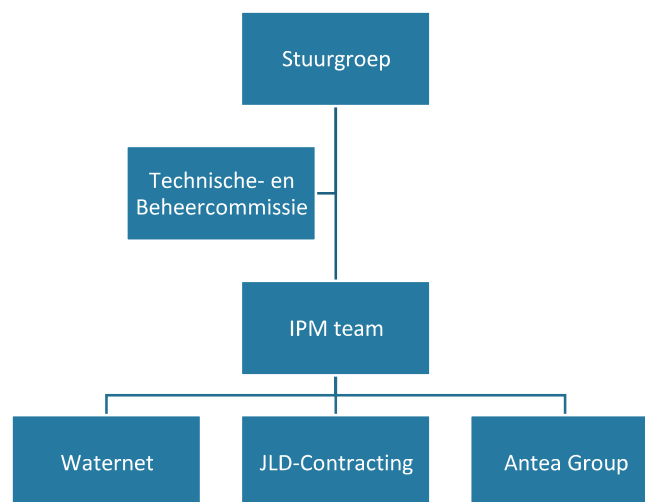
2.5 Organisatie en sturing

Voor de pilot is een specifieke projectorganisatie ingesteld. De opdrachtgever wordt gevormd door een stuurgroep bestaande uit Waterschap AGV/St. Waternet, ENW-techniek/De innovatieversnellers (vervangt in dit project de POV-M), HWBP, JLD Contracting BV. De opdrachtnemer bestaat uit een IPM-team bestaande uit Waternet, JLD Contracting BV en Antea Group. De stuurgroep wordt inhoudelijk geadviseerd door een technische- en beheerderscommissie bestaande uit vertegenwoordigers van de innovatieversnellers, HWBP, Deltares en beheerders (Waternet, HHNK, HHSK).

Tijdens de periode van 2019 tot en met 2023 heeft het gecombineerde IPM-team structureel tweewekelijks een kort bijpraatmoment gehad. Afhankelijk van nut en noodzaak is deze frequentie soms verhoogd en in rustige periodes verlaagd. Dit reguliere overleg heeft zorg gedragen voor snelle reactie op onverwachte omstandigheden. Oorspronkelijk was deze frequentie enkel voor het 1^e en laatste monitoringsjaar voorzien. Door de vraag rondom het uitvallen van sensoren was het nodig deze frequentie de gehele monitoringsperiode aan te houden. De frequentie is jaarlijks geëvalueerd.

Naast de reguliere IPM-team overleggen is er 2 maal per jaar een overleg met de technische- en beheerderscommissie gevoerd (TC/BC). Hierin werd de voortgang van de monitoring besproken en zijn stukken zoals jaarrapportages en werkplannen ter goedkeuring voorgelegd.

Over het algemeen werden de overleggen met de TC/BC opgevolgd door overleggen met de stuurgroep. De voor te leggen besluiten waren op dat moment dus al beoordeeld door beide commissies, wat de voortgang bevorderde.



Figuur 2-7 Organogram, verbinding tussen Stuurgroep (SG), technische- en beheerderscommissie (TC en BC) en het projectteam (IPM).

3. Monitoringsfase

In dit hoofdstuk zijn alle werkzaamheden en werkstappen beschreven gedurende de monitoringsperiode van 2019 tot en met 2023. Het hoofdstuk bestaat op hoofdlijnen uit de volgende onderdelen:

- Reguliere/voorzien monitoring watergraafsmeer conform de monitoringstabel in Bijlage 2.
- Onvoorzien werkzaamheden:
 - o bureauonderzoek naar oorzaak van uitval verbinding met groot deel van de nodes;
 - o veldonderzoek naar oorzaak van uitval verbinding met deel van de nodes;
 - o herstel van verbinding met uitgevallen nodes.
- Rapportages:
 - o monitoringsrapportages;
 - o postdictie t.b.v. bestuderen verloop van de voorspanning;
 - o onderzoeksrapportages.
- Overdracht:
 - o beheerplan;
 - o monitoringsplatform.

3.1 Reguliere monitoring

3.1.1 Veldinspectie en incidentenmeldingen

Om de (zichtbare) invloed van de JLD-Dijkstabilisator op het maaiveld en de omgeving te monitoren zijn meerdere veldinspecties voorzien. Daarbij is gelet op scheurvorming, natte plekken en verzakking van objecten. Door het voorzien van deze veldinspecties is er geborgd dat de dijk een aantal keer per jaar visueel geïnspecteerd wordt, en daarmee onverwachte invloeden van de JLD-Dijkstabilisator vroegtijdig waargenomen worden. Vooraf is ingeschat dat in het eerste jaar 4 veldinspecties nodig zijn, en in de daaropvolgende jaren (jaar 2 tot en met 5) tweemaal per jaar. Onderstaand zijn de resultaten van de inspecties beknopt omschreven. De visuele inspecties zijn waar mogelijk gecombineerd met andere veldwerkzaamheden.

- 2019 - 2020
 - o Inspecties: de formele start van de monitoringsfase was in het 4^e kwartaal van 2019, in dit kwartaal is 1 maal geïnspecteerd door het pilotteam en 1 maal een reguliere inspectie door de beheerder van Waternet. Tijdens deze eerste inspectie is een vergelijking gemaakt met de nulopname (opname voor versterking). Er zijn geen veranderingen waargenomen.
 - o In verband met de lockdown is er in het eerste kwartaal van 2020 geen inspectie uitgevoerd. In kwartaal 2, 3 en 4 zijn de inspecties zoals gepland uitgevoerd. In geen van de inspecties zijn bijzonderheden waargenomen. Zoals gepland zijn in het vervolg van de monitoringsperiode nog 2 inspecties per jaar uitgevoerd.
 - o Incidentele meldingen: in het eerste kwartaal van 2020 is eenmaal een incidentele melding gedaan door een bewoner met last van 'hoog' grondwater in de kelder en tuin. Na onderzoek is geconcludeerd dat de recente dijkversterking geen oorzaak is van het hoge grondwater. Oorzaak is het lage maaiveldniveau van de tuin en regenwater dat de kelder in kon lopen.
- 2021 – 2023:
 - o Inspecties: gedurende deze periode zijn er per jaar 2 inspecties uitgevoerd. Deze inspecties zijn aangevuld met extra waarnemingen tijdens jaarlijkse werkzaamheden zoals maaiveldmetingen, SAAF-metingen en de herstelwerkzaamheden (zie paragraaf 3.3). Er zijn tijdens de inspecties geen bijzonderheden waargenomen. Er zijn geen aanwijzingen dat de met de JLD-Dijkstabilisator versterkte dijk zich visueel anders gedraagt dan de niet versterkte dijk.
 - o Incidentele meldingen: er zijn geen incidentele meldingen gedaan.

3.1.2 Deformatiemetingen

3.1.2.1 Deformatie JLD-Dijkstabilisator

Het doel van het meten van de deformatie van de JLD-Dijkstabilisator middels een SAAF-meting was informatie verkrijgen of de JLD-Dijkstabilisator op lange termijn, in de beheerfase, zijn werking blijft houden. Indien te grote vervormingen optreden kan de JLD-Dijkstabilisator minder goed functioneren, waardoor het mogelijk is dat de dijk niet aan de vigerende veiligheidseisen voldoet. In 2020 [25], 2021 [26] en 2022 [27] is zoals gepland 1 maal per jaar een SAAF-meting uitgevoerd op 5 locaties. Het jaar 2024 is vanwege het verkorten van de monitoringsperiode vervallen, dit vormt geen probleem aangezien de metingen tussen opeenvolgende jaren minimale verschillen tonen.

De SAAF-metingen laten zien dat de LDE's en trekstang vervormen. Tussen de onderkant en de bovenkant van het LDE is een uitbuiking te zien. Uit de SAAF-metingen uit 2020 volgt dat de uitbuiking tussen de 1,5 en 12 cm ligt. Het vervormingsgedrag tussen opeenvolgende jaren laat een min of meer gelijk patroon zien. Het gaat om vervormingen in ordegrootte van 5 mm tussen de jaarlijkse metingen. Gezien de geringe vervorming van 5 mm in de jaren daarna is de in 2020 gemeten uitbuiking vrijwel zeker ontstaan bij het plaatsen van de stabilisatoren. De ankerstangen en LDE's zullen waarschijnlijk niet kaarsrecht onder een hoek in de waterkering aanwezig zijn, maar zullen door wrijving de makkelijkste weg zoeken en plaatselijk dus vervormen. Er is geen 0-meting uit 2019 beschikbaar van de SAAF-metingen om dit te controleren.

De SAAF-metingen laten dus vervormingen in ordegrootte van 5 mm tussen de jaarlijkse metingen zien. Deze minimale vervormingen zorgen niet voor een risico op het minder goed functioneren van de JLD-Dijkstabilisatoren.

3.1.2.2 Deformatie kruin en maaiveld

Met de deformatiemetingen van de kruin en meerdere dwarsprofielen is de hoogteligging van de Ringdijk gemonitord. Deze informatie is benodigd voor de beheerfase van de Life Cycle Monitoring. De dijk is gevoelig voor bodemdaling gezien de bodemopbouw van de Ringdijk. Daarnaast biedt het informatie om eventuele verbanden te leggen tussen verschillende meetaspecten voor de onderzoeksvragen.

De metingen zijn uitgevoerd conform het meetschema, namelijk een 0-meting voor realisatie en vervolgens jaarlijks 1 lengteprofiel meting van de kruin, 5 dwarsprofielen ter plaatse van de versterkte dijk en 2 dwarsprofielen ter plaatse van de onversterkte dijk. Er zijn zoals gepland 5 maal metingen uitgevoerd, te weten in 2019, 2020, 2021, 2022 en 2023.

De hoogte van de kruin verschilt tussen begin- en eindmeting ca. 0 - 2 cm. Met uitzondering van 1 raai waar een verschil aanwezig is van 6 cm. Daarbij beweegt de kruin ter plaatse van meetraaien 1, 2, 3 en 6 opwaarts en ter plaatse van meetraaien 4, 5 en 7 neerwaarts tussen begin- en eindmeting. Metingen vertonen opwaartse en dalende bewegingen van de kruin in tussenliggende jaren. De meetnauwkeurigheid is 2 cm en enkel de totale verplaatsing van de kruinhoogte ter plaatse van meetraai 5 valt hierbuiten. Zodoende kan geconcludeerd worden dat de kruin over de lengte zowel op- als neerwaartse vervormingen laat zien die allen nauwelijks buiten de meetnauwkeurigheid vallen.

3.1.2.3 Deformatie kopplaat

De deformaties van 5 kopplaten gedurende de beheerfase zijn inzichtelijk gemaakt door het meten van de deformatie van de betreffende kopplaten. Hiermee is het doel om deformaties van de JLD-Dijkstabilisator inzichtelijk te maken tijdens de beheerfase. In 2020, 2021, 2022 en 2023 is zoals gepland 1 maal per jaar een meting uitgevoerd op 5 locaties. Het jaar 2024 is vanwege het verkorten van de monitoringsperiode vervallen, dit vormt geen probleem aangezien geen bijzonderheden of significant grootte verplaatsingen zijn geconstateerd.

De kopplaat is ca. 1 tot 4 cm gezakt. Daarbij is er nergens over het gehele traject lokaal falen van de kopplaat waargenomen. De ondergrond onder de kopplaat blijft stabiel. Zodoende wordt er geconcludeerd dat de deformatie van de kopplaat geen risico vormt voor het functioneren van de JLD-Dijkstabilisator.

3.1.3 Waterspanningsmeters

Om te bepalen wat de waterspanningen op verschillende dieptes zijn in de waterkering en hoe groot het effect van de waterspanning in de dijk op het verloop van de voorspanning van de JLD-Dijkstabilisator is, zijn er peilbuizen in 3 raaien geplaatst. De peilbuizen hebben waterspanningsmeters op diverse dieptes. De metingen zijn gebruikt ten behoeve van het opstellen van het ontwerp en in de postdictie om een kwalitatieve analyse van het seizoenseffect op het systeem uit te voeren. Tevens kan het waterspanningsverloop in de dijk het risico op piping langs de stabilisator detecteren.

Gedurende de pilot zijn waterspanningsmeters uitgevallen. 43% van de peilbuizen heeft continue uitgezonden (1A-3, 1B-1, 1C-2, 1C-4, 2A-3, 2A-4, 2B-1, 2C-2, 2C-4, 3A-5, 3B-1 en 3C-2) en 57% niet (1A-1, 1A-2, 1A-4, 1C-1, 1C-3, 2A-1, 2A-2, 2C-1, 2C-3, 3A-1, 3A-2, 3A-3, 3A-4, 3C-1, 3C-3 en 3C-4). Er zijn geen waterspanningsmeters bijgeplaatst gedurende de nastel- en monitoringsfase. Geadviseerd wordt om in het vervolg onder beheer van het waterschap 1 raai aan peilbuizen te handhaven (raai 3, ter plaatse waar de waterveiligheidsopgave het grootst is), om waterspanningen te registreren, welke in de reguliere toetsing opgenomen kunnen worden. Daarnaast geeft het mogelijkheden om in de toekomst eventuele inzichten te combineren met voorspanningsdata van de JLD-Dijkstabilisator.

3.1.4 Neerslag

Om te bepalen hoe groot de invloed is van neerslag op het verloop van de voorspanning van de JLD-Dijkstabilisator was voorzien om een weerstation te plaatsen nabij de Ringrij. In het monitoringsplan was voorzien om een weerstation op de Ringdijk zelf te plaatsen. Daarbij was als risico gesignaleerd dat het weerstation defect kon raken door vandalisme of vernieling.

Eind 2019 werd bekend dat er op het dak van het kantoor van Waternet te Amsterdam een volledig weerstation geplaatst zou worden in het begin van 2020. Door het uitbreken van COVID-19 is de plaatsing meermaals uitgesteld totdat hij uiteindelijk pas in 2021 geplaatst werd. Toen bleek dat het station niet aangesloten kon worden en de uitkomende data niet betrouwbaar was. Daartoe is besloten voor dit pilotproject gebruik te maken van de meetdata van het KNMI-weerstation te Schiphol.

Deze afwijking van het monitoringsplan heeft, op basis van de opgedane kennis, geen negatieve invloed op het eindresultaat van de pilot.

Ten tijde van het opstellen van het monitoringsplan (2018) was onbekend hoe de voorspanning in de JLD-Dijkstabilisatoren zou reageren op neerslag. Daartoe was bedacht dat de neerslag zeer nauwkeurig en lokaal gemeten zou moeten worden. Uit de meetdata van de voorspanning (4 metingen per dag) volgt dat de voorspanning per dag nauwelijks fluctueert. Dat betekent dat de neerslag op korte termijn geen effect heeft op het verloop van de voorspanning. Wel zijn seizoenseffecten waarneembaar in het verloop van de voorspanning. Seizoenseffecten worden veroorzaakt door de langdurige trend van het weer, bijvoorbeeld lange periode van droogte of lange periode van neerslag. Deze trend is onafhankelijk van incidentele lokale buien. Daardoor zijn de meetresultaten van het weerstation te Schiphol, op een afstand van circa 15 km van de projectlocatie, zeer geschikt om de relatie tussen neerslag (en verdamping) en het verloop van de voorspanning te bepalen.

3.1.5 Monitoring voorspanning

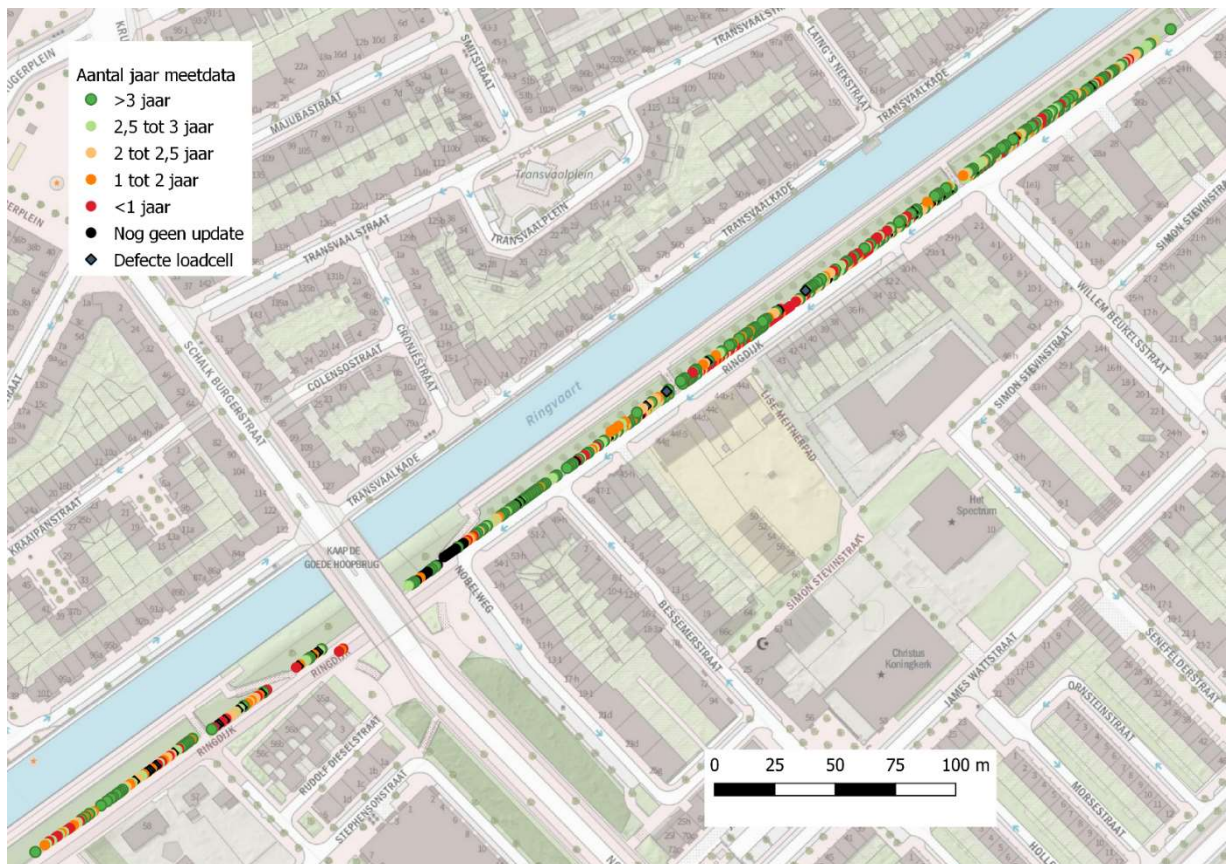
Elke dijkstabilisator is voorzien van een sensor om de actuele voorspanning te meten. Afname van de voorspanning kan duiden op een verminderde werking van de JLD-Dijkstabilisator. De sensoren meten real-time en blijven gedurende de levensduur van de JLD-Dijkstabilisator zitten. De druksensor dient gedurende de gehele monitoringsperiode, 4 maal per dag een drukmeting te doen.

Tijdens de beheerfase zullen naar alle waarschijnlijkheid op enig moment druksensoren uitvallen. Hierbij is vooraf de volgende werkwijze bij genoteerd:

- Bij uitval van hier en daar een enkele druksensor hoeft niet direct te worden ingegrepen. Het onderhoud van verschillende druksensoren kan dan gecombineerd worden. Doordat alle dijkstabilisatoren van een sensor zijn voorzien blijft er een goed beeld van de algehele werking van het systeem.
- Indien 2 druksensoren naast elkaar uitvallen, dient dit direct te worden onderzocht.

Tijdens de monitoringsfase zijn twee leerpunten ontdekt:

1. Niet alle druksensoren zijn nodig om een goed beeld te houden van de status van het systeem. Ook bij uitval van 2 druksensoren naast elkaar is er geen actie benodigd. Het belangrijkste is dat er beeld blijft van de gemiddelde status binnen 1 glijvlak.
2. Door een storing in het Internet of Things netwerk (IoT-netwerk) is een groot deel van de stabilisatoren de verbinding verloren (zie paragraaf 3.3). Door het verlies in verbinding zijn de nodes (zonder succes) gaan proberen om data te verzenden, dit proces heeft veel energie gekost waardoor de batterijen voortijdig leeg zijn geraakt. Daardoor is niet van elke stabilisator een volledige meetreeks beschikbaar. In Figuur 3-1 is grafisch weergegeven hoeveel meetdata er beschikbaar is per stabilisator.



Figuur 3-1 Overzicht beschikbare lengte van de meetreeks per stabilisator.

Het tweede punt is een afwijking op het vooraf opgestelde monitoringsplan. Daartoe is geëvalueerd of er voldoende data beschikbaar is om de monitoringsfase af te ronden. Deze analyse is gerapporteerd in [28]. Hieronder is beknopt het resultaat opgenomen.

Om te bepalen of het mogelijk is om in Q1 2023 de postdictie uit te voeren met de vrijgekomen data was het belangrijk om te bepalen of de hoeveelheid beschikbare data representatief is voor het geheel. Vervolgens is onderzocht of met de beschikbare data de doelen uit de postdictie gehaald konden worden. In Tabel 3-1 is een

overzicht opgenomen van de te beschouwen onderwerpen in de postdictie versus de daarvoor beschikbare data.

Uit de analyse volgt dat er op meerdere trajecten voldoende informatie beschikbaar is om de werking van het systeem te herijken en daarmee de predictie van het spanningsverloop bij te stellen. Belangrijke kanttekening: het bepalen van het te beschouwen traject, en de benodigde databewerking vergt door de ongelijkheid van de meetreeksen extra aandacht in de postdictie. Dit om te voorkomen dat onnodig data wordt uitgesloten en te borgen dat enkel relevante/representatieve stukken worden beschouwd.

Tabel 3-1 Overzicht beschikbaarheid data versus te beschouwen onderwerpen in de postdictie.

Doel	Eerste inschatting benodigheden	Voldoende informatie voor postdictie ja/nee
Aanscherpen predictie verloop voorspanning in PLAXIS.	Het verloop van de voorspanning is gebaseerd op de zwakste sectie van de waterkering. volgt dat er ter plaatste van deze sectie, en 65 m aan weerszijden voldoende meetdata is om de postdictie uit te voeren. Daarnaast is van elke stabilisator de spanningsafname bekend doordat de spanning in q2 2022 handmatig is uitgelezen.	Ja
Beheerder inzicht geven in te verwachten beheerinspanning en de te verwachten naspanmomenten.	Van elke stabilisator is bekend wat de spanningsafname is in de afgelopen 4 jaar.	Ja
Passend rekenmodel met bijhorende parameters.	Idem	Ja
Gevoeligheid van berekeningen voor verschillende zettingsmodellen.	Idem	Ja
Impact seizoenseffecten.	<ul style="list-style-type: none"> - Van ruim 500 stabilisatoren is minimaal 1 volledige jaarcyclus aan meetgegevens beschikbaar. - Van circa 400 stabilisatoren zijn minimaal 2 volledige jaarcycli aan meetgegevens beschikbaar. - Van circa 200 stabilisatoren zijn de volledige 4 jaar aan meetdata aanwezig. - Van circa 300 m is het verloop van de gemiddelde voorspanning aanwezig. 	Ja
IJken zakkingsgedrag a.d.h.v. gemeten vervorming.	Bij 4 van de 5 meetraaien is het verloop van de voorspanning van de online stabilisatoren representatief voor de offline stabilisatoren.	Ja
Effect van naspannen op het verloop van de nagespannen stabilisator.	In november 2022 is dit geverifieerd.	Ja
Effect van naspannen op het verloop van de aangrenzende (niet nagespannen) stabilisatoren.	In november 2022 is dit geverifieerd.	Ja
Verklaren van bijzonderheden.	Voldoende data beschikbaar.	Ja
Effect van wateronttrekking door de bomen.	In een strekking van circa 100 m langs de bomenrijen is de beschikbare data representatief.	Ja
Bepalen hoeveel % van de stabilisatoren in de toekomst moet blijven zenden.	Zie impact seizoenseffecten.	Ja

3.1.6 Beplanting

Op veel regionale keringen zijn bomen aanwezig, zo ook binnen de grenzen van het pilotproject te Watergraafsmeer. Vanuit historisch oogpunt is het vaak niet wenselijk deze bomen van de kering te verwijderen. Vanuit het perspectief van de keringbeheerders is een waterkering zonder bomen

betrouwbaarder. De JLD-Dijkstabilisator kan rondom de aanwezige bomen geplaatst worden, waardoor zowel de historische waarde als de veiligheid geborgd kunnen worden.

De hoofdvraag was: *Wat is de te verwachten invloed van de JLD-Dijkstabilisator op de beplanting?*

Om inzicht te krijgen in het effect van de JLD-Dijkstabilisator op de beplanting, zijn de ontwerpfase, de uitvoeringsfase en de gebruikersfase beschouwd.

In de ontwerpfase zijn er gaten in het stramien gemaakt zodat de JLD-Dijkstabilisatoren geen grote boomwortels zouden raken. Ook is in de ontwerpfase een 0-meting van de bomen rondom het projectgebied uitgevoerd, een zogenaamde Visual Tree Assessment (VTA). Hierin is bewust een groter gebied onderzocht zodat er een vergelijking kon worden gemaakt tussen de versterkte en de onversterkte waterkering.

Direct na de realisatie en 1 jaar na de realisatie is conform planning een VTA uitgevoerd en gerapporteerd in de jaarrapportage van 2020 [29] en de onderzoeksrapportage 9 [9]. Hieruit volgt dat de JLD-Dijkstabilisator, met het ontworpen stramien, geen invloed heeft op de aanwezige bomen.

3.2 Reguliere rapportages

Ten behoeve van de herleidbaarheid zijn alle gemonitorde aspecten en onderzoeken in rapportages beschreven. Het monitorings- en nastelplan voorzagt in de onderstaande rapportages.

3.2.1 Feitenrapportage per kwartaal

Conform het plan is er 3 maal per jaar een kwartaalrapportage opgesteld, waarin de in dat kwartaal beschikbaar gekomen monitoringsdata feitelijk is opgenomen. De monitoringsgegevens uit elk 4^e kwartaal zijn direct opgenomen in de jaarrapportage, en zijn zoals gepland niet opgenomen in een losse kwartaalrapportage.

3.2.2 Jaarrapportage

Conform het plan is er jaarlijks een rapportage opgesteld waarin alle monitoring, inspecties, overzicht vergunningverlening, eventuele incidenten en het vergelijken of het gedrag afwijkt van de verwachtingen (zonder uitgebreide analyse) zijn opgenomen. Deze rapportage is beschikbaar voor 2019, 2020, 2021 en 2022.

3.2.3 Werkplan

Elk jaar is op basis van de ervaring van het voorgaande jaar en het monitoringsplan een werkplan opgesteld. De inhoud van de werkplannen is voor de start van het nieuwe jaar beoordeeld door de technische commissie, de beheerderscommissie en vastgesteld door de stuurgroep. Zo is er een werkplan opgesteld en goedgekeurd voor het jaar 2020, 2021, 2022 en 2023.

3.3 Dataverzending

Kennis van de voorspanning in de JLD-Dijkstabilisator is een belangrijk onderdeel van het systeem. Onder invloed van kruip neemt de voorspanning in de tijd af. Door zwel en krimp van het dijklichaam als gevolg van seizoensinvloeden kan de voorspanning toe- of afnemen. Om ten behoeve van de postdictie meer inzicht in het verloop van de voorspanning te krijgen, zoals beschreven in het nastel- en monitoringsplan, is het nodig om elk jaar de voorspanning van de stabilisatoren te analyseren.

Tijdens de realisatie (tot maart 2019) is de monitoring van alle stabilisatoren getest, 21 maart 2019 verzond 87% van de stabilisatoren de gegevens. Op 10 april 2019 zond er na een storing in de Internet-of-Things (IoT)-service slechts 10% procent van de nodes een signaal. Dat dit probleem kon optreden was bij aanvang van het pilotproject niet voorzien. Om ervoor te zorgen dat de nodes weer online zouden komen zijn in de loop van 2 jaar verschillende onderzoeken uitgevoerd en acties ondernomen.

3.3.1 Bureauonderzoek naar herstel van de verbinding, 2019 - 2020

In de periode vanaf maart 2019 tot medio 2020 heeft dit slechts deels positieve resultaten opgeleverd, 40% van de sensoren verzonden data 4 maal per dag, en 60% verzonden dus nog geen data. In deze periode is doormiddel van gesprekken met de IoT-provider, de leverancier van de nodes en IT-experts van RWS onderzoek gedaan naar de mogelijke oorzaken van het verliezen van de verbinding met de nodes. Het volledige resultaat is opgenomen in [30].

In dit bureauonderzoek is een schematisatie van het systeem opgesteld (zie onderstaand figuur) om zo te achterhalen bij welke verbinding er een storing is. De uitdaging was dat het, zonder de nodes op te graven, niet met zekerheid te achterhalen was bij welke verbinding de storing was opgetreden. Daartoe is op basis van expert-judgement ingeschat wat met de hoogste waarschijnlijkheid het probleem was. Vervolgens zijn er meerdere oplossingsrichtingen opgesteld en is een afweging opgesteld welke oplossing kansrijk werd geacht. Daarbij was een oplossing die ingrijpt op meerdere mogelijke oorzaken kansrijker dan een oplossing die maar 1 mogelijke oorzaak verhelpt.



Op basis van de probleemanalyse en de oplossingsrichtingen was het aannemelijk dat er meerdere factoren een rol speelden bij het niet ontvangen van data op het platform. De 2 voornaamste verwachte oorzaken waren 'firmware in circa 370 nodes niet compatibel met storingen op het netwerk en 'onvoldoende signaalsterkte bij meerdere (onbekend aantal) nodes'. Omdat het verwachte probleem bestond uit meerdere componenten was het advies om een gecombineerde en getrapte aanpak te kiezen. Het voordeel van de getrapte aanpak was dat tijdens de implementatie van de oplossingen meerdere feedbackmomenten zijn ingebouwd. Door de feedback wordt de oplossingsrichting bijgestuurd afhankelijk van de resultaten. Het beschikbare budget werd zo doelbewust en efficiënt ingezet.

3.3.2 Test van oplossingen, 2020

Op basis van de opgestelde beslisnotitie [30] is in november 2020 getest of de verwachte oplossing het probleem ook daadwerkelijk verhielp. De bevindingen van deze herstelwerkzaamheden zijn opgenomen in [29]. De geteste oplossing bestond uit een handmatige software update van 62 niet zendende nodes. Om deze update aan te brengen was het nodig om de nodes in het veld vrij te maken door middel van het uitsteken van de bovenliggende grond. Vervolgens zijn de potten open gemaakt en zijn de nodes handmatig voorzien van een software-update. Het belangrijkste verschil met de oude software was een zogenaamd 'vangnet'. Dit vangnet zorgt ervoor dat bij verlies van de verbinding de nodes met steeds grotere intervallen, tot het uitvallen van de batterij, toch zouden proberen de data weer te verzenden. De oude software was dusdanig opgebouwd dat de node het verzenden opgaf na een x-aantal pogingen.

Bij aanvang van de inspectie waren er 238 van de 647 nodes online. Na uitvoering van de inspectie op 62 nodes zijn er 298 van de 647 nodes online. Dit betekent dat de werkzaamheden een slagingspercentage van 96% hadden. Van de 62 nodes waren er slechts 2 nodes welke nog niet online waren. Naar verwachting zijn deze niet online door een te grote gronddekking.

Het hoofddoel van onderzoekswerkzaamheden was het beantwoorden van de vraag:

'Wat is de oorzaak van het offline zijn van de nodes?'

Aan de hand van de uitgevoerde inspectie is het antwoord op de onderzoeksvraag:

- De hoofdoorzaak van het niet zenden van de nodes is de oude versie van de software op de node. De oude versie van de software was niet in staat om automatisch weer online te komen na een update (medio 2019) van de telecomprovider. Bij deze nodes was het nu noodzakelijk om handmatig een update van de software uit te voeren. De nieuwe versie van de software heeft een ingebouwd vangnet waardoor deze automatisch weer online komt, ook na een tijdelijke storing.
- De gronddekking was bij enkele stabilisatoren te groot om een stabiel signaal te verzenden. De gronddekking is bij 3 stabilisatoren verkleind door een holle oplengmof aan te brengen op de pot. Dit heeft geresulteerd in een stabiel signaal.
- De positie van de node in de pot speelt een rol in het bereik van het signaal. Het effect is tijdens de inspectie niet gekwantificeerd. Wel is het advies om in de toekomst alle nodes met de antenne naar boven in de pot te plaatsen om het risico op verlies van bereik te beperken.
- In 237 potten was een klein laagje water aanwezig. Voor zover bekend speelt dit geen rol op de werking van de node.

De uitgevoerde werkzaamheden hebben met zekerheid een oplossing gevonden voor het feit dat een deel van de nodes geen data verzond naar het platform. Daartoe is vervolgens een werkplan opgesteld om de verbinding met de overige nodes te herstellen [29].

3.3.3 Herstel verbinding nodes, 2022

In 2022 is de verbinding van bijna alle nodes hersteld. Er is op 20 april 2022 gestart met de eerste stabilisator en op 7 juli 2022 is de laatste pot weer bedekt met grond. De totale doorlooptijd van de werkzaamheden was daarmee 11 weken, waarin op ca. 52 dagen buiten is gewerkt. De doorlopen werkstappen zijn hieronder opgenomen.

1. Opzoeken van de nodes middels GPS.
2. Vrijmaken van de pot middels een steekbus.
3. Waarnemen en registreren van de situatie in de pot (positie node, diepte van de pot onder de grond, water in de pot.
4. Voorspanning uitlezen.
5. Druksensor vervangen indien nodig.
6. Naspannen tot 50-55kN.
7. Vervangen nodes;.
8. Node activeren met mobiele FA app en juist positioneren in de pot.
9. Indien nodig, oplengen pot.
10. Afdekken met grond.
11. Test van de signaalsterkte.
12. Eventueel opnieuw uitsteken en pot oplengen/druksensor vervangen.

De werkzaamheden hebben het grootste deel van de gestelde doelen behaald. Hieronder zijn de doelen en de behaalde resultaten opgenomen.

Online brengen van de nodes

Dit doel is grotendeels behaald, er zijn in totaal 595 van de 618 stabilisatoren voorzien van een nieuwe node. 19 stabilisatoren bevinden zich in de buurt van een gevoelige gasleiding waar op aanwijzing van Alliander niet gewerkt mocht worden. 4 stabilisatoren zijn niet 'gevonden' doordat de gps coördinaten in het logboek onjuist waren. Alle nieuwe nodes zijn geactiveerd en verzenden data naar het platform.

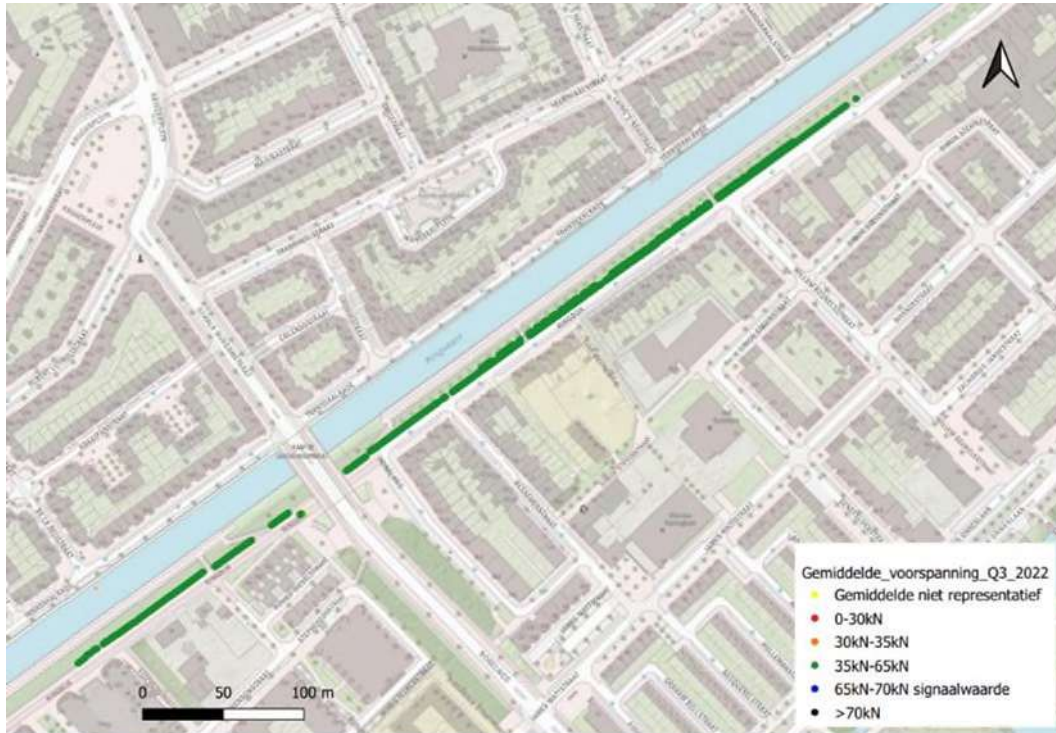
Data uit oude nodes halen t.b.v. het beantwoorden van de onderzoeksvragen

De oude nodes zijn op kantoor voorzien van een nieuwe batterij. Door het vervangen van de batterij zijn deze weer online gekomen en is alle opgeslagen data naar het platform verstuurd.

Het resultaat is dat er voldoende data beschikbaar is gekomen om de postdictie in het eerste kwartaal van 2023 op te starten. Het doel is dus behaald. Het resultaat op dit doel kent wel een nuance, er is voldoende data opgehaald, maar niet 100% van de data. De achtergrond hiervan is opgenomen in [28].

Naspannen

Zoals verwacht en gemeten was de voorspanning van een deel van de stabilisatoren gedaald tot onder de grens van 30kN. In het werkplan 2022 is daartoe het doel opgenomen om de herstelwerkzaamheden te combineren met onderhoud aan de voorspanning. Het doel was om de gemiddeld voorspanning weer tussen de 35 kN en 60 kN te brengen. Zoals in Figuur 3-2 te zien is, is dit doel behaald.



Figuur 3-2 Overzicht gemiddelde voorspanning in een straal van 15 meter rondom elke stabilisator.

Veldinspectie

Tijdens de herstelwerkzaamheden is eveneens aandacht gegeven aan het inspecteren op onregelmatigheden. Gedurende de werkzaamheden zijn geen bijzonderheden aan de dijk waargenomen. Ook is er geen actieve kwelstroom in de pot waargenomen.

Vergelijking geplande werkzaamheden met uitgevoerde werkzaamheden

In begin 2021 is een lijst opgesteld met de verwachting van de uit te voeren werkzaamheden. Onderstaand is deze lijst opgenomen, samen met de daadwerkelijk uitgevoerde werkzaamheden.

Actie	Opmerking	gevolg/consequentie
Vervangen nodes.	In het herstelplan is opgenomen dat alle 618 nodes vervangen zouden worden. In de praktijk zijn er 598 nodes vervangen. - 19 stabilisatoren bevinden zich in de buurt van een gevoelige gasleiding waar op aanwijzing van Alliander niet gewerkt mocht worden. - 4 stabilisatoren zijn niet 'gevonden' doordat de gps coördinaten in het logboek onjuist waren.	De 19 stabilisatoren werken nog steeds, maar de data is niet inzichtelijk. Deze zullen op termijn gaan werken als passief vernagelingsstelsel. Dit geldt ook voor de 4 stabilisatoren die niet gevonden zijn. Bij het eerst volgende groot onderhoud kunnen deze mogelijk weer opgezocht worden.
Naspannen nodes met voorspanning onder de signaalwaarde (<35 kN) en preventief naspannen (<40 kN) en	In de praktijk zijn er tijdens de naspanwerkzaamheden circa 450 stabilisatoren nagespannen. Dit aantal is grofweg opgebouwd uit: - Ca 80. stabilisatoren naspannen na vervangen van druksensor (waarvan 33 in 2021 ingeschat) - Ca. 220 stabilisatoren met een voorspanning onder de 40 kN, waarvan 193 in 2021 bekend. - Ca. 80 stabilisatoren met een te hoge voorspanning, waarvan 16 in 2021 bekend.	n.v.t.

Actie	Opmerking	gevolg/consequentie
ontspannen van stabilisatoren met hoge voorspanning (>60kN).	- Ca. 70 stabilisatoren in spanning aangepast (van 40 – 50 kN naar 50 – 60 kN) om het systeem weer op de spanning van de as-built situatie te brengen. - De inschatting in 2021 was dat er nog 50 stuks extra in spanning aangepast moesten worden. Tussen het opstellen van het werkplan (medio 2021) en het naspannen (medio 2022) zijn er zoals vooraf voorspeld meerdere stabilisatoren in voorspanning afgenomen. Daardoor is het aantal na te spannen stabilisatoren in 2022 hoger dan dat er in het werkplan beschreven was.	
Controleren voorspanning.	Uitgevoerd zoals gepland.	n.v.t.
Inspectie op kwel.	Geïnspecteerd en geen actieve kwel waargenomen.	De stijghoogte in Watergraafsmeer is niet voldoende hoog om ook actieve kwel waar te nemen. Hiermee kan de onderzoeksvraag niet definitief beantwoord worden.
Onderzoek verloop voorspanning zonder naspannen.	Stabilisatoren a002 t/m a032 zijn zoals gepland niet nagespannen.	Hier kan het waterschap bij de volgende toetsronde een vergelijking maken in het verloop van de voorspanning met de stabilisatoren die wel nagespannen zijn.
Werken met 2 ploegen.	De oorspronkelijke planning van het herstelplan was om de werkzaamheden in ca. 6 weken uit te voeren. Met een dubbele ploeg (1 ploeg = 1 machinist en 2 grondwerkers) aangestuurd door de uitvoerder/projectleider zou het project in ca. 6 weken zijn afgerond. Aangezien de projectlocatie een drukke verkeersroute is was het geen optie om met 2 kranen en dus rijbaanafzettingen tegelijk aan het werk te zijn. Er is gedurende 12 weken met 1 ploeg en uitvoerder gewerkt. De uitvoerder heeft tevens het logboek beheerd en alle gegevens verwerkt.	n.v.t.
Gaten einde van de week dicht.	Gaten zijn aan het eind van elke dag gedicht om vandalisme te voorkomen.	n.v.t.
Gebruik van bewaking.	Gaten zijn aan het eind van elke dag gedicht om vandalisme te voorkomen.	Er is geen vandalisme geweest. Met het dichtten van gaten als maatregel lijkt er geen aanleiding te zijn om met camerabewaking te werken.
Nieuw type deksels om antenne te behuizen.	Na het opstellen van het oorspronkelijke werkplan is op advies van RWS gekozen om aan elke node een externe antenne te bevestigen, dit om het bereik te verbeteren en daarmee meer zekerheid te geven over de ontvangst van de data. Daartoe is elke deksel uitgerust met een buisje om ruimte voor de antenne te creëren.	Bij graafwerkzaamheden rondom de potten dient rekening te worden gehouden met de buis met antenne per pot.
Vervangen extra druksensoren.	Er was vooraf rekening gehouden met vervangen van 33 druksensoren, in de praktijk bleken dit er meer te zijn, namelijk 81. Omdat het er meer waren dan verwacht zijn er een aantal defecte druksensoren ter analyse aangeboden bij de leverancier.	[PM: zodra de analyse door de leverancier opgeleverd is, hier de resultaten vermelden]
Facility Apps, script data nodes en updaten ankenummers.	In plaats van het gebruik van de oude nodes met een software update zijn er zoals gepland nieuwe nodes gebruikt met verbeterde software en verbeterde verzending. Het verwerken van de nieuwe meetgegevens in het platform heeft extra tijd gekost doordat het converteren en koppelen van de data uit de nieuwe nodes middels een script bewerkelijker was dan verwacht.	n.v.t.

3.4 Monitoring proeflocatie Purmerend

Naast het pilotproject in Watergraafsmeer is in 2018 een extra proefopstelling in Purmerend opgesteld. De proeflocatie ligt aan de Kwadijkerweg in Purmerend. Op het proefterrein zijn in het verleden al meerdere proeven uitgevoerd, zoals het beproeven van de vervorming tijdens plaatsing en het testen van de trekkracht. Op 4 juli 2018 is de uitvoering van de langeduur proef gestart en zijn de JLD-Dijkstabilisatoren geplaatst. Op 15 januari 2019 zijn de stabilisatoren afgespannen en begon de monitoring. De proef heeft uiteindelijk van 15 januari 2019 tot medio maart 2020 geduurd (circa 14 maanden exclusief de uitvoeringsperiode). De proef diende als doel om informatie te verzamelen ten behoeve van de beantwoording van diverse onderzoeksvragen.

Oorspronkelijk was gepland om de proef begin 2021 af te ronden. Voor de verdere uitbreiding van het industriegebied de Baansteer was de aanbesteding op 1 september 2020 bekend gemaakt. Door de snelle aanvang van deze werkzaamheden zouden wij genoodzaakt zijn om het proefveld vóór 14 september 2020 gerooid te hebben.

In voorbereiding op de uitbreiding van het industriegebied hebben er in de nabijheid van het proefveld al werkzaamheden plaatsgevonden. In maart 2020 is helaas zwaar materieel over het proefveld gereden waar de JLD-Dijkstabilisatoren zijn ingebracht. Het materieel is ingezet in het kader van de uitbreiding van een nabijgelegen bedrijventerrein. Dit heeft schade gebracht aan het proefveld in de vorm van grote deformaties, resulterend in onder andere scheve kopplaten. Tevens is de ontwateringsgeul dichtgegooid met grond. Hierdoor hebben de 'putten' waar de kopplaten zich in bevinden vol water gestaan en zijn visuele kenmerken verloren gegaan. Figuur 3-3 geeft een indruk hoe het proefveld eruit zag vlak na het incident.

Doordat er deformatie rondom de kopplaten heeft plaatsgevonden heeft dit invloed op de geplande deformatiemeting. In de meting zou de deformatie door toedoen van de voorspanning gemeten worden. Doordat er nu onbekende extra deformatie heeft plaatsgevonden, heeft de geplande deformatiemeting geen waarde meer. Deze informatie was een 'nice to have' en heeft geen impact op de te beantwoorden onderzoeksvragen. De destijds voorgenomen monitoring voor de proef in Purmerend is beschreven in het monitoringsplan [2]. Desondanks zijn er resultaten uit de proef behaald. Deze zijn gerapporteerd in [31]. De resultaten zijn beknopt beschreven op de volgende pagina.

Het zware materieel dat over de kopplaten heeft gereden heeft een permanent en onbekend effect op de voorspanning van de JLD-Dijkstabilisatoren. De planning was om na 24 maanden een analyse uit te voeren naar het verloop van de voorspanning onder normale omstandigheden. Door de verstoring is het van belang om enkel de eerste 14 maanden van de meetdata te analyseren in de postdictie. Een onderdeel welke niet uit de monitoringsdata van Purmerend meer kan volgen is het effect van naspannen op het spanningsverloop. Deze informatie kan wel gehaald worden uit het pilotproject te Watergraafsmeer.



Figuur 3-3 Impressie schadebeeld.

Ondanks de vroegtijdige verstoring van het proefveld zijn er wel resultaten behaald.

- Input verkregen voor de realisatie, monitoring en bijbehorend beheer voor het ontwerp van Watergraafsmeer:
 De analyse betrof de eerste praktijkervaringen opdoen met de monitoringssystemen en de JLD-Dijkstabilisator. Daardoor zijn kleine aanpassingen gedaan aan het uitvoeringsproces waardoor de realisatie in Watergraafsmeer eenvoudiger was.
- Onderzoeksvraag 7 & 11 Kwel- en pipinganalyse is beantwoord [7]:
 Dit betrof een onderzoek naar kwel en piping langs de JLD-Dijkstabilisator. Dit onderzoek is uitgevoerd door middel van infrarood metingen, visuele inspecties en waterspanningsmetingen. Dit is gerapporteerd in de beantwoording van onderzoeksvraag 7 en 11 van het ENW. Hierbij zijn metingen van Purmerend en Watergraafsmeer gebruikt. Er zijn geen piping situaties opgetreden. Tevens is er vrijwel geen kwelwater waargenomen tijdens de metingen.
- Onderzoeksvraag 15 'Trillingen tijdens inbrengen van de JLD-Dijkstabilisator' is beantwoord [21]:
 Tijdens het inbrengen van de JLD-Dijkstabilisator zijn de trillingen gemeten in Purmerend. Aan de hand van de metingen in Purmerend is de uitvoeringswijze aangepast voor Watergraafsmeer. In de Watergraafsmeer zijn vervolgens opnieuw trillingsmetingen gedaan en op basis van deze trillingsmetingen is onderzoeksvraag 15 beantwoord.
- Onderzoeksvraag 16 'Maaiveld deformaties bij het inbrengen van de JLD-Dijkstabilisator en deformaties rondom kopplaten tijdens het afspannen' is beantwoord [22]:
 Tijdens het inbrengen en afspannen van de kopplaten zijn maaiveld deformaties opgetreden. Bij het inbrengen zijn de deformaties orde grootte 10 tot 70 mm en bij het afspannen bedroeg de zakking van de kopplaat ca 30 tot 70 mm. De effecten van deformaties reiken tot een straal van maximaal 1,5 m. De metingen zijn verwerkt in een rapportage voor onderzoeksvraag 16 van het ENW.
- Testen van de uitvoering is geslaagd:
 Tijdens de proeven in Purmerend is de uitvoering getest met betrekking tot aanbrengen, materieel, monitorings- en logsystemen van de machine en afspannen van de JLD-Dijkstabilisator met de afspanunit. De ervaringen zijn meegenomen in de uitvoering voor Watergraafsmeer. Wijzigingen naar aanleiding van de proeven in Purmerend zijn veel kleine aanpassingen waardoor de uitvoering efficiënter gaat en daarnaast de vervanging van het trilblok om de trilling te minimaliseren. Wat wel is opgemerkt in Watergraafsmeer is dat de inbrengweerstand van de LDE's in de Ringdijk veel hoger was dan in Purmerend. Meer hierover staat opgenomen in de As-built rapportage [13].

3.5 Actualisatie onderzoeksvragen

In het monitoringsplan [2] zijn de te monitoren aspecten gekoppeld aan de te actualiseren onderzoeksvragen opgesteld door het ENW. De koppeling tussen de monitoringsparameters en de onderzoeksvragen van het ENW is weergegeven in Tabel 3-2, de betreffende onderzoeksvragen zijn in Tabel 3-3 omschreven.

Tabel 3-2: Koppeling tussen monitoring en onderzoeksvragen.

Parameter	Onderzoeksvragen (OV)					
	OV5	OV7	OV8	OV9	OV11	OV13
Veldinspecties	X	X	X	X	X	X
Deformatie JLD-Dijkstabilisator	X		X			
Deformatie kruin (maaiveld)	X		X			
Deformatie kopplaat	X		X			
Beplanting				X		
Piping		X			X	
Voorspanning						X
Neerslag	X	X	X		X	X
Materiaal degradatie	X	X	X	X	X	X
Waterspanningen	X	X	X	X	X	X

Tabel 3-3: Omschrijving onderzoeksvragen.

Nr.	Omschrijving onderzoeksvraag
1	De ontwerpbaarheid van de Dijkstabilisator gegeven de afgeleide ontwerpwijze en de daarmee te realiseren veiligheid (stabiliteit)
5	Stabiliteit/sterkte grond onder de kopplaat meenemen in ontwerp
7	Pipingrisico langs het anker (door het inbrengen van het anker met de drijfstag) in andere dan zuiver kleiige gronden;
8	Effect doorgaande kruindaling en grondvervorming op ankers.
9	Effect bestaande beplanting op JLD ankers
11	Aanwezige wateroverspanning in relatie tot pipingrisico en uitvoerbaarheid
13	Mate waarin de voorspanning over langere tijd aanwezig blijft bij een samendrukbare dijk;

Per onderzoeksvraag zijn de eventuele wijzigingen beschreven in onderstaande subparagrafen.

3.5.1 Onderzoeksvraag 1: Ontwerpbaarheid JLD-Dijkstabilisator

De ontwerpmethodiek en veiligheidsfilosofie wijzigen niet, zoals beschreven in de postdictie [4], zie hiervoor ook hoofdstuk 3.64. Daarmee blijft de beantwoording van de onderzoeksvraag en de onderzoeksrapportage ongewijzigd. In de rapportage van onderzoeksvraag 1 is tevens de conclusie opgenomen van alle onderzoeksvragen. Eventuele nader inzichten ten aanzien van de onderzoeksvragen zijn hieronder opgenomen.

3.5.2 Onderzoeksvraag 5: draagkracht kopplaat

Onderzoeksvraag 5 is uitgesplitst in twee deelvragen.

- Deelvraag 1: Berekenen van draagkracht van de grond onder de kopplaat op een talud.
- Deelvraag 2: Berekenen stabiliteit van de kopplaat als enkel element of als strokenfundering.

De ontwerpmethodiek van deelvraag 1 is in de PPV beschreven en behoeft geen wijzigingen. Deelvraag 2 is niet volledig in de PPV opgenomen en bevat een aanvulling. In de PPV is niet opgenomen wanneer bij de analytische rekenmethode de draagkracht als poer of als strokenfundering berekend dient te worden. Dit is in onderzoeksvraag 5 wel uitgezocht. Hieronder is de conclusie van deelvraag 2 opgenomen. De onderzoeksrapportage bevat geen wijzigingen.

Deelvraag 2: Berekenen stabiliteit van de kopplaat als enkel element of als strokenfundering.

In het ontwerp van een dijkversterking met de JLD-Dijkstabilisator kan er gekozen worden voor verschillende h.o.h. afstanden. Bij een grote h.o.h. afstand beïnvloeden de kopplaten elkaar niet. Bij een kleine h.o.h. afstand is de onderlinge invloed maximaal.

Om de draagkracht per kopplaat te bepalen, afhankelijk van de onderlinge h.o.h. afstand, zijn er berekeningen conform de NEN9997-1, Plaxis 2D en Plaxis 3D uitgevoerd. Hieruit volgt:

- Bij een h.o.h. afstand gelijk aan de kopplaatbreedte is de draagkracht per kopplaat minimaal. De draagkracht komt overeen met een strookfundering.
- Bij een toenemende h.o.h. afstand (groter dan 1 keer en kleiner dan 2 keer de kopplaatbreedte) neemt de draagkracht toe.
- Bij een h.o.h. afstand groter dan twee maal de kopplaatbreedte is de draagkracht maximaal. De draagkracht is vergelijkbaar met een poerfundering.

Er zijn berekeningen uitgevoerd in Plaxis 3D ten behoeve van bovenstaande. Daaruit blijkt dat de draagkracht per kopplaat bij h.o.h. 2 m met ruim een derde toeneemt ten opzichte van h.o.h. 1 m. Deze toename past binnen het beeld van de draagkracht zoals de methode in NEN9997-1 die schetst. Bij grotere h.o.h. afstanden neemt de draagkracht (per kopplaat) verder toe tot een zekere evenwichtswaarde. Deze toename lijkt positiever dan NEN9997-1 voorspelt, maar is meer in lijn met de draagkracht van legankers.

Er is een ontwerpwijze opgesteld voor het berekenen van de draagkracht van de grond onder de kopplaat bij een enkel element of als strokenfundering. Bij h.o.h. afstanden tot 2 maal de breedte van de kopplaat werkt de kracht op de kopplaat als een strookbelasting. Bij grotere h.o.h. afstanden is locatie specifiek gedetailleerd model onderzoek vereist.

Tijdens de technische commissie van 22 februari 2019 werd de vraag gesteld of er falen kan optreden in de lengterichting van de dijk. Deze vraag is beantwoord in hoofdstuk 5 van de rapportage van de onderzoeksvraag 5. Uit de berekeningen blijkt dat de draagkracht in dwarsrichting van de dijk (het talud op) meer maatgevend is dan de draagkracht in lengterichting van de dijk (tussen de kopplaten). De maatgevende bezwijkrichting is in alle gevallen in de dwarsrichting van de dijk.

3.5.3 Onderzoeksvraag 7 en 11: piping en kwel

Onderzoeksvraag 7 en 11 zijn gecombineerd in 1 onderzoeksrapportage, het betreft de volgende onderzoeksvragen:

- Onderzoeksvraag 7: Is er een risico op kwel, en daarmee op piping of heave langs het anker door het inbrengen van het anker met de drijfstang en hoe groot is dit risico?
- Onderzoeksvraag 11: Kan de wateroverspanning in de zandlaag van de ringdijk Watergraafsmeer leiden tot kwel en daarmee tot piping of heave en kan dit een probleem opleveren voor de uitvoerbaarheid?

In de rapportage wordt het effect van de JLD-Dijkstabilisator beschreven op piping en kwel: "Bij het aanbrengen van de JLD-Dijkstabilisator wordt het klapanker met een drijfstang op de juiste diepte geplaatst. Door het terugtrekken van de drijfstang ontstaat een kleine holle ruimte die gedeeltelijk weer dicht gaat zitten door lokale instortingen. Het aanbrengen van het LDE over de trekstang zorgt er voor dat de holle ruimte grotendeels wordt opgevuld door grondverdringing. Op voorhand kan niet worden uitgesloten dat er een klein kanaaltje open blijft staan."

Door het grondverdringend aanbrengen van het LDE element wordt de holle ruimte grotendeels opgevuld, echter wat niet benoemd wordt is de holle ruimte in het LDE element waar de trekstang doorheen loopt. Mogelijk zou via deze route ook piping of kwel kunnen ontstaan als er een risico op piping en kwel bestaat. De ontwerpmethodiek blijft hetzelfde en daarmee ook de analyse die beschreven is in de onderzoeksrapportage. Mogelijke maatregelen indien kwel optreedt in uitvoeringsfase is het dichten van het gat dat door het terugtrekken van de drijfstang wordt gemaakt met bijvoorbeeld bentoniet, mikoliet of een andere uithardende of expanderende vloeistof. Dezelfde maatregel kan gehanteerd worden indien blijkt dat kwel door het LDE element optreedt.

Inhoudelijk behoeft de onderzoeksrapportage geen wijziging, zoals beschreven blijft de ontwerpmethodiek gelijk. Uit de monitoringsdata en ervaringen binnen de pilot Watergraafsmeer is niet gebleken dat piping en kwel uitgesloten is, daarom dient de controle wel bij vervolgprojecten uitgevoerd te worden, zeker op locatie waar een risico is op piping en kwel en de stijghoogte boven de kopplaat uitkomt.

3.5.4 Onderzoeksvraag 8: invloed vervormingen op JLD-Dijkstabilisator

Onderzoeksvraag 8 bestaat uit de volgende deelvragen:

- Deelvraag 1: Wat zijn de effecten van kruip, als gevolg van veenoxidatie, op de werking van de JLD-Dijkstabilisator?
- Deelvraag 2: Wat zijn de effecten van vervormingen die worden veroorzaakt door kruinophogingen gedurende de levensduur van het ontwerp op de werking van de JLD-Dijkstabilisator?
- Deelvraag 3: Hoe dient in het ontwerp omgegaan te worden met bovenstaande aspecten om de veiligheid van een waterkering versterkt met de JLD-Dijkstabilisator gedurende de levensduur te garanderen?

Naar aanleiding van de monitoring en ervaringen binnen pilot Watergraafsmeer is er geen aanleiding om de onderzoeksrapportage te wijzigen van onderzoeksvraag 8. Er is in de monitoringsperiode geen ophoging uitgevoerd. Daarnaast geven de monitoringsresultaten geen aanleiding om de conclusie in de onderzoeksvraag met betrekking tot veen oxidatie aan te passen.

3.5.5 Onderzoeksvraag 9: Beplanting

Onderzoeksvraag 9 bestaat uit twee deelvragen:

- Deelvraag 1: Wat is de te verwachten invloed van de JLD-Dijkstabilisator op de beplanting?
- Deelvraag 2: Wat is de te verwachten invloed van beplanting op de werking van de JLD-Dijkstabilisator?

Wat betreft deelvraag 1 is er een Virtual Tree Assessment uitgevoerd voor en na realisatie van de JLD-Dijkstabilisator. Er is een memo opgesteld met de uitkomsten, deze is nog niet in de onderzoeksrapportage opgenomen. Deelvraag 2 gaat in op de invloed van beplanting op de stabilisatoren. In de onderzoeksrapportage is een overzicht opgenomen van de interactie tussen bomen en de JLD-Dijkstabilisator. Dit blijft gehanteerd, enkele aanvullingen volgen hieronder.

Deelvraag 1: Wat is de te verwachten invloed van de JLD-Dijkstabilisator op de beplanting?

Conditie bomenbestand

In **2018** verkeerde het merendeel van het bomenbestand in een matige (43 bomen) of redelijke (50 bomen) conditie. Van 20 bomen is in 2018 de conditie als goed beoordeeld en van 9 bomen was de conditie als slecht beoordeeld. 12 van de gekeurde bomen waren dood en 8 bomen waren niet meer aanwezig.

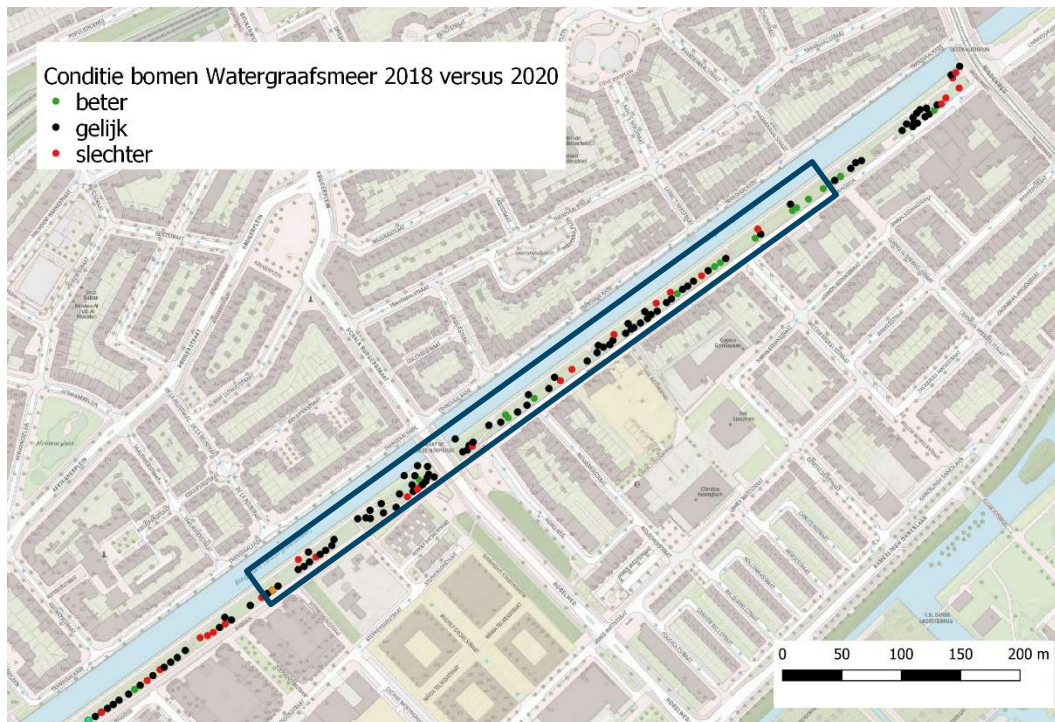
In **2020** is van 39 bomen de conditie als matig beoordeeld, de conditie van 56 bomen is als redelijk beoordeeld, de conditie van 14 bomen is als goed beoordeeld en de conditie van 12 bomen is bij de herkeuring in 2020 als slecht beoordeeld. Bij de herkeuring in 2020 waren 9 bomen verwijderd ten opzichte van het gekeurde bomenbestand in 2018. Er is geen verschil in conditie gesignaleerd tussen de bomen op de versterkte dijk versus de bomen op de onversterkte dijk.

Tabel 3-4: Overzicht conditieontwikkeling tussen de opname jaren 2018 en 2020.

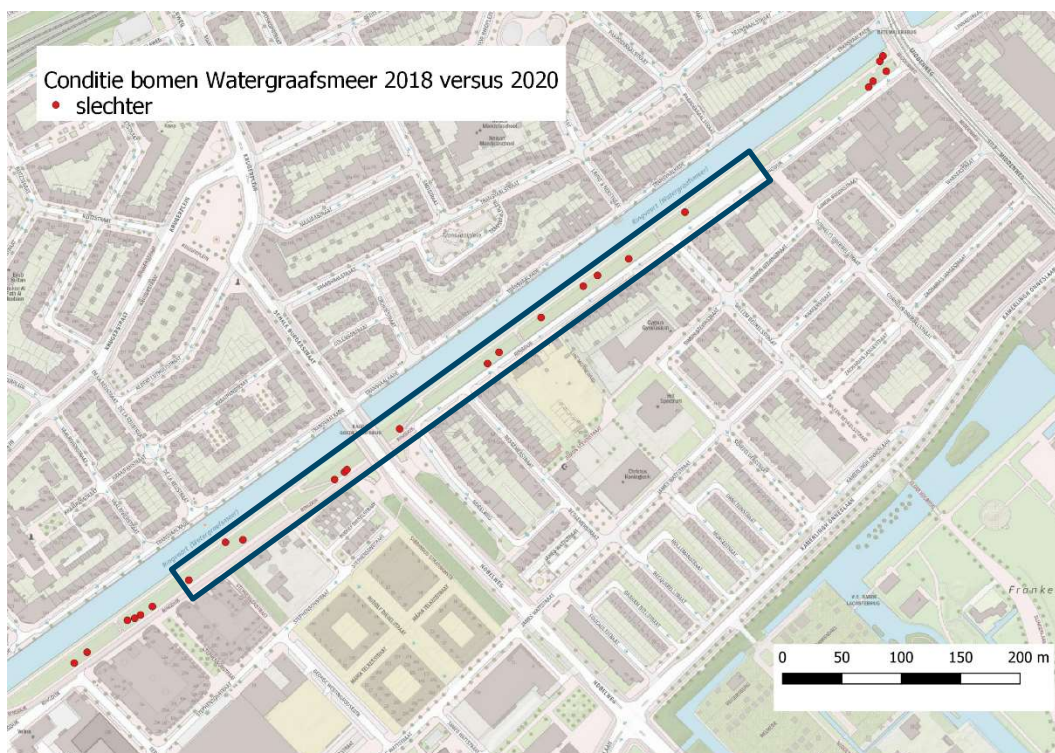
Conditieklasse	Conditie 2018	Conditie 2020
Goed	20 st	14 st
Redelijk	50 st	56 st
Matig	43 st	39 st
Slecht	9 st	12 st

De conditieontwikkeling laat zien dat de conditie van de bomen over het algemeen nauwelijks verschilt tussen de keuring voor aanvang van de werkzaamheden (2018) en de keuring na de werkzaamheden (2020). Als er in meer detail wordt gekeken is te zien dat er 26 bomen zijn waarvan de conditie achteruit is gegaan en 16 bomen waarvan de conditie vooruit is gegaan. In Figuur 3-4 en Figuur 3-5 is te zien dat zowel op de versterkte dijk (13 bomen) als de onversterkte dijk (13 bomen) de conditie achteruit is gegaan. De achteruitgang is mogelijk te wijden aan de droge zomer in 2018 en 2020. Doordat zowel de bomen op de onversterkte dijk als de versterkte dijk een soortgelijke ontwikkeling laten zien is er geen relatie tussen de verbetering/verslechtering van de conditie van de bomen en het gebruik van de JLD-Dijkstabilisator.

Er kan geconcludeerd worden dat er geen directe schade aan de boven- en ondergrondse delen van de bomen is ontstaan door de werkzaamheden. Deze gevolgen zouden nu zichtbaar zijn geweest.



Figuur 3-4 Overzicht conditievergelijking bomen 2020 versus 2018, met in blauw de locatie van de versterking. (in rood de bomen die in 2020 een slechtere conditie hebben dan in 2018).



Figuur 3-5 Overzicht conditievergelijking bomen 2020 versus 2018 (selectie bomen met een slechtere conditie in 2020), met in blauw de locatie van de versterking.

Deelvraag 2: Wat is de te verwachten invloed van beplanting op de werking van de JLD-Dijkstabilisator?

De monitoringsdata toont geen aanwijzing dat bomen een probleem zijn voor de stabilisator, mede omdat de kopplaat diep onder het maaiveld ligt. Tevens is er geen bezwijken van een stabilisator waargenomen of afwijkende vervormingen van de stabilisatoren. Op lange termijn is het gedrag nog onbekend, daarmee blijft het advies om een kopplaat vrij te graven in de nabijheid van een boom bij de volgende toetsronde.

3.5.6 Onderzoeksvraag 13: Verloop voorspanning JLD-Dijkstabilisator

Onderzoeksvraag 13 bestaat uit 2 deelvragen

- Deelvraag 1: Wat is het verloop van de voorspanning in de tijd bij een samendrukbare dijk?
- Deelvraag 2: Hoe moet de voorspanning van de JLD-Dijkstabilisator worden beheerd?

Voor het verloop van de voorspanning in de tijd zijn predicties opgesteld, deze zijn opgenomen in de onderzoeksrapportage. De predictie is aangepast op basis van de verhoogde wrijving langs het LDE die tijdens realisatie is waargenomen. Deze predictie is ook opgenomen in de onderzoeksrapportage. De monitoringsresultaten sluiten aan bij de predictie en daarom is er geen aanleiding tot het wijzigen van de conclusie van deelvraag 1. Hetzelfde geldt voor deelvraag 2, deze vraag gaat in op de beheerinspanning van de JLD-Dijkstabilisator. Uit de predictie volgt dat het systeem 2 keer nagespannen moet worden gedurende de levensduur van 100 jaar indien uitgegaan wordt van de verhoogde wrijving langs het LDE. De predictie met een lagere wrijving langs het LDE toont een beheerinspanning van 3 keer nagespannen gedurende 100 jaar. De monitoringsresultaten met betrekking tot de gemiddelde voorspanning over een glijvlak van 30 meter vertoont dat dit goed aansluit bij de predicties. Dit is in meer detail beschreven in de postdictie [4]. De onderzoeksrapportage behoeft om deze reden geen wijziging.

3.6 Postdictie

Om het verloop van de voorspanning inzichtelijk te maken is in de ontwerpfase een predictie opgesteld. Een goede voorspelling is belangrijk om de benodigde beheerinspanning vooraf in te kunnen schatten. Een goede voorspelling maakt ook inzichtelijk dat het gedrag van het systeem wordt beheerd.

Het doel van de postdictie is een reflectie te geven op de volgende hoofdonderwerpen en bijbehorende onderzoeksvragen:

1. Inzichtelijk maken van gedrag van individuele stabilisatoren:
 - a. zijn er trends te onderscheiden in het gedrag van de JLD-Dijkstabilisatoren?
 - b. wat is de verandering in voorspanning in tijd?
 - c. is er een verband tussen de deformatie van de kopplaat en de verandering in voorspanning?
 - d. is er een verband tussen de lengte van de stabilisatoren, de bodemopbouw en de verandering in voorspanning?
 - e. beïnvloeden naspanwerkzaamheden de voorspanning op naastliggende stabilisatoren?
 - f. hebben bomen effect op het verloop van de voorspanning?
2. Inzichtelijk maken van effecten freatische lijn, korte termijn:
 - a. is er een relatie tussen waterspanningen op freatisch niveau en de voorspanning?
3. Inzichtelijk maken van seizoenseffecten, lange termijn:
 - a. zijn er seizoenseffecten waarneembaar en komt dit bij alle stabilisatoren voor?
4. Inzichtelijk maken van verloop van de gemiddelde voorspanning over een glijvlak:
 - a. hoe ziet het verloop van de voorspanning eruit over een glijvlak?
5. Inzicht in onzekerheden en veiligheidsfilosofie en inzicht of ontwerpmethodiek klopt.

Aan de hand van de postdictie worden de laatste onderzoeksvragen definitief beantwoord. Deze onderzoeksvragen dienen om het ontwerp van de JLD-Dijkstabilisator aan te scherpen en tevens de ontwerpmethodie te onderbouwen.

3.6.1 Tijdsplan

De vooraf vastgestelde monitoringsperiode liep van medio 2019 tot en met medio 2024. Om te bepalen op welk moment in de monitoringsperiode van 5 jaar de postdictie de grootste meerwaarde heeft is medio 2020 een analyse opgesteld [32]. In de analyse zijn 2 belangrijke doelen tegen elkaar afgewogen:

- Doel 1: De postdictie moet de predictiemethode onderbouwen en waar mogelijk aanscherpen. Daartoe is er voldoende meetdata nodig inclusief meetdata van het nagespannen.
- Doel 2: Het presenteren van de resultaten van de postdictie geeft waterbouwend Nederland meer inzicht en daarmee extra vertrouwen in de werking van het systeem.

Vanuit het oogpunt van een techneut is het voor doel 1 interessant om een zo lang mogelijke meetreeks te hebben. Vanuit het oogpunt van acceptatie en implementatie van het systeem bij andere projecten is het voor doel 2 belangrijk om zo snel mogelijk waterbouwend Nederland meer informatie over de werking van het systeem te geven.

Tijdens de bijeenkomst van de technische commissie op 13 november 2020 zijn deze 2 belangen tegen elkaar afgewogen. Hieruit is geconcludeerd dat voor een goede en valide postdictie minimaal 3 jaar aan meetdata nodig is van 'niet nagespannen stabilisatoren'. Omdat het gedrag na het naspannen ook relevant is, is 1 jaar aan meetdata van wel-nagespannen stabilisatoren gewenst. Tijdens deze bijeenkomst was de veronderstelling dat het naspannen in het eerste kwartaal van 2021 zou plaatsvinden. Een goed moment voor het uitvoeren van de postdictie zou daardoor het eerste kwartaal van 2022 zijn.

In de loop van 2021 is er echter vertraging opgetreden bij het opstarten van de naspanwerkzaamheden. In eerste instantie bleek het rond krijgen van de benodigde financiën bewerkelijker, en daardoor tijdsintensiever dan verwacht. Daardoor is er circa een half jaar vertraging opgetreden. Toen de financiële dekking in de 2^e helft van 2021 gereed was, had het team te maken met de turbulente situatie in de wereld onder andere door toedoen van COVID-19. Door verstoring van productieprocessen was de levertijd voor de nieuwe nodes en druksensoren veel langer dan gepland. Uiteindelijk zijn de naspanwerkzaamheden pas in Q2 2022 aangevangen.

Deze vertraging had direct effect op het mogelijke moment van de postdictie. Het mogelijke moment voor de postdictie is daardoor met circa 1 jaar naar achter geschoven, de postdictie is in het eerste kwartaal van 2023 gestart.

3.6.2 Werkwijze en resultaat

De postdictie is opgezet in Q1 tot en met Q3 van 2023. De postdictie gaat in op de verschillende onderzoeksvragen die in paragraaf 2.3.2 zijn beschreven [4]. Het gehele systeem is beschreven wat aangelegd is binnen de pilot Watergraafsmeer. Tevens zijn alle uitgangspunten opgenomen met betrekking tot de geotechnische en hydraulische randvoorwaarden. De monitoringsopzet is beschreven met een korte samenvatting van de monitoringsaspecten. Vervolgens is de methodiek beschreven waarna de inhoudelijke analyses aan bod komen. Binnen de postdictie is kwalitatief onderzoek gedaan naar individuele stabilisatoren. Daarbij is gekeken naar:

- Het algehele gedrag van individuele stabilisatoren.
- De lange termijn afname in voorspanning.
- De afname in voorspanning na 2 maanden.
- De relatie tussen de gemeten kopplaat zakking en de voorspanning.
- De relatie tussen lokale bodemopbouw, lengte van de trekstang en verandering van de voorspanning.
- Het effect van het naspannen op het verloop van de voorspanning op naastgelegen stabilisatoren die niet nagespannen worden.
- Het effect van bomen op het verloop van de voorspanning.
- Het effect van korte termijn verandering in freatische lijn op het verloop van de voorspanning.
- Het effect van langere termijn seizoenseffecten op het verloop van de voorspanning.

Daarnaast is de langdurige trend van de gemiddelde voorspanning over de lengte van een glijvlak geanalyseerd.

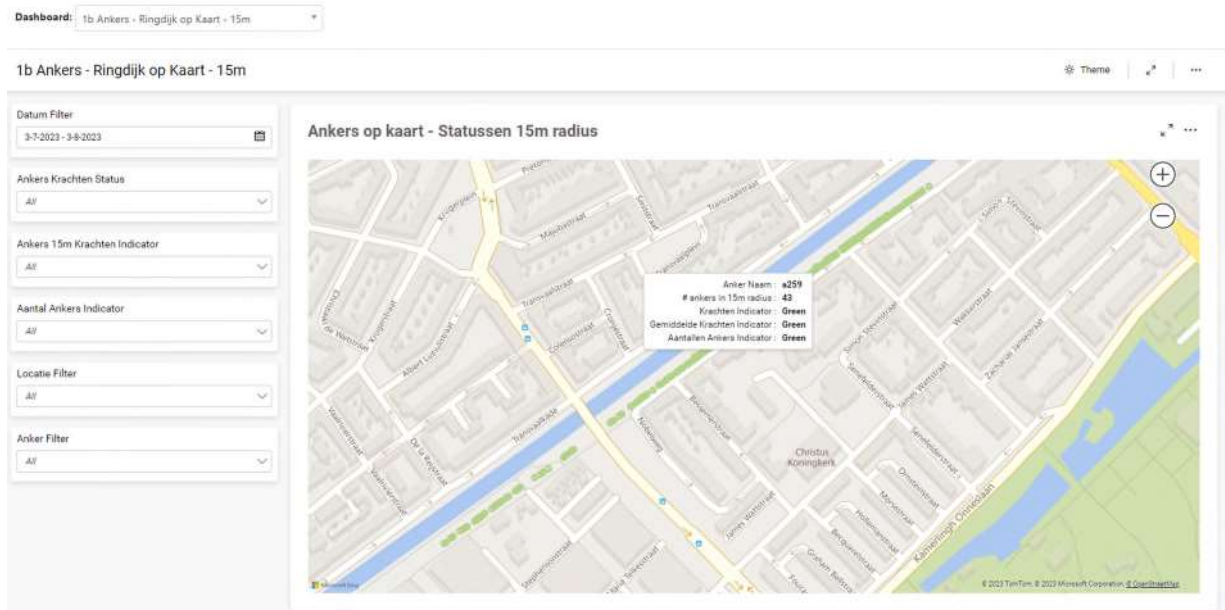
Vervolgens is een synthese opgesteld van alle bevindingen. De synthese gaat in op de 5 hoofdonderwerpen.

1. Inzichtelijk maken van gedrag van individuele stabilisatoren.
2. Inzichtelijk maken van effecten freatische lijn, korte termijn.
3. Inzichtelijk maken van seizoenseffecten, lange termijn.
4. Inzichtelijk maken van verloop van de gemiddelde voorspanning over een glijvlak.
5. Inzicht in onzekerheden en veiligheidsfilosofie en inzicht of ontwerpmethodiek klopt.

Punt 5 gaat in op de algehele werking van het systeem met betrekking tot de veiligheidsfilosofie, de ontwerpmethodiek en het beheer en onderhoud van het systeem. De inzichten hieruit zijn opgenomen in hoofdstuk 4.

3.7 Monitoringsplatform

Er is een monitoringsplatform opgezet om de voorspanning te kunnen blijven monitoren. Vanuit dit platform is de voorspanningsdata te raadplegen per anker. Tevens is de gemiddelde voorspanning weergegeven over een glijvlakbreedte van 30 m. De data is te raadplegen in tabellen en tevens visueel te raadplegen in een GIS kaart. In Figuur 3-6 is een voorbeeld opgenomen van de gemiddelde voorspanning per anker over een glijvlak van 30 m. Het platform is te raadplegen via <https://avg-ringdijk.facilityapps.com>. De inloggegevens worden beheerd door de assetmanager waterveiligheid na overdracht van het systeem aan het waterschap.



Figuur 3-6: Voorbeeld van het monitoringsplatform waarop gemonitorde voorspanningsdata geraadpleegd kan worden.

3.8 Inzet Waternet

Hieronder is een beknopt overzicht gegeven van de benodigde beheeractiviteiten. Een gedetailleerd overzicht is opgenomen in het 'Beheer- en onderhoudsplan JLD-Dijkstabilisator Watergraafsmeer, 2023'

Jaar 5 tot en met 100 jaar na aanleg:

- Monitoring kade:
 - monitoring kade (jaarlijkse schouw);
 - deformatie kade (1 maal per toetsperiode= 1/12 jaar);
 - deformatie rondom kopplaten (visueel jaarlijks tijdens schouw);
 - verzorgen rapportage monitoring (1 maal per jaar eenvoudige rapportage);
 - verzorgen rapportage beoordeling: 1 maal per toetsronde.
 - Onderhoud kade:
 - herstelwerkzaamheden deformaties rondom kopplaten (incidenteel);
 - maaiwerkzaamheden (Gemeente Amsterdam).
 - Onderhoud JLD-Dijkstabilisatoren:
 - naspannen Dijkstabilisatoren (2 - 3 maal);
 - vervangen batterijen: verwachting is elke 10 jaar.
- Calamiteit:
- herstel/vervangen JLD-Dijkstabilisator (ad hoc).
- Toetsing (9 maal).

3.9 Vergunningverlening (doorlopend)Overdraagbaarheid

Doordat de monitoringsdata van de voorspanning een connectie heeft met het platform van Facility Apps blijft het mogelijk voor het waterschap om het systeem, de JLD-Dijkstabilisator in de Ringdijk, te beheren en monitoren. Op basis van de data die in het platform is opgenomen kan besloten worden of een naspannen benodigd is. In het beheer- en onderhoudsplan van de JLD-Dijkstabilisator Watergraafsmeer [3] zijn de praktische handvatten voor het beheer- en onderhoud gegeven, waaronder de signaalwaarden voor de voorspanning. De diverse signaalwaarden zijn in het beheer- en onderhoudsplan voorzien van een kleurcodering (groen, oranje, rood) en corresponderen met de kleurweergave in het monitoringsplatform van Facility Apps.

4. Nieuwe inzichten uit pilot

Op basis van de monitoringsperiode en realisatiefase is een reflectie gegeven op de ontwerpmethodiek en de veiligheidsfilosofie. De vraag is of er aanpassingen benodigd zijn aan het systeem of werkt het zoals oorspronkelijk beschreven in de POVM Publicatie Vernagelingstechnieken? (PPV) [33]. In de PPV zijn tevens witte vlekken opgenomen, dit betreft een overzicht van kennisleemtes bij bepaalde vragen en onderwerpen voor vernagelingstechnieken. Deze witte vlekken zijn tevens aangescherpt op basis van de inzichten die verkregen zijn tijdens realisatie en de nastel- en monitoringsperiode.

4.1 Veiligheidsfilosofie

In de PPV is in hoofdstuk 3 de veiligheidsbeschouwing beschreven van de JLD-Dijkstabilisator. De ervaringen en monitoringsdata tijdens realisatie- en de monitoringsfase geven geen aanleiding tot aanpassing hiervan. De veiligheidsbeschouwing in de PPV beschrijft welke faalkans toelaatbaar is voor een vernagelingstechniek, hoe deze faalkans verdeeld wordt over de voor een vernagelingstechniek relevante (deel)faalmechanismen en welke partiële factoren toegepast dienen te worden bij de controle van de relevante faalmechanismen.

De JLD-Dijkstabilisator in de Ringdijk is ontworpen conform de PPV (met de faalkansverdeling van een regionale kering). Gedurende de monitoringsperiode zijn de dijkstabilisatoren nagespannen en geïnspecteerd. Hierbij zijn geen door overbelasting constructief bezwaken dijkstabilisatoren aangetroffen. De axiale ontwerpbelasting op de trekstang bedraagt circa 75kN [13]. Er zijn diverse dijkstabilisatoren waar de gemeten voorspanning groter is dan 75 kN. Deze zijn niet bezwaken. De veiligheidsbeschouwing lijkt dan ook voldoende veilig en er is geen aanleiding om deze te herzien.

De wettelijke kaders, maximaal toelaatbare faalkans, faaloorzaken en de toe te passen ontwerpmodellen, controles, partiele factoren en belastingsituaties blijven daarmee ongewijzigd. Voor een volledige beschrijving hiervan wordt verwezen naar de PPV [33].

4.2 Ontwerpmethodiek

In hoofdstuk 4 van de PPV zijn algemene aanwijzingen voor het ontwerpkader beschreven. Vervolgens gaat hoofdstuk 6 van de PPV specifiek in op de ontwerpaspecten van de JLD-Dijkstabilisator.

Uit de monitoringsdata en ervaringen binnen pilot Watergraafsmeer is er geen aanleiding om de ontwerpmethodiek met betrekking tot de te hanteren modellen te wijzigen. Hiervoor worden glijvlakmodellen gebruikt in een vroeg stadium van het ontwerptraject tot uiteindelijk 2D- en 3D-eindige-elementenberekeningen in het definitief ontwerp.

Gedurende monitoringsperiode is niet gebleken dat er significante deformaties zijn opgetreden van het dijklichaam of de kopplaten. Er zijn dan ook geen aanwijzingen dat de dijk of de grond onder de kopplaten geotechnisch bezwijkt ook niet tijdens het opspannen bij de realisatie-werkzaamheden en naspannen bij herstelwerkzaamheden. De ontwerpmethodiek voor het bepalen van de benodigde stabiliteit en van de draagkracht van de ondergrond onder de kopplaat blijft daarmee ongewijzigd. Er zijn tijdens het naspannen ook geen constructief bezwaken dijkstabilisatoren aangetroffen. Er is derhalve ook geen aanleiding om de constructieve toets te herzien. Zie ook paragraaf 4.1. Ook andere schematiseringsaspecten zoals levensduur, laterale en axiale grondwrijving langs de stabilisator en groepseffecten blijven qua ontwerpmethodiek ongewijzigd.

Tijdens de uitvoeringsfase is gebleken dat er meer wrijving langs het LDE element optreedt dan aanvankelijk werd verwacht. Gebaseerd op ervaringen uit de uitvoeringsfase wordt geadviseerd om in vervolgpiloten bij toepassing van de JLD-Dijkstabilisator een proef uit te voeren om inzicht te krijgen in de wrijving langs het LDE element. Geadviseerd wordt om dit tijdens DO fase uit te voeren, zodat de uitvoeringsfase geoptimaliseerd kan worden. In deze proef dient een LDE element in de ondergrond gedrukt te worden op een locatie waar de JLD-Dijkstabilisator voorgenomen is om te installeren. Indien blijkt dat een hoge wrijving aanwezig is, kan dit verwerkt worden in het ontwerp en predictie. Een hogere wrijving heeft namelijk ook een positief effect op het

verloop van de voorspanning. Op basis hiervan kan mogelijk de uitvoeringswijze en beheerinspanning aangescherpt worden. Indien dit niet uitgevoerd wordt, dient tijdens uitvoering te blijken of een verhoogde weerstand aanwezig is langs het LDE. Dit kan mogelijk leiden tot extra uitvoeringstijd om dit aspect te beproeven. Naar aanleiding van de uitkomsten dient de uitvoeringswijze mogelijk aangepast te worden. De werkwijze zoals beschreven in de PPV over de omgang met wrijving langs het LDE hoeft niet gewijzigd te worden.

Wat betreft levensduur dient rekening gehouden te worden met een eventuele ophoging in de toekomst. Aan de hand van de deformaties van het dijklichaam zou het kunnen dat de dijk op het systeem gaat 'hangen' en minder zetting plaatsvindt. In het ontwerp is een oorspronkelijk achtergrondzetting van 7 mm/jaar aangehouden, dit betreft een waarde zonder invloed van de stabilisatoren. Uit de monitoringsdata blijkt dat er geen significante zettingen van de kruin plaatsvinden. Het lijkt erop dat minder kruindaling waargenomen wordt. De bandbreedte zit ongeveer binnen de meetonauwkeurigheid van 2 cm. Om deze reden kan nog niet gesteld worden dat het dijklichaam ook daadwerkelijk op het systeem hangt, gezien de monitoringsperiode ca. 3,5 jaar betreft wat uitkomt op een zetting van ca. 24 mm. Door in de toekomst een reguliere periodieke kademeting uit te voeren kan dit nader gecontroleerd worden.

De ontwerpmethodiek met betrekking tot effecten op overige aspecten en faalmechanismen hoeft niet aangepast te worden zoals beschreven in hoofdstuk 4 van de PPV.

- Effecten van vervorming op bekleding en overslag zijn niet waargenomen, aangezien de gemeten deformaties nihil zijn binnen pilot Watergraafsmeer.
- De erosiebestendigheid van de binnenbekleding vormt geen risico voor de Ringdijk, aangezien het overslagdebit lager is dan 0,1 l/s/m. Een andere, belangrijke reden is dat de graszode slechts korte tijd verwijderd is en na installatie van de kopplaat weer snel wordt teruggelegd. In de monitoringsperiode is tevens geen verzakking van de grondlaag waargenomen rondom de kopplaten.
- De JLD-Dijkstabilisator doorsnijdt het pakket met slecht doorlatende lagen en staat in contact met watervoerende lagen. Hierdoor is in theorie kans op piping of kwel. Echter deze risico's zijn laag ingeschat voor de JLD-Dijkstabilisator. Gedurende de pilot zijn proeven uitgevoerd in Purmerend, waarbij de stijghoogte ca. 0,5 m hoger lag dan het maaiveld. Gedurende 5 maanden daarna is geen opbarsten, kwel of een zandmeevoerende wel waargenomen. Tevens is het plaatsen van het LDE element grond verdringend, daarmee worden holle ruimtes afgesloten. Een risico wat over blijft is een pipe door het gat in het LDE element voor de trekstang richting de kopplaat. Mocht dit optreden dan dient de holle ruimte in het LDE element opgevuld te worden met bijvoorbeeld zwelklei of grout. Op basis van de monitoringsdata in Watergraafsmeer is het risico op piping uitgesloten voor de Ringdijk. Tijdens herstelwerkzaamheden is wel water in de pot waargenomen, als gevolg van de grondwaterstand en of condensatie in de pot. [34] De ontwerpmethodiek blijft hetzelfde zoals beschreven in de PPV.
- Er is geen aanleiding om de overgangsconstructie van de versterkte dijk naar de onversterkte dijk aan te passen. De methodiek blijft daarmee ongewijzigd.
- Microstabiliteit, bijzondere constructies zoals kunstwerken, stabiliteit voorland en steen- en asfaltbekleding spelen geen rol bij de Ringdijk. De PPV behoeft daarmee geen aanscherping op basis van de pilot in Watergraafsmeer.

Intermezzo – JLD-Dijkstabilisator en dwarskrachten

De pilot Watergraafsmeer heeft plaatsgevonden in een ondergrond met stijve grondlagen. In een ondergrond met slappe lagen kunnen dwarskrachten optreden die gaan domineren. Momenteel is de conceptuele werking van vernagelingsconstructies vooral op trek langs het nagel gebaseerd. De dwarskracht die op het nagel ontstaat tijdens een afschuiving wordt de deugelwerking genoemd. Het aandeel van deugelwerking, wat in potentie een grote bijdrage in het opvangen van een stabiliteitstekort kan geven wordt in de techniek niet volledig meegenomen. De reden hiervoor is dat dit effect nog niet goed is gevalideerd in de rekenmodellen. Het gevolg hiervan is dat de toegevoegde sterkte van de vernagelingsconstructie wordt gereduceerd, waardoor er of meer stabilisatoren moeten worden aangebracht of dat de techniek afvalt omdat het de stabiliteitsopgave niet aankan.

In het ontwerp speelt daarom het numeriek modelleren van de krachtswerking in de stabilisatoren een belangrijke rol. In eindige elementen methoden zijn specifieke elementen beschikbaar, embedded beams genaamd, waarmee de nagels worden gemodelleerd. Deze elementen zijn met name ontwikkeld om normaal krachten in constructieve lijn elementen, zoals grondankers te berekenen. In de toepassing met betrekking tot vernagelingstechnieken kan, afhankelijk van de geometrie en bodemopbouw, dwarskracht een grote rol spelen, zoals gebleken bij een casestudy bij de Markermeerdijken. De embedded beams zijn niet ontwikkeld voor het berekenen van de dwarskrachten en de indruk bestaat dat de dwarskracht ontwikkeling mogelijk niet correct wordt voorspeld. Het verbeteren van de numerieke modellering van de dwarskrachtontwikkeling in de nagels wordt gehinderd door het ontbreken van data aan de hand waarvan de numerieke analyse kan worden gevalideerd. Een goede numerieke modellering van de krachtswerking in de nagels is essentieel voor een betrouwbaar ontwerp in slappe lagen. Bij het ontwerp van vernagelingstechnieken in slappe grondlagen dient vooralsnog enige voorzichtig betocht te worden met het ontwerpen bij forse deugelwerking.

Uit de monitoringsdata en de opgedane ervaringen gedurende de gehele pilot blijkt dat de ontwerpmethodiek niet aangepast hoeft te worden zoals beschreven in de PPV [33]. Er zijn enkele aandachtspunten welke hierboven zijn beschreven.

4.3 Beheer en onderhoud

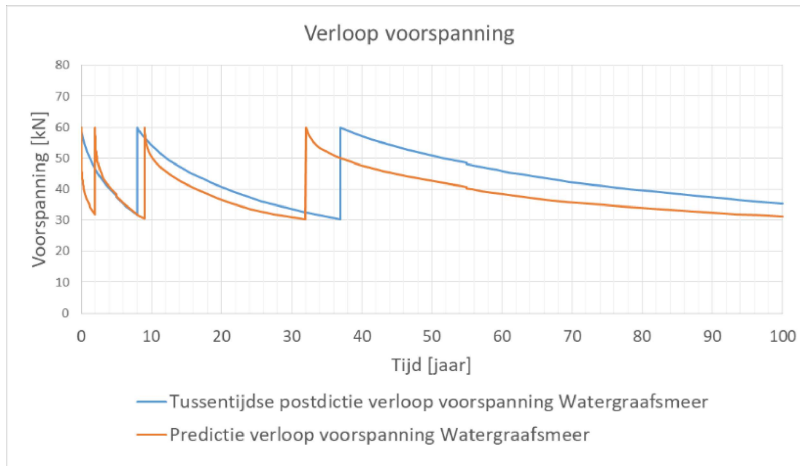
Voorspanning

Uit de monitoringsdata is niet gebleken dat de beheerinspanning significant afwijkt ten opzichte van de predictie die vooraf is opgesteld. Gedurende de ontwerp levensduur van 100 jaar is 2 à 3 keer een naspanmoment benodigd. Uit de monitoringsresultaten blijkt dat ten hoogste 20 kN afname in voorspanning is waargenomen uitgaande van een gemiddelde voorspanning over een glijvlakbreedte van 30 meter.

Zoals eerder beschreven in paragraaf 4.2 is een lagere beheerinspanning in theorie mogelijk indien de kopplaat op het LDE rust. Uit de betrouwbare data welke gecategoriseerd is blijkt dat ca. 24% op het LDE rust. In de komende jaren moet blijken of dit waargenomen gedrag hetzelfde blijft. Vooralsnog volstaat de ontwerpmethodiek en daarmee de predictie die uitgevoerd wordt om de beheerinspanning te bepalen al dan niet aangevuld met een eventuele proef naar de wrijving langs het LDE zoals omschreven in paragraaf 4.2.

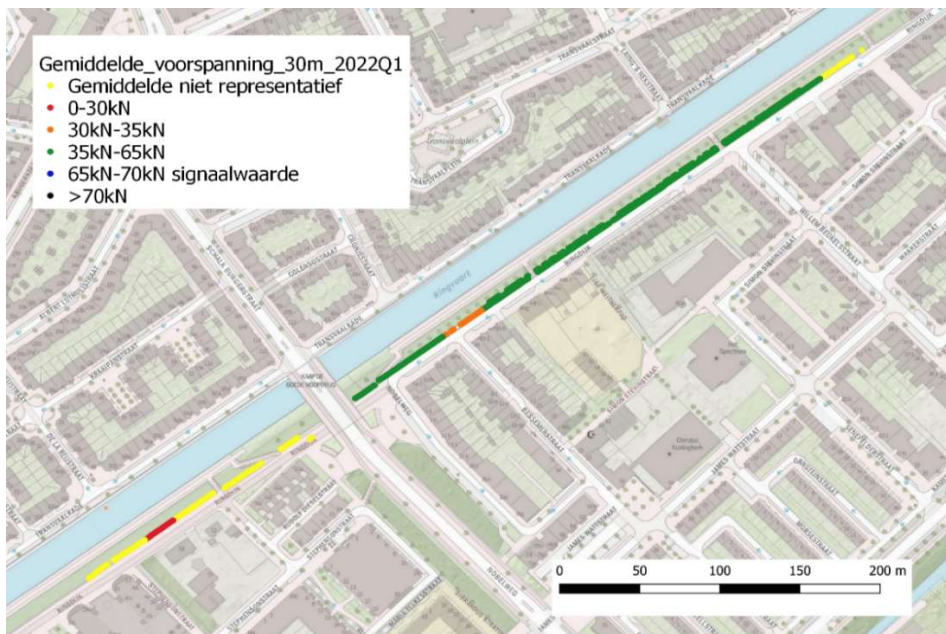
Invloed beplanting op voorspanning

Het lijkt zo te zijn dat meer stabilisatoren een afname vertonen in begroeide delen. Uit de predictie blijkt dat een beheerinspanning van 2 tot 3 keer naspannen benodigd is gedurende de levensduur van 100 jaar. 2 keer naspannen behoort tot de predictie met een hoge wrijving langs het LDE (blauwe lijn Figuur 4-1) en 3 keer naspannen behoort tot de predictie met een lage wrijving langs het LDE (oranje lijn Figuur 4-1).



Figuur 4-1: Predicties verloop voorspanning.

In beide predicties is niet het effect van bomen opgenomen. In Q1 van 2022 bleek dat er enkel 2 locaties aanwezig waren die nagespannen moesten worden op basis van de gemiddelde voorspanning, zie Figuur 4-2. Op beide locaties is begroeiing aanwezig, echter, mocht de afname door begroeiing veroorzaakt zijn, dan zou dit op meer locaties verwacht zijn aangezien er veel begroeiing op de Ringdijk aanwezig is. Binnen de pilot heeft de begroeiing niet tot een extra onderhoudsinspanning geleid. Weliswaar laten op begroeide delen meer stabilisatoren een afname zien, maar deze afname is niet zodanig dat er vaker nagespannen dient te worden. De verwachting is dat de ontwerpmethodiek en beheer en onderhoud niet aangepast hoeft te worden indien begroeiing op de waterkering aanwezig is.



Figuur 4-2: Gemiddelde voorspanning over een glijvlak van 30 m, gedurende Q1 2022, voor de herstelwerkzaamheden.

Tevens blijft de interactie tussen bomen en de JLD-Dijkstabilisator een aandachtspunt tijdens uitvoering en beheer en onderhoudsfase. Bomen vormen obstakels op de kering waar rekening mee gehouden dient te worden bij plaatsen van stabilisatoren. In de PPV is geadviseerd om bij elke toetsronde (eenmaal per 12 jaar) een aantal kopplaten die het dichtst bij de bomen staan deels vrij te graven en te controleren. Dit advies blijft gelden.

Redundantie metingen

Tijdens de monitoringsfase is een fors deel van de nodes uitgevallen door een storing op het IoT-netwerk. Zonder fysieke ingrepen lukte het daarna om circa 40% van de nodes weer online te krijgen. Het probleempunt bleek een eerste versie van de software op de nodes, waardoor deze na een storing slecht of niet meer

zelfstandig online konden komen. Om de resterende nodes online te krijgen zijn de herstelwerkzaamheden uitgevoerd. Hierbij zijn de nodes opgegraven en van een software update voorzien en vervolgens weer terug geplaatst. Tevens zijn tijdens de herstelwerkzaamheden alle ankers nagespannen. De nieuwe versie van de software heeft een vangnet, waardoor gegevens naar het platform verzonden blijven worden. Om het systeem robuuster te maken en minder afhankelijk van het IoT netwerk te zijn, is het ook mogelijk een kabel langs de waterkering aan te leggen en de nodes hierop aan te sluiten. Ook dit systeem heeft nadelen, een kabel is gevoelig voor defecten door dieren (doorknagen) of werkzaamheden rondom de dijk door derden (breuk).

Ook in de periode waarin een fors aantal nodes was uitgevallen bleek het mogelijk om de gemiddelde voorspanning over een afschuifvlak goed te volgen. De uitval heeft dus niet geleid tot onzekerheid over de veiligheid van de waterkering. Het lijkt dan ook mogelijk om in de toekomst te reduceren op het aantal sensoren en nodes. Kernvraag hierbij is hoeveel stabilisatoren per afschuifvlak gemonitord dienen te worden om, rekening houdend met enige uitval, de gemiddelde voorspanning over het afschuifvlak te kunnen volgen. Geadviseerd wordt om de komende 2 projecten in het monitoringsplan expliciet aandacht te besteden hoe tot een robuuste, maar doelmatige monitoring van de voorspanning per afschuifvlak wordt gekomen. Na deze projecten (incl. Watergraafsmeer) kan dan een analyse en een advies gemaakt worden van het aantal benodigde sensoren.

Percentages uitval

Uit de monitoringsdata is af te leiden dat in totaal 32 ankers defect zijn (5%), 4 ankers niet meer terug gevonden zijn (1%) en 52 ankers slecht te onderhouden zijn (8%) (te vast, sensor stuk, schroefdraad te kort of stuk en of pot te diep). De percentages zijn gebaseerd op 647 stabilisatoren die tijdens realisatie zijn aangebracht. In totaal ondervinden 88 ankers problemen van de 647 geïnstalleerde ankers, dit is in totaal ca. 14%. Van deze 14% is 5% defect en de overige 9% betreffen stabilisatoren die zich als een passief systeem gedragen, omdat deze niet meer te onderhouden zijn. Deze leveren echter nog wel een bijdrage aan de stabiliteit van de waterkering en daarmee de veiligheid. Het uitval percentage van 14% (conservatief want 9% van de 14% werkt passief) past ook binnen de extra veiligheid van 30% die hiervoor in de PPV is opgenomen.

Om uiteindelijk goed inzicht te krijgen in hoeveel stabilisatoren daadwerkelijk moeten worden gemonitord, is het bij (ten minste) de eerst komende 2 projecten met de JLD Dijkstabilisator nog nodig dat alle stabilisatoren met een node worden uitgerust en worden gemonitord. Uit analyse van die projecten en Watergraafsmeer kan dan goed worden onderbouwd wat het uitval percentage is en wat het minimaal benodigd percentage stabilisatoren is dat gemonitord moet worden. Voor de monitoring kan de meetfrequentie van 1 meting per dag en een zendfrequentie van 1 keer per dag aangehouden worden, zoals in het beheerplan [3] is opgenomen.

Onderhoudbaarheid

Gedurende de ontwerp en realisatie fase en de algehele ontwikkeling van de JLD-Dijkstabilisator is materieel ontwikkeld waarmee elke individuele JLD-Dijkstabilisator opgezocht kan worden. Waarna de grond uitgestoken kan worden, om de pot te openen ten behoeve van onderhoudswerkzaamheden zoals het naspannen van de stabilisator of een visuele inspectie. Het naspannen vergt weinig overlast en ruimte nabij de dijk, in Figuur 4-3 zijn 2 foto's weergegeven van naspanwerkzaamheden op de Ringdijk tijdens de herstelwerkzaamheden in 2022.



Figuur 4-3 Opstelling naspannen.

4.4 Witte vlekken PPV

In de PPV is in bijlage A een lijst met witte vlekken opgenomen. Het betreft een lijst met punten waar nog kennisleemtes aanwezig zijn ten aanzien van de JLD-Dijkstabilisator. Deze lijst is naar aanleiding van de monitoringsdata, ervaringen binnen de pilot en de postdictie aangescherpt. In Bijlage 3 is dezelfde lijst opgenomen met een aanvullende kolom: 'Aanscherping vanuit pilot Watergraafsmeer'.

De lijst bestaat uit 17 generieke witte vlekken voor vernagelingstechnieken in het algemeen en 6 specifieke witte vlekken voor specifiek de JLD-Dijkstabilisator.

4.5 Conclusie

Er zijn veel waardevolle ervaringen en inzichten verkregen gedurende de realisatiefase en de monitoring van de beheerfase die uitgevoerd is na realisatie. Het aanbrengen en beheren van JLD-dijkstabilisatoren is goed mogelijk. De veiligheidsfilosofie en ontwerpmethodiek hoeven in de basis niet aangepast te worden, daarmee blijft de PPV ongewijzigd. Er zijn aanbevelingen opgenomen in de postdictie [4]. Op andere locaties kan het systeem anders reageren door bijvoorbeeld een andere grondopbouw zoals een ander type veen in de ondergrond. Het veen ter plaatse van Watergraafsmeer beschikt over andere eigenschappen dan een veengebied ter plaatse van een (nat) natuurgebied. Geadviseerd wordt om de ervaringen uit toekomstige projecten naast die van het project uit de Watergraafsmeer te leggen en de ervaringen te vergelijken.

Volgende projecten zullen aanvullende (locatie specifieke) inzichten opleveren welke het begrip en de ervaringen met de JLD-Dijkstabilisator zullen vergroten. De pilot Watergraafsmeer laat echter zien dat een versterking met de JLD-Dijkstabilisator met de huidige inzichten en ontwerp/beheerinstrumentaria ontwerpbaar, uitvoerbaar en beheerbaar is. Bij het ontwerp van vernagelingstechnieken in slappe grondlagen dient voornamelijk wel enige voorzichtigheid betracht te worden met het ontwerpen bij forse deувелwerking. Mogelijk dat de huidige eindige elementen modellen de krachtsontwikkeling in embedded beams bij forse dwarskrachten niet geheel correct voorspellen.

5. Betrokkenen pilot JLD Dijkstabilisator

Stuurgroep pilot JLD Dijkstabilisator

Sofi Gale	Waterschap Amstel, Gooi en Vecht/Waternet
Diederik Bijvoet	Hoogwaterbeschermingsprogramma
Martin Schepers	Aveco de Bondt
Jos Karsten	JLD International

Technische en Beheerderscommissie

Martin Nieuwjaar	Martin Nieuwjaar Advies
Lennaert Denekamp	Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier
Jaap Stoop	Hoogheemraadschap Schieland en de Krimpenerwaard
Jelle ten Bokkel Huinink	Hoogheemraadschap Schieland en de Krimpenerwaard
Diederik Bijvoet	Hoogwaterbeschermingsprogramma
Matthijs Bos	Waterschap Rivierenland
Meindert Van	Deltares
Huub de Bruijn	Deltares
Bas Molenkamp	Waterschap Amstel, Gooi en Vecht/Waternet

Projectteam

Wim van Steeg	Wim van Steeg Projectconsultancy
Rene Dekker	Gemeente Amsterdam
Claus Kruyt	Antea Group
Jelle ten Bokkel Huinink	Antea Group*
Pieter Jeroen Bart	Antea Group
Bas van Luit	Antea Group
Roy de Haan	JLD International
Patrick van de Weerd	JLD International
Isolde Apel	Waterschap Amstel, Gooi en Vecht/Waternet

* inmiddels werkzaam bij Hoogheemraadschap Schieland en de Krimpenerwaard

6. Bibliografie

- [1] ENW, *Vernagelingstechnieken in Waterkeringen - Geaccepteerd*, 2019, juli, 26.
- [2] Antea Group, „Pilot JLD-Dijkstabilisator Watergraafsmeer - monitoring en nastel plan beheerfase pilot Watergraafsmeer en Purmerend,” Capelle a/d IJssel, 24-09-2019.
- [3] Antea Group, „Beheer- en onderhoudsplan JLD-Dijkstabilisator Pilot Watergraafsmeer,” 21-11-2023.
- [4] Antea Group, „JLD-Dijkstabilisator Watergraafsmeer Postdictie,” 21-11-2023.
- [5] Antea Group, „Onderzoeksvraag 1, ontwerpbaarheid van de JLD-Dijkstabilisator, revisie 2,” 31-08-2023.
- [6] Antea Group, Onderzoeksvraag 5, draagkracht van de grond onder de kopplaat, 2019 april.
- [7] Antea group, „Onderzoeksvraag 7 en 11, risico op piping en kwel, revisie 4,” 14-09-2023.
- [8] Antea group, „Onderzoeksvraag 8, invloed van vervormingen, revisie 2,” 2019.
- [9] Antea Group, „Onderzoeksvraag 9, beplanting, revisie 3,” 16-02-2023.
- [10] Antea Group, „Onderzoeksvraag 13, verloop van de voorspanning, revisie 2,” 2019.
- [11] Antea Group, „Pilot JLD-Dijkstabilisator Watergraafsmeer, Definitief ontwerp,” 2019.
- [12] Antea Group, „Uitvoeringsplan Versterking Ringdijk - Pilot JLD-Dijkstabilisator Ringdijk Watergraafsmeer,” 29-6-2018.
- [13] Antea Group, As-Built ontwerp - Pilot JLD-Dijkstabilisator, 2019.
- [14] Antea Group, „Onderzoeksvraag 2: Referentieperiode, revisie 2,” 2019.
- [15] Antea Group, „Onderzoeksvraag 3, veiligheidsbenadering talud boven kopplaat, revisie 2”.
- [16] Antea Group, „Onderzoeksvraag 4, interactiekracht veen,” 2018.
- [17] Antea Group, „Onderzoeksvraag 6, groepseffecten, revisie 2,” 2019.
- [18] Antea Group, *Onderzoeksvraag 10, Inpasbaarheid JLD-Dijkstabilisator in waterkering, revisie 1*, 2019.
- [19] Antea group, „Onderzoeksvraag 12, beoordelingsmethode, revisie 1,” 2018.
- [20] Antea Group, „Onderzoeksvraag 14 en 18, inbrengwijze stedelijk gebied, revisie 2,” 2018.
- [21] Antea Group, „Onderzoeksvraag 15, trillingen, revisie 3,” 2019.
- [22] Antea Group, „Onderzoeksvraag 16, grondverdringing, revisie 2,” 2019.
- [23] Antea group, „Onderzoeksvraag 17, LCC, revisie 4,” 14-09-2023.
- [24] Antea Group, „Pilot JLD-Dijkstabilisator Watergraafsmeer, onderzoeksvraag 15: evaluatie trillingen,” maart 2019.
- [25] Antea Group, „Feitenrapportage 2020 Q1 JLD-Dijkstabilisator Watergraafsmeer en Purmerend,” 2020.
- [26] Antea Group, „Feitenrapportage 2021 Q2 JLD-Dijkstabilisator Watergraafsmeer en Purmerend,” 2021.
- [27] Antea Group, „Monitoringsrapportage deformatie LDE Watergraafsmeer - JLD-Dijkstabilisator,” 2022.
- [28] Antea Group, „Monitoringsrapportage 2021 - Watergraafsmeer - JLD-Dijkstabilisator,” 19-05-2022.
- [29] Antea Group, „Monitoringsrapportage 2020 - Watergraafsmeer - JLD-Dijkstabilisator,” 05-05-2021.
- [30] JLD Contracting , NOT_20200618_CN01_Beslisnotitie_IssueZendkastjes JLD_20.017487, 2020.
- [31] Antea Group, „Monitoringsrapportage 2019 - Watergraafsmeer - JLD-Dijkstabilisator,” 11-09-2020.
- [32] Antea Group & JLD Contracting, 20201023-413509-memo-voorstel moment postdictie, 2020.
- [33] POV Macrostabiliteit, „POVM Vernagelingstechnieken,” sept 2019.
- [34] Antea Group, „Pilot JLD-Dijkstabilisator Watergraafsmeer - Rapportage naspan- en herstelwerkzaamheden,” 1-12-22.
- [35] Antea Group, „Monitoringsrapportage 2022 - Watergraafsmeer - JLD-Dijkstabilisator,” 27-3-2023.
- [36] Antea Group, „Pilot JLD-Dijkstabilisator - Werkplan 2020 nastel- en monitoringsfase pilot Watergraafsmeer en Purmerend,” 4-11-2019.
- [37] Antea Group, „Pilot JLD-Dijkstabilisator - Werkplan 2021 nastel- en monitoringsfase pilot Watergraafsmeer,” 6-11-2020.

datum 17 november 2023
projectnummer 413509.104
betreft WGM eindrapportage



- [38] Antea Group, „Pilot JLD-Dijkstabilisator - Werkplan 2022 nastel- en monitoringsfase pilot Watergraafsmeer,“ 12-11-2021.
- [39] Antea Group, „Pilot JLD-Dijkstabilisator - Werkplan 2023 nastel- en monitoringsfase pilot Watergraafsmeer,“ 28-11-2022.

**Bijlage 1 Overzicht voorgenomen monitoring
Watergraafsmeer**

datum 17 november 2023
projectnummer 413509.104
betreft WGM eindrapportage



Bijlage 1 Overzicht voorgenomen monitoring Watergraafsmeer

Tabel: monitoring met meetfrequenties

Uit te voeren door	Nr.	Parameter	Omschrijving	Aantal in 2020	Meetfrequentie Werkplan 2020	Meetwijze / constatering	Eenheid	Aanvullingen en opmerkingen	Meetperiode	Terugblik
Monitoring										
JLD Contracting	A	Gebeurtenissen en afwijkingen	Visueel. Waarnemingen over scheurvorming kopplaat, natte plekken/ kwel, scheurvorming bodem, verzakkingen, schade aan objecten vastleggen	4	4	Visuele waarnemingen, logboek en digitale fotocamera, tijdregistratie, digitaal rapporteren in excel of word	-	ad hoc op afroep van Waternet	5 jaar	
Antea Group	B	veldinspectie	visueel	4	4	Visuele waarnemingen, logboek en digitale fotocamera, tijdregistratie, digitaal rapporteren in excel of word	-		5 jaar	
JLD-Contracting	1	Trekkkracht / Voorspanning	Voorspanning meten in het anker met behulp van sensoren (drukmeters) die tussen de kopplaat en de moer geklemt wordt van de JLD-dijkstabilisator.	667 (elke JLD-dijkstabilisator)	elke 6 uur	Meting door middel van load cell	[kN]		5 jaar	
Antea Group	2	Piping	Visuele inspectie op kwel indien de waterspanningsmeters een waterdruk meten die boven de waarde uitkomt van de marge in het DO.	1	Onvoorzien, rekening houdend met 1 keer. Op basis van overschrijding marge een inspectie uitvoeren	Langs de Ringdijk dient een visuele inspectie uitgevoerd te worden op kwel. Tevens moeten de locaties van de holle gasbuizen gecontroleerd worden op kwel. Zie onderdeel H5.	-		5 jaar	
Antea Group	3	Verplaatsing kopplaat / deformaties kopplaat	Bij metingen 5 dwarsprofielen met steekbus die pot op de kopplaat vrijzetken en het midden hiervan inmeten met tachymeter.	5 JLD dijkstabilisatoren	1	NAP RD, tachymeter met een max afwijking van 1mm	NAP RD [m]	Met bout markeren midden bovenkant pot	5 jaar	
Antea Group	4	Verplaatsing omliggende grond (horizontaal en verticaal) / deformatie dijk (maasveld)	Inmeten van de dwarsprofielen op de top en dwarsprofielen vanaf gevel woning via meetpunt muurtje binnendijks tot meetpunt palen keermuur buitendijks + de tussen liggende meetpunten. Bij de dwarsprofielen worden ook de SAAF metingen op de dijkstabilisatoren uitgevoerd. Ook 2 metingen uitvoeren op de onversterkte dijk (1 aan zijde Wiboutstraat en 1 aan zijde Middenweg).	5 + 2 dwarsprofielen (elke ca. 100m) 1 lengteprofiel	1	NAP RD, 06-GPS, Total Station voor de kruin en het talud om de 0,25 m een meetpunt pakken + kenmerkende punten. Op de weg (Ringdijk) alleen kenmerkende punten (kant weg, midden weg, etc)	NAP RD [m]	5 raaien + 2 raaien buiten + een lengteprofiel over gehele dijkvak (tot 10 meter buiten)	5 jaar	
JLD Contracting	5	Deformatie JLD Dijkstabilisator - SAAF LDE-los	Ter plaatse van de vijf dwarsprofielen is los een LDE element ingebracht zonder kopplaat. In het gat van het LDE kunnen regulier SAAF-elementen ingebracht worden om de vervorming te meten.	5 stuks	1	SAAF (Shape Accel Array Field), x, y, z coördinaten van gehele SAAF	NAP RD [m]	Eventueel metingen herhalen indien de kruin opgehoogd wordt (na 5 jaar). Dan wel frequenter meten	5 jaar	
Antea Group	6	Deformatie JLD Dijkstabilisator - Referentiepunt SAAF	Vooral bovenop de LDE's referentiepunt (vlak voor) voor de SAAF-meting. Meting dient gelijktijdig met elke SAAF-meting te worden uitgevoerd. Dit ook uitvoeren voor de losse LDE's die met de SAAF gemeten worden.	5 stuks	1	tachymeter, x, y, z, coördinaten	NAP RD [m]		5 jaar	
JLD-Contracting	7	Grondwaterstand / waterspanning meten	In de Ringdijk zijn 26 st peilbuizen aanwezig die dagelijks metingen verrichten. Deze dienen ook na de werkzaamheden doorgaand uitgelezen te worden. Om eventuele waterspanningsverhogingen door werkzaamheden te kunnen monitoren.	26 st peilbuizen	Doorlopend, dagelijkse meting	Gemautomatiseerde dagelijkse meting peilbus + resultaten op WePgis	[m t.o.v. NAP]		Doorgaande metingen	
JLD-Contracting	8	Neerslag meten	Neerslag meten om vervormingsgedrag te kunnen relateren aan hevige neerslag of een periode van veel neerslag of droogte in postdictie.	1 pluviometer 1 weerstation	Doorlopend, dagelijks bij piekbuizen en dagelijks in de periode van veel neerslag en	uitlezen pluviometer en weerstation	[mm]	nog inregelen	5 jaar	
Antea Group	10	VTA meting beplanting	na 1 jaar de Visual Tree Assessment herhalen om impact op beplanting in kaart te brengen	1	1	visueel	-	in groeiperiode	12 maanden	
Analyse en rapportage										
Antea Group		Opstellen jaarlijkse voortgangsrapportage met bevindingen monitoring/inspecties	jaarlijkse rapportage van alle monitoring, inspecties, overzicht vergunningverlening en eventuele incidenten en vergelijk of het gedrag afwijkt van de verwachtingen (zonder uitgebreide analyse)	1	-	bureau studie	-	-	5 jaar	
Antea Group		Opstellen 3 maandelijks feitenrapportage met bevindingen monitoring/inspecties	3-maandelijks feitenrapportage van alle monitoring, inspecties en eventuele incidenten en vergelijk of het gedrag afwijkt van de verwachtingen (zonder uitgebreide analyse)	3	-	bureau studie	-	-	5 jaar	
Antea		Ad Hoc analyse & advies	Benodigde analyse als gevolg van onvoorziene zaken	4	-	bureau studie	-	-	-	
Overleg & afstemming										
AnteaGroup & JLD-Contracting		Inregelen monitoring in eerste jaar	ondersteunen bij het instellen van de monitoring	4	-	-	-	-	-	
AnteaGroup & JLD-Contracting		Voortgangsoverleggen	in jaar 1: na rapportage 3 maandelijks inspectie jaar 2 t/m 5: na jaarlijkse voortgangsrapportage	4	-	-	-	-	-	
AnteaGroup & JLD-Contracting		Ad hoc besprekingen	ad hoc overleg naar aanleiding van onvoorziene zaken	4	-	-	-	-	-	

Bijlage 2 Monitoringstabel Watergraafsmeer

Bijlage 2 Monitoringstabel Watergraafsmeer

In voorliggende bijlage is de monitoringsvoortgang per jaar weergegeven. Per jaar is bijgehouden wat voor monitoring voorzien was in het betreffende jaar en wat daadwerkelijk uitgevoerd is. De overzichtstabellen zijn per jaarrapportage opgesteld. Voor een uitgebreide beschrijving van de betreffende monitoring wordt verwezen naar de betreffende jaarrapportages:

- Jaarrapportage 2019 [31]
- Jaarrapportage 2020 [29]
- Jaarrapportage 2021 [28]
- Jaarrapportage 2022 [35]

De voorgenomen monitoring per jaar is opgesteld in de werkplannen die voorafgaand aan het betreffende jaar zijn opgesteld.

- Werkplan jaar 2020 [36]
- Werkplan jaar 2021 [37]
- Werkplan jaar 2022 [38]
- Werkplan jaar 2023 [39]

Aangezien in 2019 de JLD-Dijkstabilisator is aangelegd en het monitoringsplan voor de beheerfase destijds recentelijk was opgesteld is geen separaat werkplan opgesteld voor de monitoring in 2019. De werkzaamheden welke in 2019 zijn voorzien zijn opgenomen in Tabel 6-1.

Tabel 6-1: *Overzicht monitoring 2019.*

Omschrijving	Aantal voorzien 2019	Uitgevoerd
Veldinspectie	0	1
Trekracht / Voorspanning	Elke 6 uur	Elke 6 uur
Piping	0	0
Verplaatsing kopplaat / deformaties kopplaat	1	0
Verplaatsing omliggende grond (horizontaal en verticaal) / deformatie dijk (maaiveld)	1	1
Deformatie JLD Dijkstabilisator - SAAF LDE-los	0	0
Deformatie JLD Dijkstabilisator - Referentiepunt SAAF	0	0
Grondwaterstand / waterspanning meten	Doorlopend, dagelijkse meting	Doorlopend, dagelijkse meting
Neerslag meten	0	0
VTA meting beplanting	0	Tijdens realisatie is een VTA uitgevoerd, begin 2019

Een beschrijving van de werkzaamheden welke in 2020 waren voorzien en uitgevoerd zijn, is opgenomen in Tabel 6-2.

Tabel 6-2 Overzicht monitoring 2020.

Omschrijving	Aantal voorzien 2020	Uitgevoerd			
		Q1	Q2	Q3	Q4
Veldinspectie	4	0	1	0	1
Trekkraft / Voorspanning	4 maal per dag	4pd	4pd	4pd	4pd
Piping	Onvoorzien, rekening houdend met 1 keer. Op basis van overschrijding marge een inspectie uitvoeren	0	0	0	0
Meting verplaatsing kopplaat / deformaties kopplaat	1	1	0	0	0
Meting verplaatsing omliggende grond (horizontaal en verticaal) / deformatie dijk (maaiveld)	1	1	0	0	0
Meting deformatie JLD Dijkstabilisator - SAAF LDE-los	1	1	0	0	0
Meting deformatie JLD Dijkstabilisator - Referentiepunt SAAF	1	1	0	0	0
Grondwaterstand / waterspanning meten	4 Doorlopend, dagelijkse meting, 3-maandelijkse rapportage	1	1	1	1
Neerslag meten	4 Doorlopend, dagelijkse meting, 3-maandelijkse rapportage	1	1	1	1
VTA meting beplanting	1	0	1	0	0
Opstellen werkplan 2021	1	0	0	0	1
Wrap-up proeflocatie Purmerend	0	0	0	1	0
Beslisnotitie inspectie nodes	0	0	1	0	0
Werkplan inspectie nodes	0	0	0	1	0
Inspectie nodes	0	0	0	0	1

Een beschrijving van de werkzaamheden welke in 2021 waren voorzien en uitgevoerd zijn opgenomen in Tabel 6-3.

Tabel 6-3 Overzicht monitoring 2021

Omschrijving	Aantal voorzien 2021	Uitgevoerd			
		Q1	Q2	Q3	Q4
Veldinspectie	2	0	1	1	0
Trekkraft / Voorspanning	4 maal per dag	4pd	4pd	4pd	4pd
Piping	Onvoorzien, rekening houdend met 1 keer. Op basis van overschrijding marge een inspectie uitvoeren	0	0	0	0
Meting verplaatsing kopplaat / deformaties kopplaat	1	1	0	0	0
Meting verplaatsing omliggende grond (horizontaal en verticaal) / deformatie dijk (maaiveld)	1	1	0	0	0
Meting deformatie JLD Dijkstabilisator - SAAF LDE-los	1	0	1	0	0
Meting deformatie JLD Dijkstabilisator - Referentiepunt SAAF	1	0	1	0	0
Grondwaterstand / waterspanning meten	4 Doorlopend, dagelijkse meting, 3-maandelijkse rapportage	1	1	1	1
Neerslag meten	4 Doorlopend, dagelijkse meting, 3-maandelijkse rapportage	1	1	1	1
VTA meting beplanting	0	0	0	0	0
Opstellen werkplan 2022	1	0	0	1	0
Wrap-up proeflocatie Purmerend	0	0	0	0	0
Beslisnotitie inspectie nodes	0	0	0	0	0
Werkplan inspectie nodes	0	0	0	0	0
Inspectie nodes	0	0	0	0	0

Een beschrijving van de werkzaamheden welke in 2022 waren voorzien en uitgevoerd zijn opgenomen in Tabel 6-4.

Tabel 6-4 Overzicht monitoring 2022

Omschrijving	Aantal voorzien 2022	Uitgevoerd			
		Q1	Q2	Q3	Q4
Veldinspectie	2	0	1	1	0
Trekkraft / Voorspanning	4 maal per dag	4pd	4pd	4pd	4pd
Piping	Onvoorzien, rekening houdend met 1 keer. Op basis van overschrijding marge een inspectie uitvoeren	0	1	0	0
Meting verplaatsing kopplaat / deformaties kopplaat	1	1	0	0	0
Meting verplaatsing omliggende grond (horizontaal en verticaal) / deformatie dijk (maaiveld)	1	1	0	0	0
Meting deformatie JLD Dijkstabilisator - SAAF LDE-los	1	0	0	1	0
Meting deformatie JLD Dijkstabilisator - Referentiepunt SAAF	1	0	0	1	0
Grondwaterstand / waterspanning meten	4 Doorlopend, dagelijkse meting, 3-maandelijkse rapportage	1	1	1	1
Neerslag meten	4 Doorlopend, dagelijkse meting, 3-maandelijkse rapportage	1	1	1	1
VTA meting beplanting	0	0	0	0	0
Werking nodes (inspectie)	1	0	1	0	0
Naspannen (gelijktijdig met inspectie)	1	0	1	0	0
Opstellen werkplan 2023	1	0	0	0	1
Opstellen inhoudsopgave postdictie	1	0	0	0	1
Ophalen opmerkingen op beheerplan	1	0	0	0	1

Bijlage 3 Witte vlekken PPV

datum 17 november 2023
projectnummer 413509.104
betreft WGM eindrapportage



Bijlage 3 Witte vlekken PPV

Dit document bevat alle witte vlekken welke zijn opgenomen in de PPV, bijlage A. Tabblad G1 tm G17 bevat de witte vlekken genummerd van G1 tot en met G17 (generiek voor dijkwerningstechnieken) en tabblad J1 tm J6 bevat de witte vlekken genummerd J1 tot en met J6 specifiek voor de JLD-Dijkstabilisator. Kolom G bevat een aanscherping naar aanleiding van de ervaringen en monitoring vanuit pilot project Watergraafmeer.

Nr.	Witte vlek generiek	Toelichting	Hoe mee omgegaan in deze publicatie?	Verder	Aanscherping vanuit WGM (definitief)
G1	Langtermijngedrag van een door zakkende grond (lateraal) belaste nagel	De vraag hoe de belastingen t.g.v. zakkende grond op ankerstangen c.q. ankerkabels zich precies ontwikkelen over een langere periode is een actueel onderwerp van onderzoek (2018). De vraag speelt ook bij vernagelingsstechnieken. Aandachtspunt hierbij is dat bij vernagelingsstechnieken bewaard de wrijvingsinteractie met de grond wordt gemiddeld, omdat dit bijdraagt aan de beoogde wrijving. Het betekent echter ook een verhoogde belasting op de nagels door de zakkende grond op langere termijn.	Conservatief ontwerp maken: -Uitvoeren van grond-constructie interactieberekeningen met een bovengrens van de zettingen over levensduur. -Afnemen van bovengrens van verwaarde wrijvingsinteractie. -In geval van JLD-Dijkstabilisator monitoren van voorspanning (geeft indicatie over gedrag).	Aanbrengen van dummynagels binnen project op welke nader onderzoek kan plaatsvinden in toekomst.	De SAAF-metingen laten zien dat de LDE's vervormen. Het vervormingsgedrag tussen opeenvolgende jaren laat een afname van het patroon zien. Het gaat om vervormingen in ordegroottes van 5 mm tussen de jaarlijkse metingen. Tussen de onderkant en de bovenkant van het LDE is een uitbuiging te zien. Uit de SAAF-metingen uit 2020 volgt dat de uitbuiging tussen de 1,5 en 12 cm ligt. Gezien de geringe vervorming van 5 mm in de jaren daarna is de in 2020 gemeten uitbuiging vrijwel zeker ontstaan bij het plaatsen van de stabilisatoren. De ankerstangen en LDE's zullen waarschijnlijk niet kaarsrecht onder een hoek in de waterkering aanwezig zijn, maar zullen door wrijving de maximale weg zoeken en plaatselijk dus vervormen. Er is geen D-meting uit 2019 beschikbaar van de SAAF-metingen om dit te controleren. Aan de hand van de deformaties van het dijkliddeam zou het kunnen dat de dijk op het systeem gaat 'hangen' en minder zetting plaatsvindt. In het ontwerp is een oorspronkelijk achtereindzetting van 7 mm/jaar aangehouden, dit betreft een waarde onder invloed van de stabilisatoren. Uit de monitoringsdata blijkt dat er geen significante zettingen plaatsvinden en niet alleen een daling is gemeten. Het lijkt erop dat minder kruising waargenomen wordt. De landreolte zit ongeveer binnen de meetnauwkeurigheid van 2 cm. Om deze kan nog niet gesteld worden dat het dijkliddeam ook op het systeem hangt, gezien de monitoringsperiode ca. 3,5 jaar betreft wat uitkomt op een zetting van ca. 24 mm. Doer in de toekomst een reguliere periodieke kademeting uit te voeren kan dit nader gecontroleerd worden.
G2	Mogelijkheids ontstaan van holle ruimtes rondom nagels t.g.v. langtermijnzettingen	Het is de vraag of op langere termijn holle ruimtes ontstaan onder de nagels als gevolg van de zakkende grond. Het is onduidelijk of dit mogelijk schadelijk en/of nadelig kan zijn voor de constructie en/of het dijkliddeam. In het geval dit optreedt, kan bijvoorbeeld worden berekend dat de porositeit van de dijk toeneemt, hetgeen mogelijk leidt tot verhoogde grondwaterstanden in de dijk onder MHW-omstandigheden. Ook kan het hierdoor zo zijn dat voor de maatgevende situatie niet langs de volledige omtrek van de nagel slijkracht kan worden gebouwd; immers aan de zijde van holle ruimtes is geen interactiekracht met de grond.	Hiermee wordt in het ontwerp vooralsnog geen rekening gehouden. Aangezien een nagel aan het talud niet op een vast punt is opgeleid, wordt vooralsnog niet verwacht dat dit optreedt.	Aanbrengen van dummynagels binnen project om in toekomst trekproeven te kunnen uitvoeren zodat de gevonden wrijving vergeleken kan worden met de wrijving uit de bezwijkproeven uit het DO. Een significant lagere wrijving kan een indicatie zijn van holle ruimtes rondom de nagel.	Geen aanscherping, er is geen indicatie af te leiden uit de monitoringsgegevens dat er holle ruimtes ontstaan bij de ankers. Deformaties zijn te gering van het niveau en de SAAF. Zie ook G1.
G3	Het aantal belastingproeven en de wijze van uitvoeren van een belastingproef op een nagel	Het is gangbaar om bij uitvoering van nagels belastingproeven (i.e. controle, geschiktheid en/of bezwijkproeven) uit te voeren om meer zekerheid te verkrijgen over het sterkte- en stijfheidgedrag. Het is echter niet eenduidig hoeveel procent van de nagels koproef dient te worden en met welke specificaties de proef dient te worden uitgevoerd.	In deze publicatie is een concreet voorstel gedaan in paragraaf 7.4. Hierbij is gebruik gemaakt van bestaande normen en richtlijnen, de adviezen uit het witte vlekken-rapport en eerste ervaringen.	Op basis van toelichtende ervaringen dient te worden afgevoerd of aanpassingen benodigd zijn.	Conform de CUR166 wordt in de regel op alle ankers een controleproef uitgevoerd, uitondering kunnen ankers in CUR166-voorschriftklasse I zijn wanneer wordt voldaan aan de eisen zoals beschreven in par. 7.2.2. en CUR166. In de pilot van Watergraafmeer zijn op 95% van de ankers controleproeven uitgevoerd en op 1% van de ankers langeduurproeven. De controleproef bestond uit ankers in 1 stap trekken zijn tot 110% van de UGT waarde, deze belasting is 5 mm vast gehouden, vervolgens afgelaten tot 100% van de UGT waarde en in 5 min kruijng gemonteerd. Daarna is het anker afgelaten op 85% van de UGT waarde en vastgezet. Alle ankers voldeden aan de knuipmaat van kleiner dan 2 mm. Er is geen aanleiding om de methode hierin te wijzigen. Er wordt geadviseerd om bij slappe lagen deze methodek aan te houden. Conform de PPV dient op minimaal 5% van de ankers een controleproef uitgevoerd te worden, 3% langeduur en 3% korteduur proeven. Geadviseerd wordt om betere monitoring uit te voeren van de plaatsing van het LDE. Het LDE-element wordt de grond ingedrukt d.m.v. een reactiekracht via de trekstang. Indien de reactiekracht veel groter is dan de vereiste kracht in de controleproef, dan zou in theorie de controleproef afgeschald kunnen worden. Dit gaat alleen op indien de koppalaat nog niet geplaatst is voor uitvoering van de controleproef. Binnen pilot Watergraafmeer was dit niet het geval. Hier werd achtereenvolgens het anker geplaatst, het LDE element met bouten en de koppalaat, waarna het aanproefprotocol uitgevoerd werd. Beschikbaar is het advies om wel alle ankers te controleren, zeker omdat het een minimale tijdsinspanning vergt en veel informatie verkrijgt over de reeds geïnstalleerde ankers.
G4	Involed maatgevende hydraulische belastingen op de houddracht	Er dient rekening te worden gehouden met een zekere invloed van de maatgevende hydraulische belastingen op de houddracht (onderdelen van) de vernageling.	De consensusstand, op basis waarvan de houddracht wordt berekend, dient gecorrigeerd te worden voor de extreme omstandigheden.	N.v.t.	Geen aanleiding tot aanscherping vanuit pilot Watergraafmeer.
G5 en G15	Bepalen groeps effect axiale schutweerstand	Indien nagels dicht bij elkaar worden geplaatst, kunnen (onderdelen van) de nagels elkaar nadelig gaan beïnvloeden. Hierdoor is de draagkracht van twee dichtbij elkaar geplaatste nagels niet gelijk aan tweemaal de draagkracht van een afzonderlijke nagel. Het is niet eenduidig hoe deze onderlinge beïnvloeding te berekenen. Er is geen bekende methode om het groeps effect van de axiale schutweerstand in cohesieve gronden goed in te schatten. NEN 9971: art. 7.6.3.3 (c) geeft een analytische methode om de invloed van groeps effect mee te nemen voor funderingspalen. Deze methode gaat er echter vanuit dat de kraachtdragcracht voornamelijk via de niet cohesieve lagen plaatsvindt.	In deze publicatie is gebruik gemaakt van de adviezen uit de Betares en daarnaast van bestaande richtlijnen uit de CUR 166. Alleen voor de groepswerking van de axiale schutweerstand is nog geen methode voorhanden. De nu gehanteerde methode voor het vaststellen van de axiale schutweerstand is gebaseerd op een methode voor trekpalen volgens NEN 9971-1. Deze methode voorziet in een reductie voor groepswerking, maar is enkel gesteld op zandige lagen. De groepswerking in cohesieve lagen bij deze methode is een witte vlek. In cohesieve gronden zal bewijzen op axiale schutweerstand altijd vlak naast de nagel (lag binnen 1 maal de diameter) optreden. Praktisch gezien zullen nagels altijd hart opharftand van minimaal 1 m hebben. Met een diameter van de nagels variërend van 15-25 cm is het optreden van groepswerking daarmee onwaarschijnlijk.	Verdere aanscherpingen zijn mogelijk door met eindproeven aan te tonen dat minimale conservatieve waarden kunnen worden aangehouden. Het verwerken van de groepswerking van axiale schutweerstand in het ontwerp dient getoetst te worden door middel van een 2D plaxis sim met juiste parameters. Hierbij dient de schachtwrijving vertaald te worden naar de 2D Plaxis sim. Daarnaast kan de kans van het trekken van een groep met meerdere ankers bepaald worden.	Aanscherping werkt in de kolom: 'Verder handlingsperspectief'
G6	Geotechnische draagkracht facing/koppalaat t.t. overvloedige zone.	De geotechnische draagkracht van de facing/koppalaat is een belangrijk onderdeel van de werking van beide vernagelingstechnieken. De facing/koppalaat zal (meestal) in de overvloedige zone worden geplaatst. De geotechnische sterkte van deze overvloedige zone is niet goed te bepalen en kan verschillen anders zijn dan de onderliggende verzadigde zone. Daarbij kan deze zone onder maatgevende condities verzadigd raken, waardoor de sterkte ook weer kan wijzigen. Complicerende factor is het feit dat de facing/koppalaat (meestal) in een talud wordt geplaatst. De invloed van een hellend maaiweld geeft een verlagend effect op de geotechnische draagkracht. Er zijn echter geen analytische methoden bekend waarmee de draagkracht onder een helling berekend kan worden. Het is daardoor niet eenduidig hoe deze invloed mee te nemen.	Benoemd is in deze publicatie dat: Het gericht en voldoende tijdspannend grondonderzoek dient plaats te vinden rondom de facing/koppalaat om de grondopbouw zo goed mogelijk te kennen; Het een conservatieve schenastatie dient te worden gemaakt van de geotechnische sterkte. Ook dit exact te doen is afhankelijk van de situatie; *zonder verdere informatie, emmen rekening gehouden dient te worden dat onder maatgevende condities de ondergrond geheel verzadigd kan zijn; *het nadelig effect van plaatsing in een talud met PLAXIS kan worden ingeschat; *in het ontwerp een methode opgesteld dient te worden waarmee de berekende geotechnische draagkracht van de grond onder de facing/koppalaat kan worden aangetoond met behulp van controle- en bezwijkproeven.	De in het ontwerp opgestelde methode voor controle en bezwijkproeven dient getoetst te worden door een door de opdrachtgever aan te wijzen derde partij. Afwegen om een grondverbetering toe te passen onder de facing/koppalaat. Bij een eventuele grondverbetering dient rekening te worden gehouden met verlies aan draagkracht of erosie door golfvoerslag. De grondverbetering dient in combinatie met het overslagcriterium voor het ontwerp bekeken te worden. Bij uitvoering van de controleproeven wordt het lokaal bezwijken van de ondergrond visueel gecontroleerd. Hierbij dient het naastliggende anker in de gaten gehouden te worden. Een maximale afname van ca. 5 % van het naastliggende anker is toelaatbaar. Hierop dient monitoring uitgevoerd te worden bij het uitvoeren van de controleproef.	Aanscherping werkt in de kolom: 'Verder handlingsperspectief'
G7	Erosiebestendigheid rondom facing/koppalaat	Door toepassing van een 'hard onderdeel' in de taludbekleding kan bij overslaggedurende mateigende condities mogelijk erosie optreden rondom dit harde onderdeel.	Facing/koppalaat op een zekere minimale diepte onder maaiweld plaatsen zodat erosie geen rol speelt.	Indien de minimale diepte niet kan worden toegepast, opgetreden groter dan 0.1 m/m's daarmee is dit onderdeel niet een gegeven overslaggebied mogelijk acceptabel is. Bij een overslaggebied kleiner dan 0.1 m/m's speelt erosie door overslag niet. De erosiebestendigheid dient meegenomen te worden bij het vaststellen van de dijkhoogte c.q. het overslaggebied.	Binnen pilot Watergraafmeer zijn geen overslaggebieden opgetreden groter dan 0.1 m/m's daarmee is dit onderdeel niet van toepassing/ relevant geweest binnen de monitoringsperiode na realisatie. Koppalaat ligt binnen project WGM diep ca 1 m, pot zit ca 0,3 m onder Mv. Plag dient wel weer aan te sluiten. Situatie met koppalaat en pot is niet slechter in de situatie zonder pot en koppalaat.
G8	Toepasbaarheid in overwegend organische gronden	Er zijn nog geen ervaringen met de toepassing van de nagels in grotendeels organische gronden. Mogelijk is de werking van de vernageling in deze gronden anders en/of verminderd.	Er kan vooralsnog geen houddracht ontdeed worden aan organische grondlagen voor de grond-constructie interactie (wandswrijving) omz) en lokale trek (bezwijkproeven worden uitgevoerd om de wandwrijving vast te stellen en een relatie met grondonderzoek te leggen.	Door middel van onderzoek (bezwijkproeven in proefvelden en berekeningen met de EEM) de gewenste werking aanstoten. Als onderdeel van de pilot Watergraafmeer zijn bezwijkproeven uitgevoerd op de axiale schachtwrijving van het LDE (JLD-Dijkstabilisator) in een vlieg-grond. Indien op termijn voldoende ervaring is opgedaan op basis van trek/bezwijkproeven kunnen naar alle waarschijnlijkheid ontwerpproblemen worden afgeleid.	Binnen pilot Watergraafmeer zijn bezwijkproeven op de axiale schachtwrijving van het LDE uitgevoerd waarbij de gemeten wrijvingslang het LDE veel hoger was dan vooraf voorspeld. Aangezien organische gronden echter steek kunnen verschillen dient in volgende projecten verder opgepakt te worden. De organische gronden in Watergraafmeer zijn niet vergelijkbaar met organische gronden die bijvoorbeeld in (natte) natuurgebieden aanwezig zijn. Binnen de pilot Watergraafmeer met de proeven in Broek op Waterland blijkt dat veel meer houddracht werd vergeleken met de beschrijving in de literatuur. Dus een eerste indicatie lijkt dat de houddracht goed is, dit blijkt ook uit de korte duur proeven. Geadviseerd wordt om hier meer langeduur proeven op uit te voeren in vervolg pilots. Voor nu is er geen aanleiding dat hier een risico aanwezig is. De ontwerpmethodiek blijft gehandhaafd zoals beschreven in de PPV.

G9	Trillingen en grondverdringing tijdens inbrengen	Alhoewel reeds enige ervaring is opgedaan bij de diverse pilotprojecten is nog geen brede ervaring voorhanden met trillingen en de mate van grondverdringing bij inbrengen in diverse grondlagen.	In deze publicatie zijn de opgedane ervaringen bij de pilotprojecten benoemd. Rekening houden met monitoring tijdens uitvoering. Vastleggen ervaringen	Proefname/testen in onbekende grondslag voorliggend project.	Trillingen die vrijgekomen zijn, zijn afhankelijk van grondslag. Type nagel en het toegaste trilblok. Ter plaatse van de Ringdijk zijn trillingen gemeten de grenswaarde van 2,4 mm/s gebleven bij een afstand groter dan 11 m. Ter plaatse van de woningen en de paalen van de keermuur aan de buitenuzijde van de waterkering zijn geen overschrijdingen van de grenswaarden waargenomen. Ter plaatse van de keermuur aan de binnenuzijde (stenen muurtje) zijn wel overschrijdingen gemeten, maar geen significante deformaties. Per project dient een predictie opgesteld te worden van trillingen en een monitoringplan ten behoeve van de uitvoering van werkzaamheden. Op basis van de resultaten van de pilot Watergraafmeer zijn geen problemen met trillingen te verwachten bij het toepassen van de JD-Dijkstabilisator. Mits het juiste trilblok wordt gebruikt scoort de techniek goed.
G10	Invloed obstakels, puin, etc. op inbrengbaarheid	Bij obstakels in de ondergrond kunnen nagels mogelijk niet altijd op de gewenste locatie worden aangebracht en/of kan tijdens plaatsing schade optreden aan de nagels.	In deze publicatie is benoemd: - specifieke inventarisatie van mogelijke obstakels in ondergrond bij start project; - rekening houden met afwijkende plaatsingslocaties tijdens ontwerp; - egide monitoring tijdens aanbrengen om mogelijke schade aan nagel direct vast te stellen; - bij afwijkingen tijdens de uitvoering die groter zijn dan waarmee rekening is gehouden in het ontwerp, dient het ontwerp lokaal herzien te worden.	Opgedane ervaring uit de pilotprojecten analyseren en op basis van de resultaten de ontwerpmethodologie aanpassen, indien nodig.	Van te voren goed kijken naar eventuele obstakels in de ondergrond. Uit de pilot Watergraafmeer volgt dat er geen specifieke problemen opgetreden zijn: bij aanleg, de techniek is redelijk flexibel wat betreft plaatsing van ankers, zie hiervoor ook de uitvoeringsdocumenten.
G11	Verwijderbaarheid	Het is onduidelijk in welke mate, bij einde levensduur van de vernageling, onderdelen van de vernageling kunnen worden verwijderd en wat daarvan de impact is op de dijk.	In deze publicatie is benoemd dat er van moet worden uitgegaan dat bij einde levensduur de nagels in hun geheel achter blijven in het dijkelement.	Indien het gewenst is dat (onderdelen van) de vernageling bij einde levensduur kunnen worden verwijderd, dient met proeven te worden aangetoond of dit mogelijk is, en zo ja, wat de impact is op de dijk. Bij het ontwerp ook het adaptieve vermogen van de constructie beschouwen en meenemen in ontwerp- of beheerplan.	Het verwijderen van een stabilisator is in de pilot niet uitgevoerd. De trekstang kan er uit trekken, deze breekt naar verwachting onderin bij het klappen af. Het LDE element, de kopplaat en de post zijn te verwijderen vanaf maximaal na het uitsteken van de grond. Daarmee is met uitzondering van het klappen naar verwachting het gehele systeem te verwijderen.
G12	Modelfactor bij 3D-technieken	In Deltares [11] wordt geadviseerd om bij het ontwerpen van dijkevernageling voorlopig de modelfactor van $\gamma_{GS} = 1,1$ te handhaven bij het ontwerpen van dijkevernageling als dijkeversterkingsmaatregel.	Voor dijkevernagelingstechnieken is voorgescreven dat voor de maakende doornedien een driedimensionale FEM-berekening uitgevoerd moet worden. Bij de 2D maatgevend, dan kan het ontwerp verder worden voltooid met 2D-FEM-berekeningen. Bij 3D maatgevend, dan dient verder ontworpen te worden met 3D-FEM-berekeningen of met 2D-FEM-berekeningen in combinatie met een 3D-factor op de inboekkrachten van 1,1 (in lijn met het PPE).	N.v.t.	Geen aanleiding tot aanscherping vanuit pilot Watergraafmeer, er is geen onderzoek uitgevoerd naar dit aspect.
G13	Beoordelen, beheer en onderhoud	In Deltares [11] wordt geadviseerd om, als onderdeel van het beheer en onderhoud, het bovenste deel van een aantal nagels c.s. stabilisatoren vrij te graven om de verbindingen van de nagels naar de faching (kopplaat) te controleren. Daarbij kan worden gecontroleerd op eventuele schade aan de materialen van de verschillende onderdelen. Deze waarnemingen kunnen ook worden meegenomen in beoordeling.	In deze publicatie is deze aanbeveling opgenomen. De onderdelen beoordelen, beheer en onderhoud zijn opgenomen in hoofdstuk 8 en 9.	Aanbrengen van dummynagels binnen project op welke naeder onderzoek kan plaatsvinden in toekomst.	Uit de herstelwerkzaamheden is naar voren gekomen dat 6 van de 64 stabilisatoren een defect schroefdraad vertonen en daarmee niet meer goed na te spannen of defect zijn. Een defect schroefdraad is geheel te voorkomen door te werken met een stalen moer (zoals in het oorspronkelijke ontwerp opgenomen maar door leveringsproblemen niet toegepast). De locatie van de ankers met een defect schroefdraad liggen verspreid over het projectgebied.
G15	G5 en G15 zijn gecombineerd, zie G5	G5 en G15 zijn gecombineerd, zie G5	G5 en G15 zijn gecombineerd, zie G5	G5 en G15 zijn gecombineerd, zie G5	G5 en G15 zijn gecombineerd, zie G5
G16	Hoe bepaal je het leggerprofiel?	Hoe bepaal je het leggerprofiel?	Er is niet één generieke, standaard methode voor het leggerprofiel beschikbaar. Het zal ook afhangen van de methode die een beheerder normaal gesproken hanteert voor een gronwijk. En wat hij bestaat in de beschermingszone (wel of geen ontgraving? Hoe (zo ontgraven)? Etc.). Althans, daarvan kunnen we de grens van de kenzone rekenkundig wel bepalen met de rekenmethode voor Dijkvernageling en Dijkstabilisator.	Geev.	De methode tot het opstellen van een legger varieert per waterschap. Advies: De methode afstemmen per project bij het betreffende waterschap in combinatie met de werkwijze van de aanpak naar de grens van de kenzone van vernageling. Bij waterschap Amstel Gooi en Vecht (Waterne) is de legger bepaald met een stabilisator. Dit kan als voorbeeld worden gebruikt.
G17	Vergunningverlening	Hoe omgaan met vergunningverlening qua werken in de buurt van de vernageling?	In de PPV zijn aandachtspunten voor de vergunningverlening benoemd. Het zal per beheerder verschillen in hoeverre de bestaande Nieuw- & bebouwingplannen de aandachtspunten rondom werken (na) vernagelingsconstructies reeds afdekken. Voor nu tijdens ontwerp van een vernagelingsconstructie dit opgeven bij de beheerder.	Ervaringen verzamelen bij beheerder waarvoor vernagelingsconstructies worden ontworpen. Deze verzamelen in de volgende versie van de PPV.	Er zijn inmiddels ervaringen met naspannen, maaien, etc. deze geven beter inzicht in wat het beheer van stabilisatoren betekent en de eisen als het tijd aan vergunningverlening. Bijvoorbeeld Watergraafmeer kan ook als voorbeeld gebruikt worden.
G18	Berekening dwarskrachtontwikkeling in emboddeed beams	In veldige elementen methoden zijn specifieke elementen beschrijvend, emboddeed beams genaamd, waarmee de nagels worden gemiddeld. Deze elementen zijn met name ontwikkeld om normaal krachten in constructieve lijn elementen, zoals grondankers te berekenen. In de toepassing met betrekking tot vernagelingsstechnieken kan, afhankelijk van de geometrie en bodemopbouw, dwarskracht een grote rol spelen, zoals bij een casus bij de Markswaardijk. De emboddeed beams zijn niet ontwikkeld voor het berekenen van de dwarskrachten en de invloed bestaat dat de dwarskrachtontwikkeling mogelijk niet correct wordt voorspeld. Het verbeteren van de numerieke modellering van de dwarskrachtontwikkeling in de nagels wordt gehandeld door het ontbreken van data aan de hand waarvan de numerieke analyse kan worden gevalideerd.	Een goede numerieke modellering van de krachtwerking in de nagels is essentieel voor een betrouwbaar ontwerp in slappe bodem. Bij het ontwerpen van vernagelingsstechnieken in slappe grondlagen dient voorafgaand enige voorselectie te worden met het ontwerpen bij forse dwarskrachtwijking	Er is een voorstel voor een onderzoek om de (dwarskracht)ontwikkeling in emboddeed beams nader te onderzoeken en valideren ingediend bij het HWBP. Dit wordt nog op een geschikt project	geen

Dit document bevat alle witte vlekken welke zijn opgenomen in de PPV, bijlage A. Tabblad G1 tm G17 bevat de witte vlekken genummerd van G1 tot en met G17 (generiek voor dijkvernagelingstechnieken) en tabblad J1 tm J6 bevat de witte vlekken genummerd J1 tot en met J6 specifiek voor de JLD-Dijkstabilisator. Kolom G bevat een aanscherping naar aanleiding van de ervaringen en monitoring vanuit pilot project Watergraafmeer.

Nr.	Witte vlek JLD-Dijkstabilisator	Toelichting	Hoe mee omgegaan in deze publicatie	Verder handlingsaspectief	Aanscherping vanuit pilot WGM
J1	Afname voorspanning JLD-Dijkstabilisator in de tijd	Door het aanbrengen van een actieve voorspanning op een slappe ondergrond zal deze gaan vervormen, waardoor de voorspanning afneemt. Het is op dit moment niet duidelijk hoe hard deze afname zal gaan en dus hoeveel onderhoud het vergt om de voorspanning op het gewenste niveau te houden.	Analyse o.b.v. verwachtingswaarden, waarbij tevens gevoeligheidsberekeningen uitgevoerd dienen te worden met conservatieve uitgangspunten om de uitersten vast te stellen. Rekening houden met onderhoud. Ervaringen pilotproject Watergraafmeer vastleggen. Monitoren van voorspanning JLD-Dijkstabilisatoren. Uitvoeren van proeven met terugloop van de voorspanning bij proefveld in Purmerend. Als onderdeel van de pilot is ook in Purmerend een proefveld voor de monitoring van de voorspanning ingericht.	Opgedane ervaring uit het pilotproject en proeven bij proefveld analyseren en resultaten verwerken in de ontwerpmethode.	Lijf de postdictie is gebieden dat de gemiddelde afname in 3,5 jaar tijd niet meer bedraagt dan 20 kN. In het DO is een predictie opgesteld, deze toonde (in combinatie met een lagere wrijvingsweerstand langs het LDE) een onderhoudsvoorspanning van drie naspansmomenten in 100 jaar. (eerste naspansmoment na 2 jaar). Tijdens uitvoering is gebleken dat de wrijvingsweerstand langs het LDE hoger ligt. De predictie is destijds aangescherpt met de verhoogde wrijvingsweerstand. Hieruit blijkt dat er in een periode van 100 jaar twee naspansmomenten nodig zijn. (eerste naspansmoment na 8 jaar) Uit de monitoringgegevens blijkt dat het systeem op een enkele lokale naspanspanning moest worden binnen 3,5 jaar tijd. Gevoen herstelwerkzaamheden uitgevoerd moesten worden om de noden online te krijgen zijn alle stabilisatoren weer naspanspannen. Hieruit blijkt dus dat de onderhoudsvoorspanning tussen de twee a drie keer naspanspanning ligt binnen een periode van 100 jaar. De besik van de ervaringen uit pilot Watergraafmeer is het niet nodig om de veiligheidsfactor of ontwerpmethodiek aan te passen. Wel zijn er enkele aandachtspunten met betrekking tot de ontwerpmethodiek die beschreven zijn in de postdictie van pilot Watergraafmeer. Onder andere betreft dit de verhoogde wrijving langs het LDE en het uitvoeren van proeven gedurende DO fase van een project om deze wrijving in kaart te brengen.
J2	Grootte 'zettingstrog' in dijklchaam	Door het aanbrengen van een actieve voorspanning op een slappe ondergrond zal deze gaan vervormen. Hierdoor ontstaat rondom de koppilaten een 'zettingstrog'. Het is op dit niet geheel duidelijk hoe groot de zettingstrog zal zijn, wat de invloed is op het dijklchaam en hoeveel onderhoud dit zal vergen.	Analyse o.b.v. verwachtingswaarden, waarbij tevens gevoeligheidsberekeningen uitgevoerd dienen te worden met conservatieve uitgangspunten om de uitersten vast te stellen. Rekening houden met onderhoud. Ervaringen pilotproject Watergraafmeer vastleggen.	Opgedane ervaring uit het pilotproject analyseren en resultaten verwerken in de ontwerpmethode.	Er zijn geen zettingstroegen waargenomen tijdens uitvoering van de JLD-Dijkstabilisator. In de predictie waren wel zettingstroegen voorspeld. Bij stijvere ondergronden lijkt de grootte van de zettingstrog in de berekeningen dus overschat te worden. Dit aspect is dus niet relevant op de grondgesteldheid binnen Watergraafmeer.
J3	Piping en/of kwel langs nagel	<ul style="list-style-type: none"> Het risico op piping (het meevoren van gronddeeltjes) kan niet direct worden uitgesloten vanwege de ankervoet per definitie is een vaste zandlaag wordt geplaatst. Kwel (grondwaterstroming) kan niet direct worden uitgesloten. Ontstaan van piping en/of kwel ook afhankelijk van mogelijk ontstaan holle ruimtes rondom anker, zie ook witte vlek G2. 	Om het risico op piping uit te sluiten, dient een toetsing op piping uitgevoerd te worden volgens het NBN. Voor het optreden van kwel dient voorzorg bij ieder project monitoring uitgevoerd te worden. In combinatie met de monitoring dient een beheersmaatregel te worden opgesteld om bij (beginnende) piping/kwel direct te kunnen ingrijpen.	Proefname. Monitoring.	Tijdens de naspanswerkzaamheden is in een aantal potten water waargenomen. Dit is naar alle waarschijnlijkheid of freestich water uit het dijklchaam of een gevolg van condensvorming in de pot. Er is geen aanleiding om aan te nemen dat er water uit diepere zandlagen door het gat voor de trekstang in het LDE in de pot terecht is gekomen. Dan was er namelijk bij veel meer potten water waargenomen. Indien bij een project de verwachting is dat de stijghoogte uit de diepere lagen boven de pot kan uitrijzen dan is het aan te bevelen om het gat voor de trekstang in het LDE af te dichtten met een klein, groot of een prop. De methodiek beschreven in de PPV blijft gehandhaafd. Extra aandacht besteden aan dit onderdeel indien het een pipinggevoelig gebied is.
J4	Degradatie/Corrosie constructieve onderdelen	Bij toepassing van kunststoffen en andere materialen dienen voor deze materialen relevant degradatiemechanismen te worden beschouwd. Ervaring met deze materialen? Bij toepassing van stalen onderdelen dient met corrosie rekening te worden gehouden. Hoeveel? Invloed corrosie op grootlichaam?	In het ontwerp wordt rekening gehouden met sterktereductie van de kunststoffen door degradatie over de levensduur conform de daarvoor vigerende normen/leidraden (CUR/BUV). Bij de toepassing van nieuw ontwikkelde materialen zal op deze materialen een degradatietest moeten worden uitgevoerd. Bij het ontwerp van de stalen dient rekening te worden gehouden met corrosie over de levensduur.	Aanbrengen van dummy-JLD-Dijkstabilisatoren binnen project op welke nader onderzoek kan plaatsvinden in toekomst.	Er is geen LDE element getroffen. Het opgraven van LDE in Watergraafmeer vertoont geen zichtbare degradatie vanaf realisatie tot zomer 2023. Er is enkel een visuele inspectie uitgevoerd.
J5	Uitbreidbaarheid/invloed aanbrengen nieuwe nagels op bestaande nagels	Het is mogelijk dat in de toekomst (bijv. door toegenomen hydraulische belastingen) extra stabilisatoren moeten worden bijgeplaatst om te voldoen aan de gestelde eisen. Tijdens het bijplaatsen kunnen de bestaande stabilisatoren mogelijk nadelig worden beïnvloed door bijv. grondontspanning.	<ul style="list-style-type: none"> Benoemen dat stabilisatoren initieel zo worden geplaatst dat bijplaatsen mogelijk is. Waar mogelijk rekening houden met negatieve aspecten. Opnieuw afspannen stabilisatoren, waardoor de spanningssituatie tussen oude en nieuwe stabilisatoren gelijkgetrokken wordt. 	Aanbrengen van dummynagels binnen project op welke nader onderzoek kan plaatsvinden in toekomst.	Zo lang het fysiek mogelijk is kun je stabilisatoren bijplaatsen. Advies: voorspanning op elkaar afsnoemen en zorgen dat er voorspanning aanwezig is in de nieuwe stabilisator en de bestaande stabilisatoren.
J6	Houdkracht klappanker in diepe zand	Er zijn geen exacte berekeningsmethoden voor de houdkracht van een (schuin geplaatst) klappanker in een diepere zandlaag.	<ul style="list-style-type: none"> Conservatieve berekeningswijze Validatie minimale houdkracht met behulp van proefbelasting 	Aanbrengen van dummynagels binnen project op welke nader onderzoek kan plaatsvinden in toekomst.	Bij het opnieuw afspannen zijn nagenoeg alle ankers opnieuw afgespannen, met uitzondering van defecte ankers. Bij alle werkzaamheden binnen de pilot Watergraafmeer zijn in totaal 6 ankers gelokken. De houdkracht van de overige klappankers is niet achtergelaten, ook samengevoerd door middel van de controleproeven na realisatie en de naspanswerkzaamheden.

Over Antea Group

Antea Group is het thuis van 1500 trotse ingenieurs en adviseurs. Samen bouwen wij elke dag aan een veilige, gezonde en toekomstbestendige leefomgeving. Je vindt bij ons de allerbeste vakspecialisten van Nederland, maar ook innovatieve oplossingen op het gebied van data, sensing en IT. Hiermee dragen wij bij aan de ontwikkeling van infra, woonwijken of waterwerken. Maar ook aan vraagstukken rondom klimaatadaptatie, energietransitie en de vervangingsopgave. Van onderzoek tot ontwerp, van realisatie tot beheer: voor elke opgave brengen wij de juiste kennis aan tafel. Wij denken kritisch mee en altijd vanuit de mindset om samen voor het beste resultaat te gaan. Op deze manier anticiperen wij op de vragen van vandaag en de oplossingen voor morgen. Al 70 jaar.

Contactgegevens

Monitorweg 29
1322 BK Almere
Postbus 10044
1301 AA Almere
T. +31 6 10 40 89 12
E. pieter.bart@antegroup.nl

Copyright © 2023

Niets uit deze uitgave mag worden veelevoudigd en/of openbaar worden gemaakt door middel van druk, fotokopie, elektronisch of op welke wijze dan ook, zonder schriftelijke toestemming van de auteurs.

De informatie die in dit rapport is opgenomen is uitsluitend bestemd voor geadresseerde(n) en kan persoonlijke of vertrouwelijke informatie bevatten. Gebruik van deze informatie, door anderen dan de geadresseerde(n) en gebruik door hen die niet gerechtigd zijn van deze informatie kennis te nemen, is niet toegestaan. De informatie is uitsluitend bestemd om te worden gebruikt door de geadresseerde, voor het doel waarvoor dit rapport is vervaardigd. Indien u niet de geadresseerde bent of niet gerechtigd bent tot kennisneming, is openbaarmaking, vermenigvuldiging, verspreiding en/of verstrekking van deze informatie aan derden niet toegestaan, tenzij na schriftelijke toestemming door Antea Group en wordt u verzocht de gegevens te verwijderen en direct een melding te maken bij security@antegroup.nl. Derden, zij die niet geadresseerd zijn, kunnen geen rechten aan dit rapport ontleen, tenzij na schriftelijke toestemming door Antea Group.

Classificatie: Intern

www.antegroup.nl