



Monitoringsrapportage 2022

Watergraafsmeer - JLD-Dijkstabilisator

projectnummer 0413509.101
definitief revisie 1
27 maart 2023

Inhoudsopgave

	Blz.	
1	Inleiding	3
1.1	Achtergrond jaarrapportage	3
1.2	Doel jaarrapportage	4
1.3	JLD-Dijkstabilisator en de invloed op de omgeving	5
1.4	Locaties monitoring	5
1.5	Leeswijzer	6
2	Proces	7
2.1	Werkwijze	7
2.2	Voortgang	8
3	Onderzoeksvragen	9
4	Monitoringsdata en analyse Watergraafsmeer	10
4.1	Veldinspectie	10
4.2	Deformatie JLD-Dijkstabilisator SAAF	10
4.2.1	Meetlocaties	10
4.2.2	Meetperiode	11
4.2.3	Apparatuur	11
4.2.4	Bijzonderheden	11
4.2.5	Data	11
4.3	Deformatie kruin	11
4.3.1	Meetlocaties	11
4.3.2	Meetperiode	12
4.3.3	Apparatuur	12
4.3.4	Bijzonderheden	12
4.3.5	Data	13
4.4	Verplaatsing kopplaten	14
4.4.1	Meetlocaties	14
4.4.2	Meetperiode	15
4.4.3	Apparatuur	15
4.4.4	Bijzonderheden	15
4.4.5	Data	16
4.5	Bepanting	16
4.6	Piping en kwel	17
4.6.1	Meetlocaties	17
4.6.2	Meetperiode	19
4.6.3	Apparatuur	19
4.6.4	Bijzonderheden	19
4.6.5	Analyse data	20

4.7	Voorspanning	25
4.7.1	Meetlocaties	26
4.7.2	Meetperiode	26
4.7.3	Apparatuur	26
4.7.4	Bijzonderheden	26
4.7.5	Analyse data	28
4.8	Neerslag	32
4.8.1	Meetlocatie	32
4.8.2	Meetperiode	33
4.8.3	Apparatuur	33
4.8.4	Bijzonderheden	33
4.8.5	Data	33
4.8.6	Overzicht jaar 2022	35
5	Analyse	37
5.1	Koppeling tussen monitoringsdata en onderzoeksvragen	37
5.2	Onderzoeksvraag 7 (Kwel)	37
5.2.1	Conclusie	37
5.3	Onderzoeksvraag 8 (Invloed vervormingen)	38
5.4	Onderzoeksvraag 9 (Beplanting)	39
5.5	Onderzoeksvraag 11 (Piping)	39
5.5.1	Conclusie	39
5.6	Onderzoeksvraag 13 (Verloop voorspanning)	39
5.6.1	Voorspanning versus neerslag en temperatuur	39
5.6.2	Voorlopige bevindingen	40
6	Financiële verantwoording	41
7	Advies en werkstappen 2023	42
7.1	Werkplan 2023	42
7.2	Algemeen advies aanvulling te ondernemen werkstappen	42
7.3	Postdictie	42
7.3.1	Voorspelling krachtverloop	42
7.3.2	Data postdictie	44
7.3.3	Werkstappen postdictie	44
7.4	Update onderzoeksrapportages	46
7.5	Eindrapportage	47
8	Bibliografie	48

1 Inleiding

1.1 Achtergrond jaarrapportage

De JLD-Dijkstabilisator is een innovatieve dijkversterkingsmethode. Voor de ontwerpbaarheid en bewijsbaarheid van deze methode is een pilotproject met praktijkproeven opgezet. De resultaten hiervan hebben als doel (door)ontwikkeling van deze innovatie en het leveren van afdoende onderbouwing voor een Expertise Netwerk Waterveiligheid (ENW)-acceptatie.

In een voorgaande fase zijn reeds diverse proeven en onderzoeken uitgevoerd om de JLD-Dijkstabilisator en de bijbehorende ontwerpmethode en veiligheidsbenadering gereed te maken voor toepassing in een project. Ook resteerden er enkele kennisleemtes. In samenwerking met Waterschap Amstel, Gooi en Vecht en het HWBP is besloten een pilotproject uit te voeren. Als pilotproject is gekozen de versterking van de Ringdijk te Watergraafsmeer in Amsterdam. Daarbij is een team van JLD, Antea Group en Deltares betrokken. De realisatie is in 2019 voltooid. Van 2019 tot 2024 vindt monitoring plaats om de kennis omtrent het beheer & onderhoud en het lange termijn gedrag van de techniek te vergroten. Daarnaast zijn er op locatie in Purmerend en Broek in Waterland diverse proeven uitgevoerd op de grond-constructie interactie.

Mede op basis van de ontwerp en realisatiefase in de Watergraafsmeer is de JLD-Dijkstabilisator inmiddels door het ENW [1] beoordeeld als een techniek die gereed is voor toepassing. Het werkplan is een middel om in de nastel en monitoringfase op een gestructureerde manier de informatie te verzamelen om te komen tot een bewezen techniek.

Parallel aan het pilotproject in Watergraafsmeer zijn door Expertise Netwerk Waterveiligheid (ENW) voor de doorontwikkeling van de JLD-Dijkstabilisator negentien onderzoeksvragen opgesteld. Om een goed antwoord te kunnen geven op al deze onderzoeksvragen dienen tijdens zowel de uitvoering als de nastelfase een aantal parameters gemonitord te worden.

Er is reeds een monitoringsplan opgesteld. Dit beschrijft de te monitoren parameters voor de periode van 2019 t/m 2023 van het pilotproject Ringdijk voor de locaties Watergraafsmeer en de proeflocatie in Purmerend. [2] De monitoring van de dijkversterking richt zich op:

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

Gedurende de nastelperiode van vijf jaar wordt elk jaar een werkplan opgesteld met daarin de uit te voeren monitoring van de kade met de JLD-Dijkstabilisator. In het werkplan is beschreven wat voor een type monitoring wordt uitgevoerd en waarvoor de monitoring benodigd is.

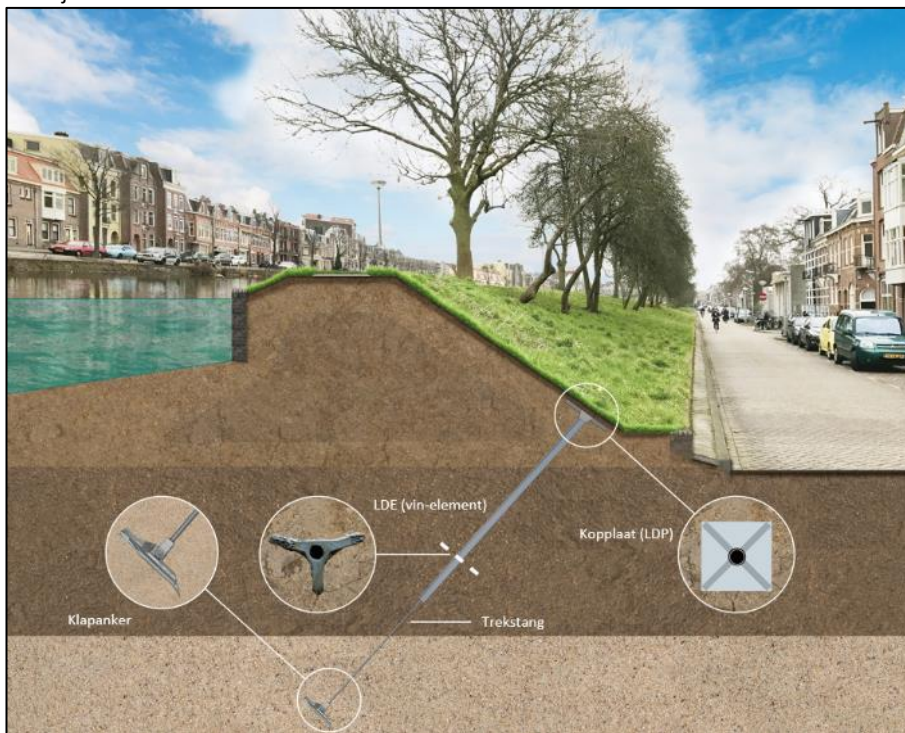
In 2021 is besloten om de monitoring in 2023 af te ronden om vervolgens de financiën in het begin van 2024 af te kunnen ronden.

Voor de monitorings- en nastelperiode is door het Hoogwaterbeschermingsprogramma (HWBP) een beschikking afgegeven. Op basis van het werkplan wordt elk jaar een voorschot op de beschikking aangevraagd. Het eerste werkplan van de periode medio 2019 – eind 2020 is inmiddels uitgevoerd alsmede het tweede werkplan van de periode begin 2021 – eind 2021 en het derde werkplan van de periode begin 2022 tot eind 2022, het werkplan voor 2023 is inmiddels opgesteld en wordt momenteel uitgevoerd [3].

De voorliggende jaarrapportage gaat in op de monitoring en analyse van de verkregen data uit 2022. De basis hiervan ligt in de diverse 3-maandelijkse feitenrapportages [4] [5] [6], opgesteld vanaf het 1^e kwartaal in 2022.

In 2022 zijn herstelwerkzaamheden uitgevoerd met betrekking tot de monitoring van de voorspanning. Het overgrote deel van de stabilisatoren verzond geen data, hiervan waren de nodes offline. De herstelwerkzaamheden waren erop gericht om de nodes die offline waren weer online te krijgen. Alvorens de herstelwerkzaamheden zijn uitgevoerd is een onderzoek gestart waarom de nodes offline waren. Vervolgens is een werkplan opgesteld om de herstelwerkzaamheden uit te voeren. De werkzaamheden zijn uitgevoerd en resulteren erin dat het overgrote deel van de stabilisatoren weer data verzend. Deze werkzaamheden zijn gerapporteerd in [7] en is kort beschreven in paragraaf 4.7 van het voorliggende rapport.

JLD Dijkstabilisator



De JLD-Dijkstabilisator bestaat uit een LDE (vinelement), klapanker, trekstang, kopplaatbout en kopplaat. Het klapanker kan tot in een diepe zandlaag geplaatst worden, waardoor de JLD-Dijkstabilisator kracht ontleent aan verschillende grondlagen. Door het aanbrengen van de voorspanning op de kopplaat wordt het maaiveld onder spanning gezet, terwijl de JLD-Dijkstabilisator via de trekstang en het klapanker kracht ontleent aan de diepe ondergrond. De kopplaat speelt een essentiële rol in de overbrenging van de krachten naar de ondergrond. Het voordeel van de JLD-Dijkstabilisator is dat dit een actief systeem betreft dat geen vervorming van de dijk nodig heeft voordat het in werking treedt.

1.2 Doel jaarrapportage

Het doel van de jaarlijkse rapportage is het inwinnen van verdiepende kennis over de JLD-Dijkstabilisator in relatie tot een aantal van de door het ENW opgestelde onderzoeksvragen. Daarnaast heeft de jaarrapportage als doel om inzichtelijk te maken hoe de werkstappen zijn doorlopen in relatie tot het vooraf opgestelde werkplan [8].

De jaarrapportages dienen aan het eind van de monitoringsperiode te borgen dat de juiste gegevens verzameld zijn voor het uitvoeren van een postdictie van het verloop van de voorspanning en het vervormingsgedrag van de waterkering met JLD-Dijkstabilisator. Aan de hand van de monitoring en de postdictie worden de laatste onderzoeksvragen definitief beantwoord.

1.3 JLD-Dijkstabilisator en de invloed op de omgeving

De monitoring dient te bevestigen dat de JLD-Dijkstabilisator werkt zoals ontworpen is en de dijk aan de veiligheidsnormen voldoet. De monitoring richt zich op:

- deformaties van de JLD-Dijkstabilisator (LDE element);
- deformaties van de kruin (maaiveld);
- deformaties van de kopplaat;
- piping;
- voorspanning JLD-Dijkstabilisator;
- materiaaldegradatie;
- waterspanningen;
- neerslag;
- beplanting.

1.4 Locaties monitoring

Ringdijk Amsterdam

De Ringdijk ligt binnen het beheergebied van Waterschap Amstel, Gooi en Vecht. De Ringdijk is onderdeel van de regionale boezemwaterkering (A117_001) langs de Ringvaart van de Watergraafsmeer in Amsterdam. Het projectgebied ligt tussen de Wibautstraat tot de Middenweg en heeft een lengte van circa 600 meter, zie Figuur 1-1.

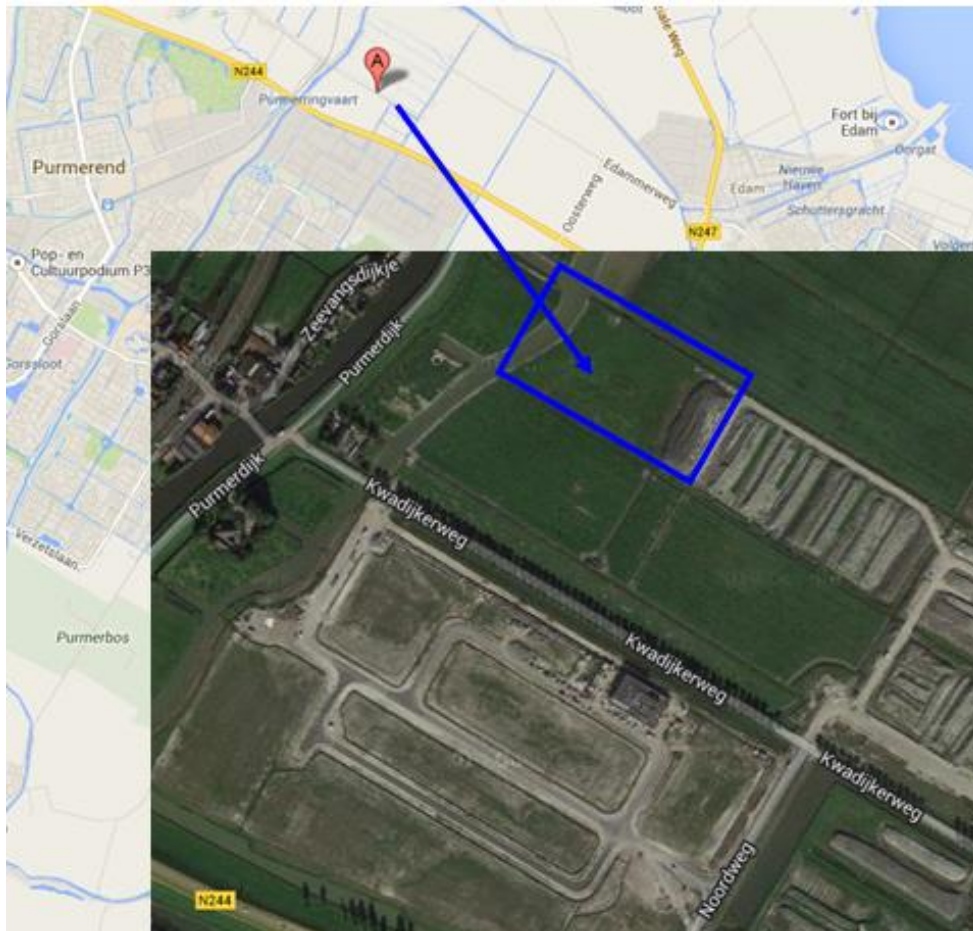


Figuur 1-1: Overzichtssituatie projectlocatie

Proeflocatie Purmerend

Figuur 1-2 geeft de locatie weer van de locatie in Purmerend waar de proeven uitgevoerd zijn. De locatie bevindt zich op bouwland in de gemeente Purmerend. Er is gekozen voor het bouwland in Purmerend als testlocatie voor de voorspanproeven en de monitoring tijdens de monitoringsfase van twee jaar.

De proef in Purmerend is in Q1 van 2020 afgerond. Daarom wordt er geen nieuwe monitoringsdata meer verkregen uit het proefveld van Purmerend. Er is een rapportage over opgesteld met de opbrengsten van de proef [9]. Tevens zijn de resultaten hiervan in de jaarrapportage verwerkt van 2020 [10].



Figuur 1-2: Impressie locatie proeven Purmerend

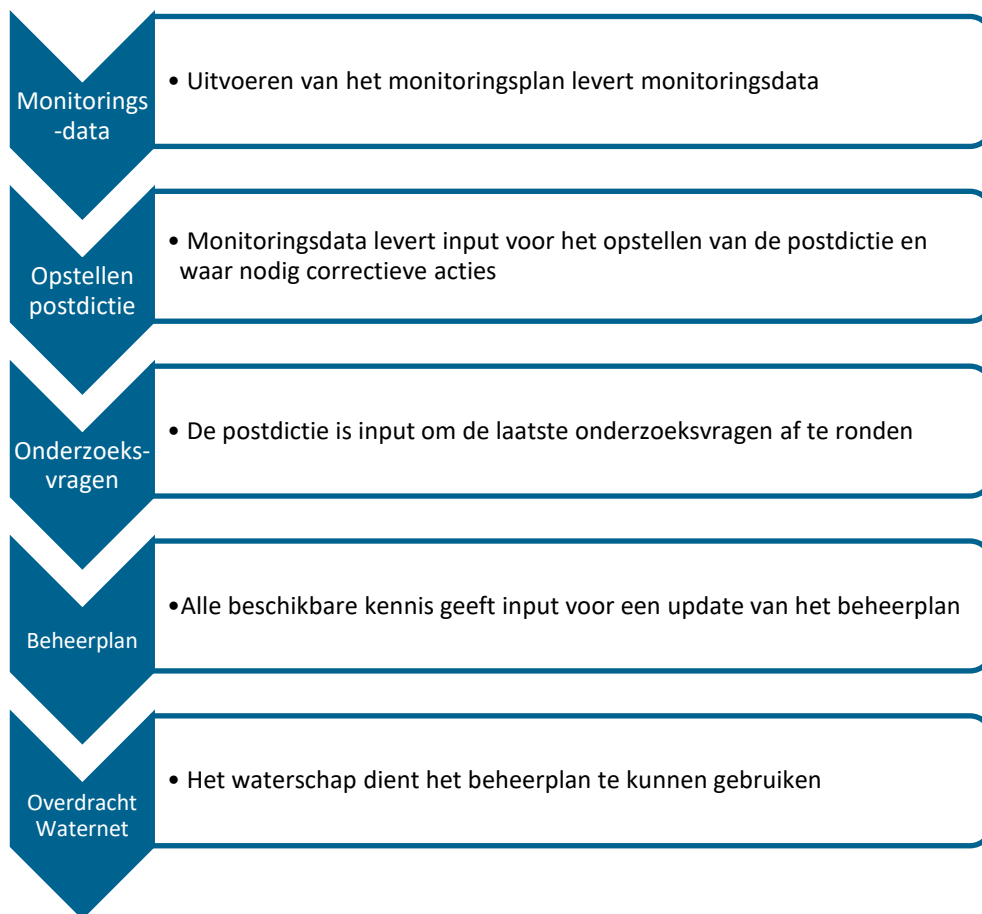
1.5 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 is het proces beschreven met betrekking tot de werkwijze en de doorlopen monitoringsstappen. Hoofdstuk 3 beschrijft de onderzoeksvragen en de koppeling met de monitoringsparameters. Hoofdstuk 4 betreft de beschrijving van de monitoringsdata en een beknopte analyse per parameter voor de locatie Watergraafsmeer te Amsterdam. Hoofdstuk 5 beschrijft ten slotte de analyse van de onderzoeksvragen en mogelijke verbanden tussen verschillende parameters. Hierin is een voorlopig antwoord gegeven van de onderzoeksvragen op basis van de beschikbare data. In hoofdstuk 6 is een toelichting op de financiële verantwoording opgenomen. Tot slot is in hoofdstuk 7 het advies voor de komende periode opgenomen.

2 Proces

2.1 Werkwijze

Om de monitoring gestructureerd te laten verlopen is er een werkplan opgesteld. Het doel van de monitoring is tweeledig, namelijk enerzijds om de benodigde gegevens te verzamelen die nodig zijn om aan het eind van de monitoringsperiode een postdictie uit te kunnen voeren en de onderzoeksvragen aan te vullen. Daarnaast is monitoring van de voorspanning van belang om de veiligheid van de dijk inzichtelijk te houden en eventueel in te kunnen grijpen. Met de, in de postdictie en onderzoeksvragen, opgedane kennis kan aansluitend het beheerplan worden aangescherpt en is een overdracht van het beheerplan naar het waterschap mogelijk. Het werkplan beschrijft per jaar de benodigde werkzaamheden om aan het eind van de monitoringsperiode de juiste gegevens verzameld te hebben voor de postdictie en het beantwoorden/aanvullen van de onderzoeksvragen. In Figuur 2-1 is dit proces schematisch weergegeven.



Figuur 2-1 Koppeling tussen doelen werkplan

2.2 Voortgang

De voorliggende jaarrapportage is de vierde rapportage in de nazorgperiode van 5 jaar. De voorliggende rapportage vormt de basis voor de toekomstige dataverzameling, analyses en postdictie. In dit hoofdstuk is de voortgang bijgehouden ten opzichte van het vooraf opgestelde werkplan. Een beschrijving van de werkzaamheden welke in 2022 waren voorzien en uitgevoerd zijn opgenomen in Tabel 2-1.

Tabel 2-1 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-Ios	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

3 Onderzoeksvragen

Ten behoeve van de kennisontwikkeling van de JLD-Dijkstabilisator zijn op basis van eerder onderzoek en de uitvoering reeds meerdere onderzoeksvragen beantwoord. De monitoring levert nieuwe informatie op die leidt tot verdieping op de al beschikbare kennis. 14 van de 19 onderzoeksvragen zijn reeds beantwoord. Conform het werkplan zijn de volgende 5 onderzoeksvragen beschouwd in relatie tot de gemonitorde data:

- **Nr. 7** Is er een risico op kwel, en daarmee op piping of heave langs het anker door het inbrengen van het anker met de voorloper/drijfstang en hoe groot is dit risico?
- **Nr.8** Wat zijn de effecten van vervormingen door kruip en zettingen, veroorzaakt door kruinophogingen gedurende de levensduur, op de werking van de JLD-Dijkstabilisator?
- **Nr.9a** Bij de toepassing van een JLD-Dijkstabilisator binnen een wortelkruit van bestaande beplanting, kan een grote druk op het wortelstelsel komen, waardoor de beplanting ernstig wordt beschadigd of afsterft. Op welke wijze is dit te voorkomen?
- **Nr.9b** De mogelijkheid bestaat dat op langere termijn er wortels onder de kopplaat gaan groeien, waardoor de werking van de JLD-Dijkstabilisatoren afneemt. Wat is de te verwachten invloed van beplanting op de werking van de JLD-Dijkstabilisator?
- **Nr.11** Kan de waterspanning in de zandlaag van de ringdijk Watergraafsmeer leiden tot kwel en daarmee piping of heave en kan dit een probleem opleveren voor de uitvoerbaarheid?
- **Nr.13** Hoe verloopt de voorspanning van de JLD-Dijkstabilisatoren in de tijd bij een samendrukbare dijk en of samendrukbare ondergrond?

De vragen 7 t/m 9, 11 t/m 13 hebben betrekking op de effectiviteit van de JLD-Dijkstabilisator als dijkversterkingsmethode.

De onderwerpen/ te monitoren parameters komen in de onderzoeksvragen duidelijk naar voren, De koppeling tussen de onderzoeksvragen en de parameters is ter verduidelijking beschreven in hoofdstuk 4 en genoemd in Tabel 3-1.

Naast de onderzoeksvragen is de monitoring van belang voor de postdictie waarin de ontwerpmethodologie aangescherpt kan worden. Tevens geeft het ook aanvullende kennis om het beheerplan waar nodig bij te stellen/aan te passen.

Tabel 3-1: Overzicht monitoring

Parameter	Onderzoeksvragen				
	Vraag 7 (Kwel)	Vraag 8 (invloed vervorming)	Vraag 9 (Beplanting)	Vraag 11 (Piping)	Vraag 13 (Verloop voorspanning)
Veldinspecties	X	X	X	X	X
Deformatie JLD-Dijkstabilisator.		X			
Deformatie kruin (maaiveld)		X			
Deformatie kopplaat		X			
Inspectie beplanting			X		
Piping	X			X	
Voorspanning					X
Neerslag	X	X		X	X
Materiaal degradatie		X			X
Waterspanningen	X	X	X	X	X

4 Monitoringsdata en analyse Watergraafsmeer

In onderstaand hoofdstuk zijn de monitoringsparameters beschreven van Watergraafsmeer. Tevens is een beknopte analyse toegevoegd van de monitoringsdata indien dit van toepassing is. Deze analyse gaat in op het vergelijken van de data en of het gedrag afwijkt van de verwachtingen.

4.1 Veldinspectie

Inspectie Q2 en Q3 2022:

Tijdens de herstelwerkzaamheden, zoals beschreven in paragraaf 1.1, is 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.

Wel is opgemerkt dat de bodem in de loop van Q2 steeds droger werd, het uitsteken van de pluggen was daardoor lastiger. De herstelwerkzaamheden zijn gerapporteerd in 'Rapportage naspan- en herstelwerkzaamheden' [7].

4.2 Deformatie JLD-Dijkstabilisator SAAF

Het doel van het meten van de deformatie van de JLD-Dijkstabilisator (LDE element), door middel van SAAFmetingen, is informatie verkrijgen en verifiëren dat de JLD-Dijkstabilisator op lange termijn, vervormt zoals verwacht wordt. De 1^e meting (0-meting) is uitgevoerd in kwartaal 1 van 2020 (maart). De tweede meting is uitgevoerd in het eerste kwartaal van 2021 (maart 2021). De derde meting is uitgevoerd in het derde kwartaal van 2022 (september).

4.2.1 Meetlocaties

Het betreft punten 2 t/m 6 welke zijn gepresenteerd in Figuur 4-1.



Figuur 4-1: Overzichtssituatie meetlocaties.

4.2.2 Meetperiode

In september 2022 zijn er 5 SAAFmetingen uitgevoerd in 5 raaien in het versterkte dijktraject. Dit betreft raai 2 tot en met 6 in Figuur 4-1.

4.2.3 Apparatuur

De vervorming is gemeten met een inclinometer.

4.2.4 Bijzonderheden

Tijdens de meting zijn er geen bijzonderheden waargenomen.

4.2.5 Data

Hieronder is de conclusie van de data beknopt weergegeven. In de rapportage 'Monitoringsrapportage deformatie LDE' is dit uitgebreider beschreven [11]. Tevens is het deformatierapport toegevoegd in bijlage 5. De meting in 2020 betreft de nulmeting en de meting in 2021 is de eerste herhalingsmeting. De meting in 2022 betreft de tweede herhalingsmeting.

Er kan de conclusie getrokken worden dat de LDE's nog steeds vervormen. Het vervormingsgedrag uit 2020 en 2021 heeft zich grotendeels voortgezet en is lokaal iets toegenomen, conform de verwachting.

Vervolg

De pilotfase komt ten einde en daarmee ook de SAAF metingen.

4.3 Deformatie kruin

In deze paragraaf zijn de metingen van de dwarsprofielen en het langspiegel beschreven. In de bijlage 1 is het deformatierapport toegevoegd met betrekking tot de metingen op het maaiveld en de kopplaten, hierin zijn de profielen op volledige grootte weergegeven.

4.3.1 Meetlocaties

Het betreft twee dwarsprofielen op de onversterkte dijk zonder JLD-Dijkstabilisator (één aan weerszijde van het projectgebied) en vijf dwarsprofielen ter plaatse van de versterkte dijk. Daarnaast is een langspiegel ingemeten over de gehele versterkte dijk. In

Tabel 4-1 zijn de dwarsprofiel nummers weergegeven. De locatie van de dwarsprofielen is weergegeven in Figuur 4-1.

Tabel 4-1: Overzicht ingemeten dwarsprofielen, herhalingsmeting

Raai Nr.	Versterkte / onversterkte dijk
1	Onversterkt
2	Versterkt
3	Versterkt

Raai Nr.	Versterkte / onversterkte dijk
4	Versterkt
5	Versterkt
6	Versterkt
7	Onversterkt

4.3.2 Meetperiode

De meting in 2018 is de 0-meting. Het jaar 2019 betreft de eerste herhalingsmeting, 2020 de tweede, 2021 de derde en 2022 de vierde herhalingsmeting. De meting in 2022 is uitgevoerd op 1, 2 en 3 maart.

4.3.3 Apparatuur

Meetinstrumentarium, meetnauwkeurigheid en meetmethodiek

Voor de inmeting van de dwarsprofielen is gebruik gemaakt van GPS. De meetnauwkeurigheid van de apparatuur is 0,02 m.

Meetnauwkeurigheid Lengteprofiel

Voor de inmeting van het lengteprofiel is gebruik gemaakt van GPS. De meetnauwkeurigheid van de apparatuur is 0,02 m.

Nadere detail omtrent de meetnauwkeurigheid is beschreven in de rapportage: 'Monitoringsrapportage deformatie maaiveld en kopplaten' [12].

4.3.4 Bijzonderheden

Tijdens de meting zijn er geen bijzonderheden waargenomen. Wat wel opvalt in de metingen is de geringe daling of stijging van het maaiveld wat ook binnen de meetnauwkeurigheid kan vallen. Deze meetwaarden zijn wel opgenomen in de tabel, omdat bijvoorbeeld herhaaldelijk 0,02 m daling wel duidt op een daling van het meetpunt gedurende de jaren. De data is opgenomen in de volgende paragraaf. Deze meetwaarden zijn wel opgenomen, omdat

4.3.5 Data

In onderstaande tabel is de vergelijking tussen de verschillende metingen opgenomen.

Tabel 4-2: Analyse tussen de metingen.

Nr.	DP nr.	Versterkte / onversterkte dijk	Vergelijking 0 meting (2018) en 1 ^e herhalingsmeting (2019)	Vergelijking tussen 1 ^e herhalingsmeting (2019) en 2 ^e herhalingsmeting (2020)	Vergelijking tussen 2 ^e herhalingsmeting (2020) en 3 ^e herhalingsmeting (2021)	Vergelijking tussen 3 ^e herhalingsmeting (2021) en 4 ^e herhalingsmeting (2022)
1	DP 1-2	Onversterkt	Geen bijzonderheden, kruin is ca. 1 tot 2 cm lager	Geen bijzonderheden, kruin is circa 1 a 2 cm hoger	Geen, bijzonderheden. Stijging kruin zet door, dit jaar stijgt deze 0,05 meter	De meetpunten laten een uniforme daling zien van 0,02* meter ten opzichte van 2021. De punten zijn nog wel hoger dan de 0-meting .
2	DP 3-4	Versterkt	Het profiel is 33 cm lager na de eerste 4 inmetingen in het dwarsprofiel, dus de keermuur ligt op dezelfde hoogte, maar het binnentalud en de kruin zijn 33 cm lager.	Tussen 2019 en 2020 zijn de verschillen minimaal. De kruin is even hoog, het talud is in 2020 lokaal enkele centimeters hoger.	Hoogste punt neemt iets toe met 0,02 meter, de overige punten stijgen licht.	Het hoogste punt is 0,02* meter gezakt (gelijk aan meetnauwkeurigheid). De punten zijn nog wel hoger dan de 0-meting.
3	DP 31-32	Versterkt	Geen vergelijking	Geen bijzonderheden, kruin is circa 2 a 3 cm hoger	De stijging van de kruin zet door en is 0,02 meter gestegen. Overige punten binnen meettolerantie.	Kruin is gezakt met 0,02* meter.
4	DP 13-14	Versterkt	Stijging op de kruin van ca. 2 cm en op het binnentalud ca. 4 tot 10 cm	Het talud is iets hol komen te liggen. Het verschil met 2019 is enkele centimeters. Het talud is daarmee weer overeenkomstig met 2018.	De meetpunten stijgen allen enkele centimeters. Hiermee zitten de waarden weer rond resultaten van 2019.	De meetpunten laten een daling zien van circa 0,02* meter ten opzichte van 2021.
5	DP 15-16	Versterkt	Geen vergelijking	Het hoogste punt is iets verplaatst in de richting van de binnenkruinlijn, en is enkele centimeters lager dan het jaar ervoor. Het talud is lokaal enkele centimeters gezakt.	Geen bijzonderheden.	De hoogte van de as van de weg is in de meting 0,07 meter hoger dan het jaar ervoor.
6	DP 19-20	Versterkt	Stijging op de kruin van ca. 2 cm en op het beneden binnentalud ca. 7 cm. Op het boven binnentalud is een daling waarneembaar van ca 5 cm	Het gehele profiel is uniform circa 2 cm gezakt	Stabilisator B043 zakt 0,08 meter. Het hoogteprofiel laat een stijging zien, waarbij het hoogste punt 0,05 m stijgt.	De hoogte van de as van de weg is in de meting 0,05 meter hoger dan het jaar ervoor.
7	DP 21-22	Onversterkt	Stijging van ca. 3 tot 6 cm over het gehele profiel	Het gehele profiel is uniform circa 2 cm gezakt	Het gehele profiel is licht gestegen, gemiddeld 0,03 m.	Enkel de as van de weg is 0,02* meter gedaald.
8	Langs-profiel	n.v.t.	Er is nog geen 1 op 1 vergelijking mogelijk. Een periodieke kademeting is uitgevoerd als 0-meting, echter in de revisie is een DTM meting uitgevoerd.	Het dwarsprofiel is gemeten langs dezelfde lijn als in 2017. De hoogte langs de gemeten lijn varieert tussen circa NAP -0,15 m en circa NAP +0,35 m. In de gemeten dwarsprofielen is te zien dat het hoogste punt van het dijkprofiel varieert tussen NAP +0,10 m en NAP +0,30 m.	De hoogte van de dijk is nagenoeg gelijk. In de gemeten dwarsprofielen is te zien dat het hoogste punt van het dijkprofiel varieert tussen NAP +0,13 m en NAP +0,31 m.	Het langsprofiel is gemeten in twee lijnen. De hoogte van de gemeten profielen varieert tussen NAP -0,38 en NAP +0,33. In de gemeten dwarsprofielen is te zien dat het hoogste punt van het dijkprofiel varieert tussen NAP +0,13 m en NAP +0,31 m.

* let op, de meetnauwkeurigheid is 0,02m. verschillen van 0,02 m en zeggen daardoor niet altijd iets over de daadwerkelijke verandering. Deze meetwaarden zijn wel opgenomen, omdat bijvoorbeeld herhaaldelijk 0,02 m daling wel duidt op een daling van het meetpunt.

Het verschil tussen de 0-meting en de herhalingsmeting in 2019 toonde op bepaalde locaties een stijging van het maaiveld. De hypothese was dat dit mogelijk door een herprofilering van de waterkering is veroorzaakt. De herhalingsmeting in 2020 lijkt dit te bevestigen, omdat alle profielen gezakt zijn. Nagenoeg alle profielen stijgen licht, dit betreft een stijging in de orde grootte van 0,05 cm. Daarmee is dit nagenoeg gelijk aan de meting van 2020.

Op één locatie (DP 3-4) is een daling van ca. 33 cm over de kruin en het binnentalud te zien in de meetresultaten tussen de 0-meting en de herhalingsmeting in 2019. Het betreft het eerste profiel van de versterkte kant ter hoogte van de appartementsgebouwen. De oorzaak is naar verwachting een meetfout in het dwarsprofiel. De meting in 2020 toont namelijk nauwelijks verschillen met de meting in 2019. In 2021 is een lichte stijging waargenomen zoals eerder beschreven, dit geldt ook voor de herhalingsmeting in 2022. Daarmee lijkt het bevestigd te worden dat de meting in 2019 een meetfout bevat. De dwarsprofielen zijn in bijlage 1 weergegeven.

Wat opvalt in de resultaten van 2021 is dat alle profielen gemiddeld een stijging van het niveau laten zien. Waar in 2020 deze profielen een daling lieten zien, daar lieten ze in 2021 een stijging zien. Alle profielen laten een stijging zien in 2021 van het hoogste punt en de waterkant, van 0,01 m tot 0,05 m (let op, de meetnauwkeurigheid is 0,02 m, de stijging valt soms dus binnen de meetnauwkeurigheid). Het talud en de weg blijven op nagenoeg dezelfde hoogte of stijgen licht in de profielen 1 t/m 3 en 5. Het talud en de weg stijgen in de profielen 4, 6 en 7 met een gemiddelde stijging van 0,03 m. Een verklaring voor de stijging is uit de data niet direct af te leiden, maar wel is duidelijk dat de daling van 2020 niet is doorgezet en juist weer een stijging is te zien.

De meetresultaten uit 2022 laten geen bijzonderheden zien. De profielen 1 t/m 4 laten in 2022 gemiddeld een lichte daling van het niveau laten zien. Waar in 2021 deze profielen een stijging lieten zien. De weg blijft op nagenoeg dezelfde hoogte of is licht gedaald. De weg stijgt in de profielen 4, 5 en 6 met een gemiddelde stijging van 0,05 m. De hoogte van de as van de weg is door deze 'stijging' weer hetzelfde als in 2019.

De deformaties zijn orde grootte gelijk aan de meetnauwkeurigheid. Daarmee kan geconcludeerd worden dat er nauwelijks deformaties zijn opgetreden.

4.4 Verplaatsing kopplaten

De kopplaten zijn op vijf locaties ingemeten op 1, 2 en 3 maart 2022. Op dezelfde locaties als de dwarsprofielmetingen en de SAAF metingen, zie Figuur 4-1. Het betreft hier raai 2 tot en met 5 welke zijn ingemeten. De meting in 2020 is de 0-meting. Het jaar 2021 betreft de eerste herhalingsmeting, 2021 de tweede en 2022 de derde herhalingsmeting. In bijlage 1 is het deformatierapport toegevoegd met betrekking tot de metingen op het maaiveld en de kopplaten.

4.4.1 Meetlocaties

De kopplaten zijn ingemeten door middel van een meetpunt op de bovenkant van de bus. Het betreft de locaties waar ook de dwarsprofielen worden ingemeten. Zie Figuur 4-1 voor de locaties.

4.4.2 Meetperiode

De meting is uitgevoerd op 1, 2 en 3 maart 2022.

4.4.3 Apparatuur

Om de verplaatsing van de kopplaat te monitoren is de bovenkant van de mantelbuis (de pot) ingemeten. Het meetpunt is het midden van de rand van de pot.



Figuur 4-2 Foto's meetopstelling (links) en de locatie van het meetpunt, zichtbaar door de rode licht van de laser (rechts)

Voor de **XYZ-meting** is gebruik gemaakt van een tachymeter van het merk Leica, type TCRP1201+:

- | | |
|--|------------------|
| - standaardafwijking (vast) horizontale rand | : 0.0003 gon |
| - standaardafwijking (vast) verticale rand | : 0.0003 gon |
| - standaardafwijking (var.) horizontale rand | : 0.00003 gon*km |
| - standaardafwijking (var.) verticale rand | : 0.00003 gon*km |
| - standaardafwijking afstandmeting | : 1 mm + 1,5 ppm |

4.4.4 Bijzonderheden

Tijdens de meting zijn er geen bijzonderheden waargenomen.

4.4.5 Data

In onderstaande tabel is het overzicht opgenomen van de gemeten kopplaten.

Tabel 4-3 Locatiegegevens midden wanddikte pot (hoogste punt)

Raai	Stabilisator	X-coördinaat	y-coördinaat	Z in 2020 [m t.o.v. NAP]	Z in 2021 [m t.o.v. NAP]	Z in 2022 [m t.o.v. NAP]
2	A483	123157.253	484919.487	-1,941	-1,941	-1,961
3	A317	123341.277	485052.076	-2,433	-2,430	-2,451
4	B133	123419.971	485110.994	-2,081	-2,082	-2,095
5	B101	123459.696	485139.732	-2,124	-2,139	-2,130
5	A184	123460.495	485138.527	-2,632	-2,638	-2,627
6	B043	123538.746	485197.334	-2,043	-2,127	-2,121
6	A094	123539.595	485196.246	-2,575	-2,581	-2,569

De kopplaten zijn in deze meting voor de 3^e maal gemeten. De kopplaten in profielen 2, 3 en 4 zijn gedaald met gemiddeld 0,018 meter. De kopplaten in raai 5 en 6 zijn gestegen, gemiddeld met 0,0095 meter. Daarmee zijn de dalingen die in 2021 zijn gemeten in de kopplaten in raai 5 en 6 niet doorgezet.

De pilotfase komt ten einde en daarmee ook de periodieke deformatiemetingen van de kopplaten.

4.5 Bepanting

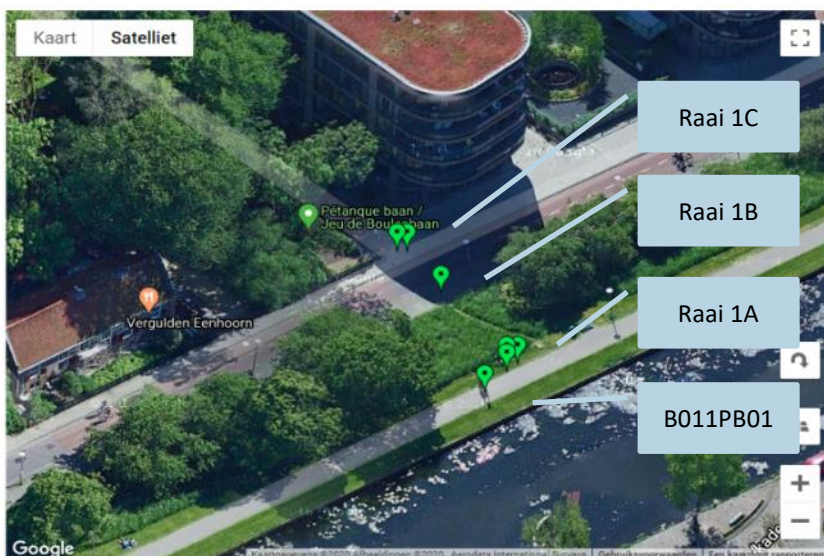
De inspectie naar bomen is afgerond in 2020 waarvoor opnieuw een Visual Tree Assessment (VTA) uitgevoerd is. Dit is beschreven in de jaarrapportage van 2020 [10].

4.6 Piping en kwel

Onderstaande paragraaf beschrijft het onderzoek naar piping en kwel door middel van een peilbuis analyse.

4.6.1 Meetlocaties

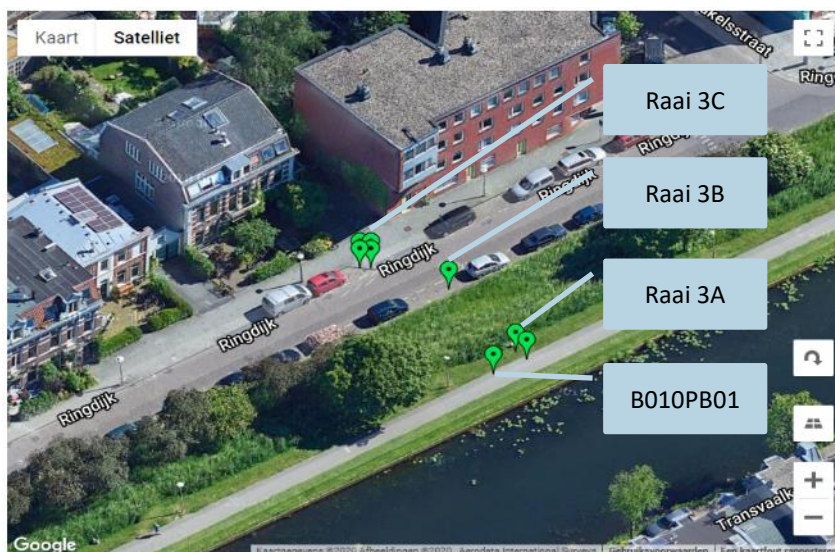
De locaties van de waterspanningsmeters en peilbuizen zijn opgenomen in Figuur 4-4 tot en met Figuur 4-5. Tevens is een overzicht van de peilbuizen en waterspanningsmeters weergegeven in Tabel 4-4.



Figuur 4-4 Overzicht locatie peilbuizen en waterspanningsmeters raai 1



Figuur 4-3 Overzicht locatie peilbuizen en waterspanningsmeters raai 2



Figuur 4-5: Overzicht locatie peilbuizen en waterspanningsmeters raai 3

In Tabel 4-4 is een overzicht opgenomen van de verschillende waterspanningsmeters met de bijbehorende diepteligging en X,Y coördinaten.

Tabel 4-4: overzicht bestaande peilbuizen, dikgedrukt de peilbuizen die nog werkend zijn (status jan 2023)

Raai	Locatie	X' [m]	Y' [m]	MV- hoogte [m NAP]	Diepte WSM [m NAP]	Grondsoort	WSM
1	A-1	123156	484929	0,24	-2,36	Veen	WSM001
1	A-2	123156	484929	0,21	-5,39	Veen	WSM002
1	A-3	123157	484930	0,21	-7,89	Wadzand	WSM003
1	A-4	123157	484929	0,19	-9,91	Wadzand	WSM004
1	B-1	123163	484919	-2,61	-8,01	Wadzand	WSM005
1	C-1	123166	484913	-2,82	-5,32	Veen	WSM006
1	C-2	123167	484913	-2,82	-7,82	Veen	WSM007
1	C-3	123167	484913	-2,81	-9,81	Wadzand	WSM008
1	C-4	123167	484913	-2,81	-12,55	Pleistocene zand	WSM009
2	A-1	123371	485085	0,28	-2,54	Veen	WSM010
2	A-2	123371	485085	0,30	-5,52	Veen	WSM011
2	A-3	123371	485085	0,28	-8,04	Wadzand	WSM012
2	A-4	123371	485085	0,31	-9,97	Wadzand	WSM013
2	B-1	123377	485077	-2,42	-7,44	Wadzand	WSM014
2	C-1	123380	485072	-3,22	-5,50	Veen	WSM015
2	C-2	123380	485072	-3,22	-8,00	Wadzand	WSM016
2	C-3	123380	485071	-3,22	-10,00	Wadzand	WSM017
2	C-4	123381	485072	-3,22	-12,56	Pleistocene zand	WSM018
3	A-1	123569	485228	0,31	-2,50	Veen	WSM019
3	A-2	123569	485229	0,31	-5,50	Veen	WSM020
3	A-3	123568	485229	0,32	-8,00	Wadzand	WSM021
3	A-4	123568	485228	0,33	-10,00	Wadzand	WSM022
3	A-5	123569	123568	0,31	-13,00	Pleistocene zand	WSM023
3	B-1	123575	485219	-2,80	-8,00	Wadzand	WSM024
3	C-1	123583	485215	-3,15	-5,50	Veen	WSM025
3	C-2	123582	485216	-3,16	-8,00	Wadzand	WSM026
3	C-3	123582	485215	-3,15	-10,00	Wadzand	WSM027
3	C-4	123583	485216	-3,17	-13,00	Pleistocene zand	WSM028

4.6.2 Meetperiode

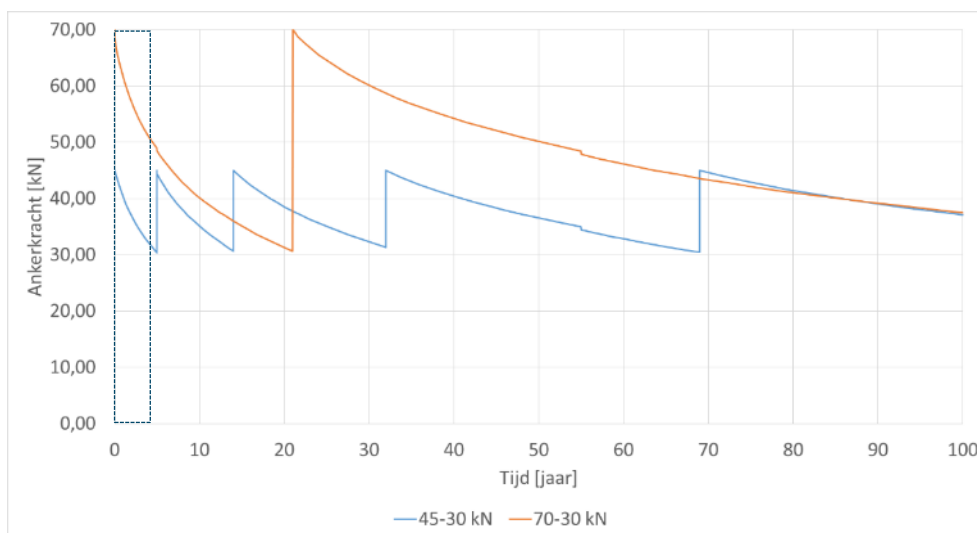
De meetgegevens omvatten de periode 01-01-2022 tot 01-01-2023.

4.6.3 Apparatuur

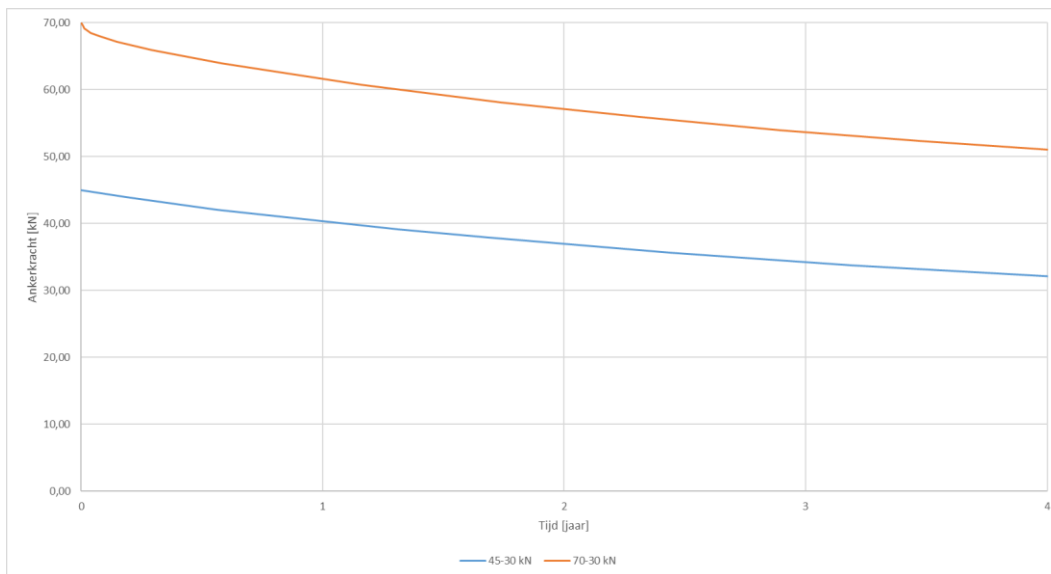
Analoge waterspanningsmeters type 21Y met een meetbereik van 200 kPa van Geopoint systems BV. De data wordt met een vaste kabel van de waterspanningsmeter naar de sensor op een loggerkast verstuurd. (type: één-kanaalslogger van Geopoint). Vanuit de loggerkast worden de gegevens dagelijks naar een online server verstuurd.

4.7 Voorspanning

In het ontwerp van de dijkversterking van de Ringdijk is een predictie opgesteld van het verloop van de voorspanning. Deze predictie is opgenomen in Figuur 4-6 en Figuur 4-7. In het revisieontwerp is onderscheid gemaakt tussen stabilisatoren die op circa 70 kN zijn voorgespannen en stabilisatoren die op circa 45 kN zijn voorgespannen.



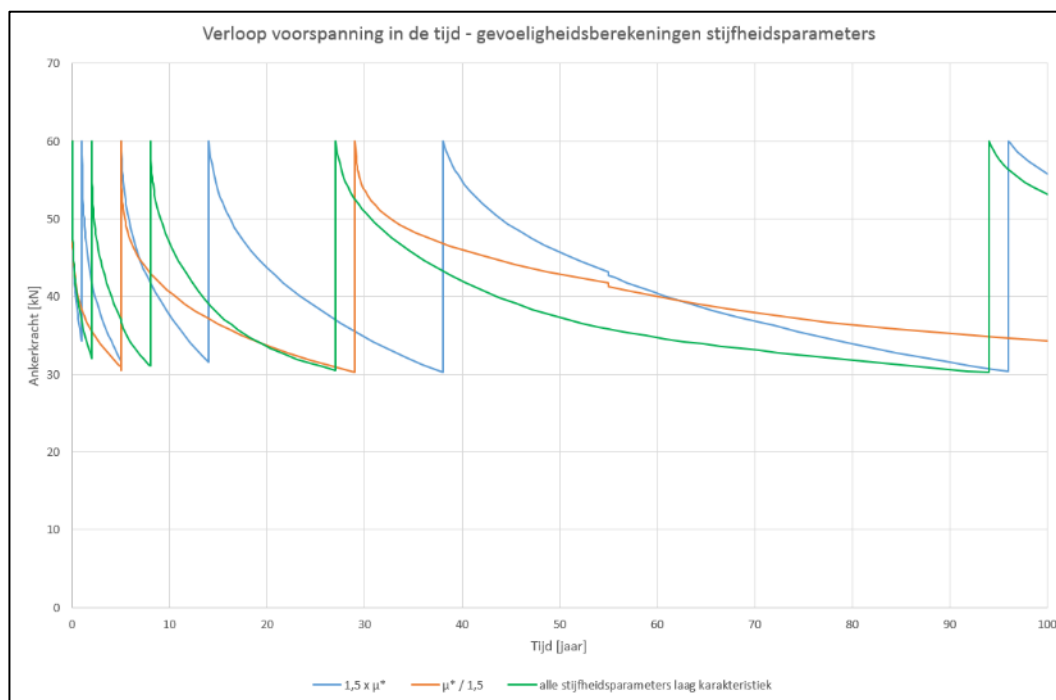
Figuur 4-6 Predictie verloop gemiddelde voorspanning planperiode



Figuur 4-7 Predictie verloop voorspanning jaar 1t/m 3 (uitsnede uit bovenstaande grafiek).

Naast de gemiddelde afname is in 2019 ook een gevoeligheidsberekening uitgevoerd van de kruipparameter op het verloop van de voorspanning.

Hieruit is geconcludeerd dat het waarschijnlijk is dat de ondergrens van 30 kN voor het eerst wordt bereikt na 1 tot 5 jaar.



Figuur 4-8 Verloop van de voorspanning in de tijd voor de gevoeligheidsberekeningen op de kruipparameter in SSC op basis van de DO berekeningen.

4.7.1 Meetlocaties

Elke JLD-Dijkstabilisator is voorzien van een druksensor om de voorspanning te meten. Er zijn in totaal 647 stabilisatoren waarvan 608 met meetdata van de voorspanning en 39 zonder (meetdata van de)voorspanning. Van de 608 zijn er 538 online en 70 offline. Ten behoeve van de volledige analyse is enkel het spanningsverloop van de 538 op dit moment zendende stabilisatoren beschouwd. De percentages die bepaald zijn in onderliggende analyse zijn dus gebaseerd op een totale hoeveelheid van 538 stabilisatoren. In bijlage 3 is het spanningsverloop opgenomen van alle stabilisatoren.

4.7.2 Meetperiode

De meetgegevens omvatten het gehele jaar 2022. Aangezien in 2022 herstelwerkzaamheden zijn uitgevoerd is de analyse uitgevoerd op Q4 van 2022 en een deel van Q1 van 2023, dus vanaf 1-10-2022 tot en met het ophalen van de data op 22-02-2023. De definitie van online en offline nodes is gesteld als volgt: data verzonden vanaf 1 november 2022, dan is de stabilisator online. Laatste data verzending voor 1 november 2022, dan is de stabilisator offline.

4.7.3 Apparatuur

De spanning is gemeten met de ingebouwde druksensor.

4.7.4 Bijzonderheden

4.7.4.1 Data verzending

Alle dijkstabilisatoren zijn voorzien van een sensor die de voorspanning op het systeem meet. Een groot deel van de sensoren verzond geen data begin 2022. In 2022 zijn herstelwerkzaamheden uitgevoerd om de nodes die offline waren weer te activeren. Momenteel zend circa 88,5%¹ van de sensoren vanaf de herstelwerkzaamheden tot heden data.

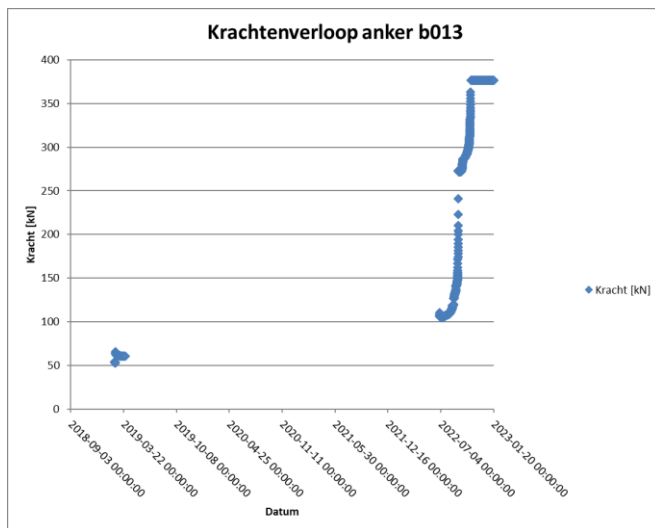
Er zenden voldoende stabilisatoren (en deze zijn ook voldoende verspreid over de dijk) om een representatief beeld te hebben van het verloop van de voorspanning over de gehele dijk. De drukcellen die wel data verzenden, geven voor het grootste deel ook betrouwbare resultaten. Er zijn er een paar die onrealistische waarden geven.

4.7.4.2 Meetbereik

In de maandelijkse analyse van de voorspanning is te zien dat er ankers zijn met een extreem hoge voorspanning (>100.000N). Dit betreft 8 stabilisatoren (A151, A214, A291, A331, A353, A365, B013 en B067), met een voorspanning variërend tussen ca. 101 kN en een extreem hoge voorspanning van ca. 227 kN. Evenals de hoge voorspanningen worden er ook negatieve voorspanningen weergegeven. Dit betreft 16 stabilisatoren, (A016, A037, A083, A147, A158, A204, A306, A312, A357, A364, A403, A408, B008, B043, B126 en B137). Dit zijn geen realistische waarden. De weergegeven voorspanning wijkt af van de daadwerkelijk aanwezige voorspanning. De oorzaak is naar verwachting een combinatie tussen hoger voorspanning en een defect in (de

¹ Dit betreft 538 ankers die online zijn van de 608 niet defecte stabilisatoren. Oorspronkelijk zijn er 647 aangebracht, waarvan 39 stabilisatoren defect zijn. Onder andere door 10 defecte ankerstangen, 18 stabilisatoren niet naspanbaar door defect uiteinde trekstang en 11 stabilisatoren niet naspanbaar door een moer die vast zit.

bekabeling van) de loadcell. In de analyse zijn dergelijke waardes meegenomen en gemarkeerd, als: niet realistisch of buiten meetbereik, zie Figuur 4-10 t/m Figuur 4-12. Ter illustratie is in onderstaand figuur het krachtverloop van anker B013 weergegeven, die opgelopen is tot een extreem hoge voorspanning na de herstelwerkzaamheden.



Figuur 4-9 Illustratie weergave krachtverloop buiten meetbereik drukcel .

4.7.5 Analyse data

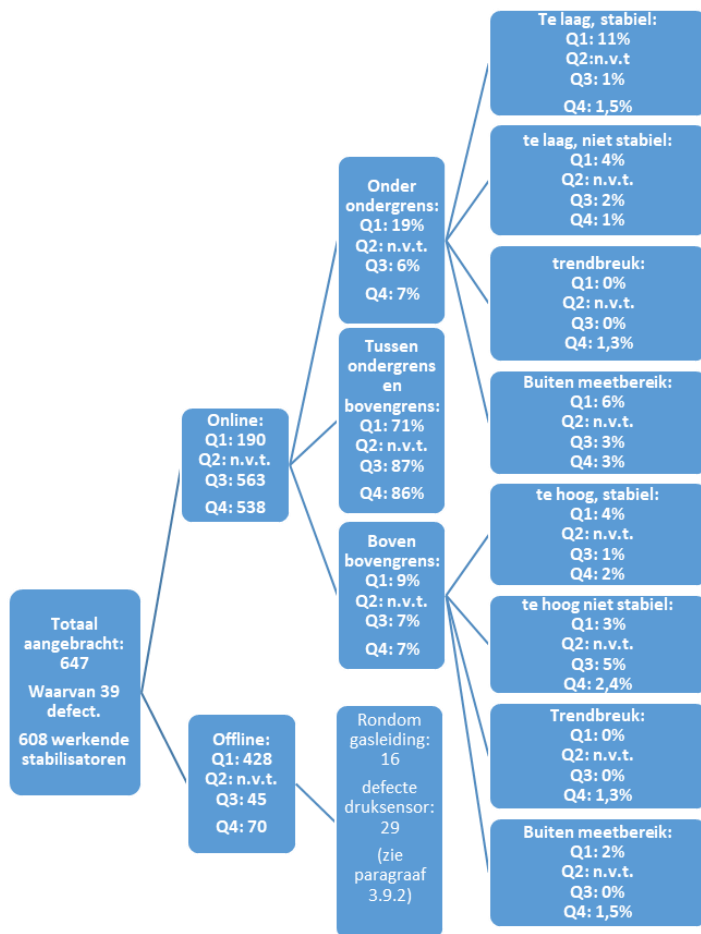
4.7.5.1 Algemeen

In Figuur 4-11 is de vergelijking opgenomen van de voorspanning over 2022 Q4 en een del van Q1 2023. In Figuur 4-12 is de procentuele toename en afname opgenomen. Hieruit blijkt dat de spanningstoename/afname per stabilisator divers is.

Het overgrote deel van de online stabilisatoren (86% van de 538 online nodes) heeft nog een voorspanning binnen het vooraf opgegeven ondergrens (30kN) en de bovengrens (70kN). De online stabilisatoren met een te lage voorspanning (37 stuks) of een te hoge (39 stuks) voorspanning zijn in de hier op volgende paragraaf nader beschouwd. In de huidige analyse is de spanning op 1 oktober 2022 vergeleken met de spanning op 22 februari 2023. Uit de meetdata volgt:

- 47,2% (260 stuks van de 538) heeft een toename
- 31,6% (170 stuks van de 538) hebben een afname tussen de 0 en 10%
- 15,6% (84 stuks van de 538) hebben een afname groter dan 10%
- 4,5% (24 stuks van de 538) hebben een niet realistische waarde.

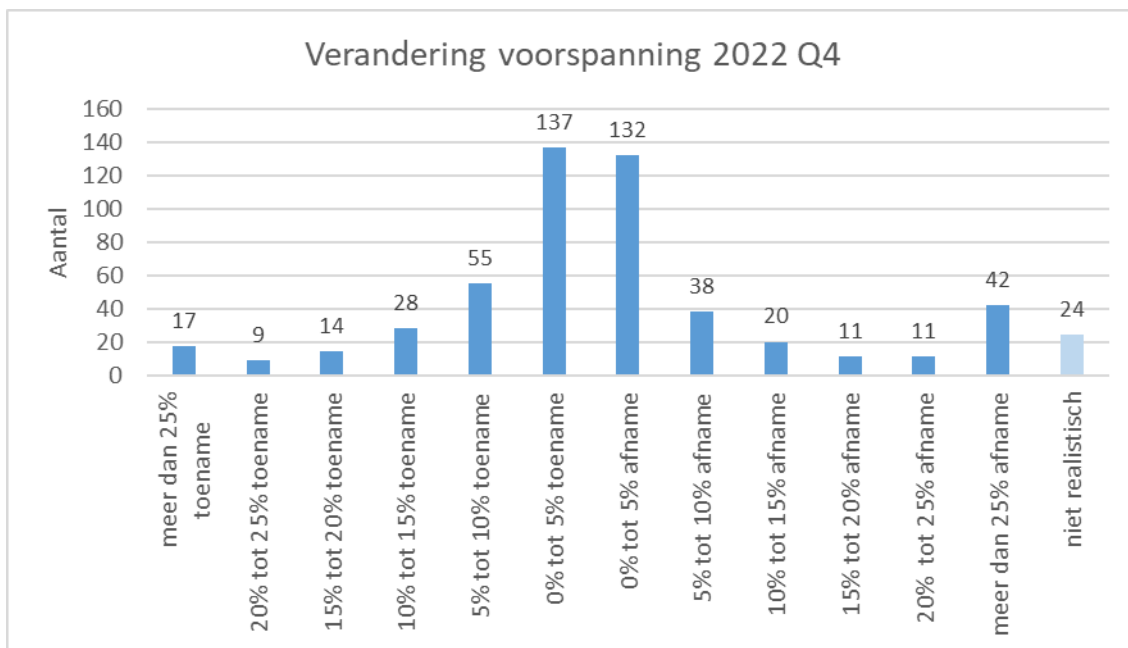
Uit de data volgt dat 7,1% een afname heeft rondom de voorspelde waarde (5 tot 10% afname). 24,5% heeft een kleinere afname dan voorspeld (0 tot 5% afname) en 10,2% heeft zelfs een kleine toename in 2022 Q4 (5 tot 10% toename), 15,6% heeft een grotere afname dan voorspeld (afname groter dan 10%). 4,5% laat onrealistische meetwaarde zien.



Figuur 4-10 Overzicht voorspanning eind 2022



Figuur 4-11 Vergelijking voorspanning tussen 1 oktober 2022 en 22 februari 2023



Figuur 4-12 procentuele verandering voorspanning, tussen 1 oktober 2022 en 22 februari 2023

4.7.5.2 Voorspanning onder ondergrens

Er zijn 36 stabilisatoren² (van de 538) waarbij de gemeten voorspanning lager is dan de ondergrens (30 kN). Conform het beheer- en onderhoudsplan [13] dient bij een te lage voorspanning van enkele stabilisatoren de gemiddelde voorspanning over een traject van 30 meter gecontroleerd te worden. Als hier uit volgt dat de gemiddelde voorspanning lager is dan 30 kN dan dienen de stabilisatoren nagespannen te worden. Als de gemiddelde voorspanning hoger is dan 30kN, maar lager dan 35 kN, dan dient het naspinnen ingepland te worden zodat deze niet onder de 30 kN zakt.

Uit de analyse volgt dat de gemiddelde³ voorspanning op alle plaatsen boven de 35 kN zit. In Figuur 4-13 is de gemiddelde voorspanning weergegeven.

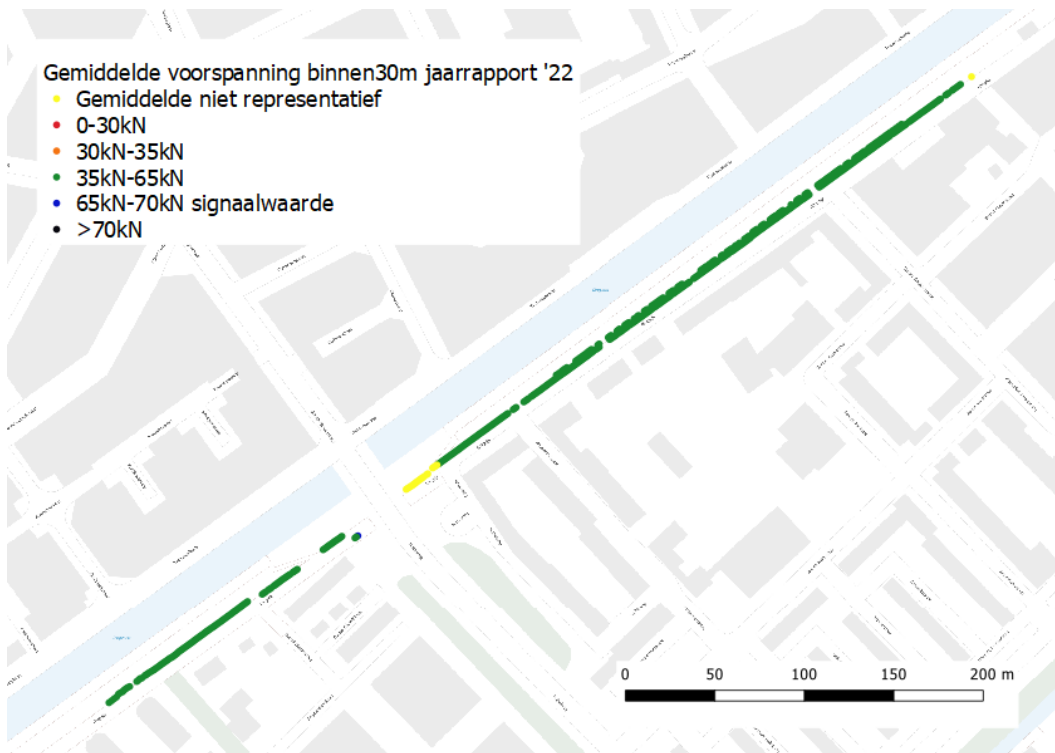
Er zijn twee zones waarbij er niet voldoende nodes online zijn om een realistisch gemiddelde te bepalen, deze zones zijn geel gemarkeerd in de afbeelding. Eén zone betreft de JLD-Dijkstabilisatoren die niet meegenomen zijn in de herstelwerkzaamheden vanwege de aanwezigheid van een gasleiding. De andere 'zone' betreft anker A002, helemaal ten noordoosten van het projectgebied. Dit is het eerste anker, welke op een grotere afstand staat van de overige ankers. Daarnaast bevatten enkele ankers geen voorspanning, waardoor A002 niet genoeg data bevat binnen een straal van 30 m.

Bij de stabilisatoren die een te lage voorspanning hebben zijn 4 categorieën waarneembaar:

1. Er zijn 8 stabilisatoren waarbij de voorspanning onder de ondergrens van 30kN is gedaald die nu een stabiele waarde hebben.
2. Er zijn 5 stabilisatoren die niet stabiel zijn, ofwel de stabilisatoren laten weer een stijging zien (3 stabilisatoren) ofwel een daling (2 stabilisatoren).
3. Er zijn 7 stabilisatoren met trendbreuk.
4. Er zijn 16 stabilisatoren die een meetwaarde laten zien dat buiten het meetbereik van de drukcel valt.

² Van de stabilisatoren met een realistische voorspanning

³ De analyse van de gemiddelde voorspanning is uitgevoerd op de stabilisatoren waarvan recentelijk meetgegevens zijn ontvangen. stabilisatoren met een onrealistische voorspanning (<0,0 kN en >100 kN) zijn op 0 kN gezet. De verwachting is dat deze stabilisatoren echter nog wel werken.



Figuur 4-13 Overzicht categorie gemiddelde voorspanning rondom elke JLD-Dijkstabilisator binnen een straal van 15 m

4.7.5.3 Voorspanning boven bovengrens

Er zijn 16 stabilisatoren (van de 538) waarbij de gemeten voorspanning hoger is dan de bovengrens (70 kN). Binnen deze set zijn 4 categorieën waarneembaar.

1. Er zijn 11 stabilisatoren waarbij de voorspanning boven de bovengrens van 70kN is gestegen die nu een stabiele waarde hebben.
2. Er zijn 13 stabilisatoren die niet stabiel zijn, ofwel de stabilisatoren laten een stijging zien (5 stabilisatoren) ofwel een daling (8 stabilisatoren).
3. Er zijn 7 stabilisatoren die een trendbreuk laten zien.
4. Er zijn 8 stabilisatoren die een meetwaarde laten zien dat buiten het meetbereik van de drukcel valt.

4.7.6 Bijzonderheden

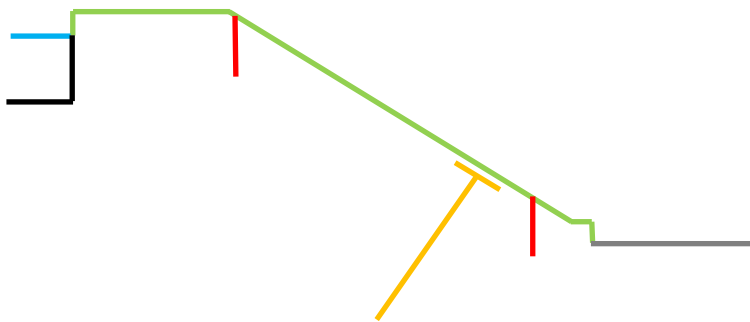
In september 2018, maart 2020, januari 2021 en januari 2022 en januari 2023 is de status van de peilbuizen gecontroleerd, de status is tevens in Tabel 4-4 opgenomen. Een aantal waterspanningsmeters zijn niet meer betrouwbaar en uitgesloten van het onderzoek. Er zijn eind 2020 nieuwe peilbuizen geplaatst. In Figuur 4-14 is een illustratie opgenomen van de locatie van de nieuwe peilbuisraaien.



Figuur 4-14 Illustratie locatie nieuwe peilbuisraaien

De peilbuizen staan in de binnenteen (beneden de kopplaat) en één peilbuis ter hoogte van de buitenkruinlijn. De peilbuizen zijn geplaatst op een diepte van circa MV -1,5 m, hierdoor wordt de freatische lijn inzichtelijk van de dijk. De drie raaien zijn verspreid over het projectgebied uitgezet, nabij de huidige raaien. In Tabel 4-5 is een overzicht gegeven van de nieuwe peilbuizen.

Het betreft doorgaande metingen die dagelijks uitgevoerd worden over een periode van vijf jaar.



Figuur 4-15: Schets dwarsprofiel van de locatie peilbuizen (rood), JLD-dijkstabilisator (oranje)

Tabel 4-5: Nieuwe peilbuizen/waterspanningsmeters

Nabij raai	Locatie	X' [m]*	Y' [m]*	Diepte WSM [m MV]	WSM**	Status
1	Binnenteen	n.t.b.	n.t.b.	-1,5	n.t.b.	Geplaatst, nog inmeten
1	Buitenkruinlijn	n.t.b.	n.t.b.	-1,5	n.t.b.	Geplaatst, nog inmeten
2	Binnenteen	n.t.b.	n.t.b.	-1,5	n.t.b.	Geplaatst, nog inmeten
2	Buitenkruinlijn	n.t.b.	n.t.b.	-1,5	n.t.b.	Geplaatst, nog inmeten

3	Binnenteen	n.t.b.	n.t.b.	-1,5	n.t.b.	Geplaatst, nog inmeten
3	Buitenkruinlijn	n.t.b.	n.t.b.	-1,5	n.t.b.	Geplaatst

*De X en Y coördinaten dienen nog vastgesteld te worden. In de situatietekening is de locatie van de nieuw te plaatsen peilbuizen indicatief opgenomen.

** De nummering van de waterspanningsmeters dient opgenomen te worden wanneer de waterspanningsmeters geactiveerd zijn.

4.7.7 Analyse data

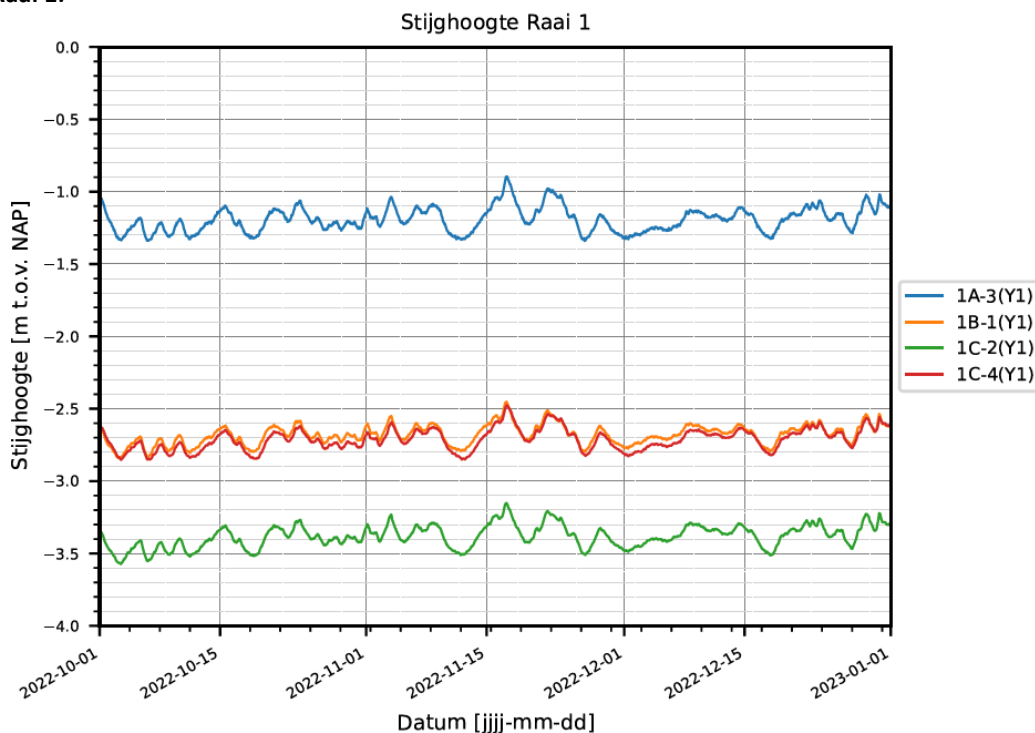
Uit de onderzoeksrapportage is gebleken dat piping langs het LDE in de Ringdijk niet kan optreden. Kwelwater door het LDE is in theorie mogelijk bij een stijghoogte in de zandlaag hoger dan het niveau van de kopplaat (circa NAP -2,5 m). De peilbuizen tonen een waarde van gemiddeld NAP -2,5 m eind 2022 en de waterspanningsmeters variëren van NAP -4 m tot NAP -1,0 m.

In de monitoring na de realisatie is geen melding van kwelwater gedaan door de beheerders of burgers. Wel is waarneembaar dat er voldoende stijghoogteverschil is om kwel te laten ontstaan. Het monitoren van kwel is vanaf 2020 tijdens de veldinspecties meegenomen. Er is geen kwelwater waargenomen. Het advies was om in 2022 bij de naspan/herstelwerkzaamheden te controleren of er water uit het LDE stroomt. Ook hier is geconstateerd dat er geen kwelwater uit het LDE stroomt.

4.7.7.1 Grondwater en stijghoogte per raai

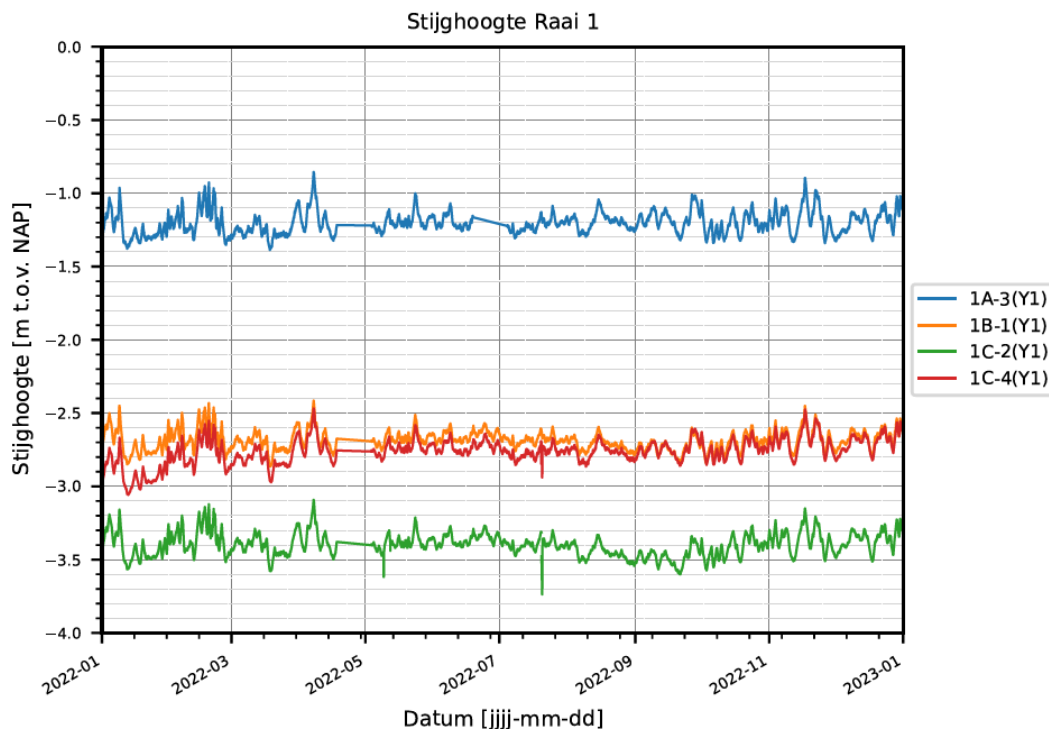
In Figuur 4-16 tot en met Figuur 4-21 zijn de waarnemingen per raai uitgezet tegen de datum. Dit betreffen grafieken die de analyse van Q4 tonen en de grafieken van de waterspanningen over het gehele jaar 2022.

Raai 1:



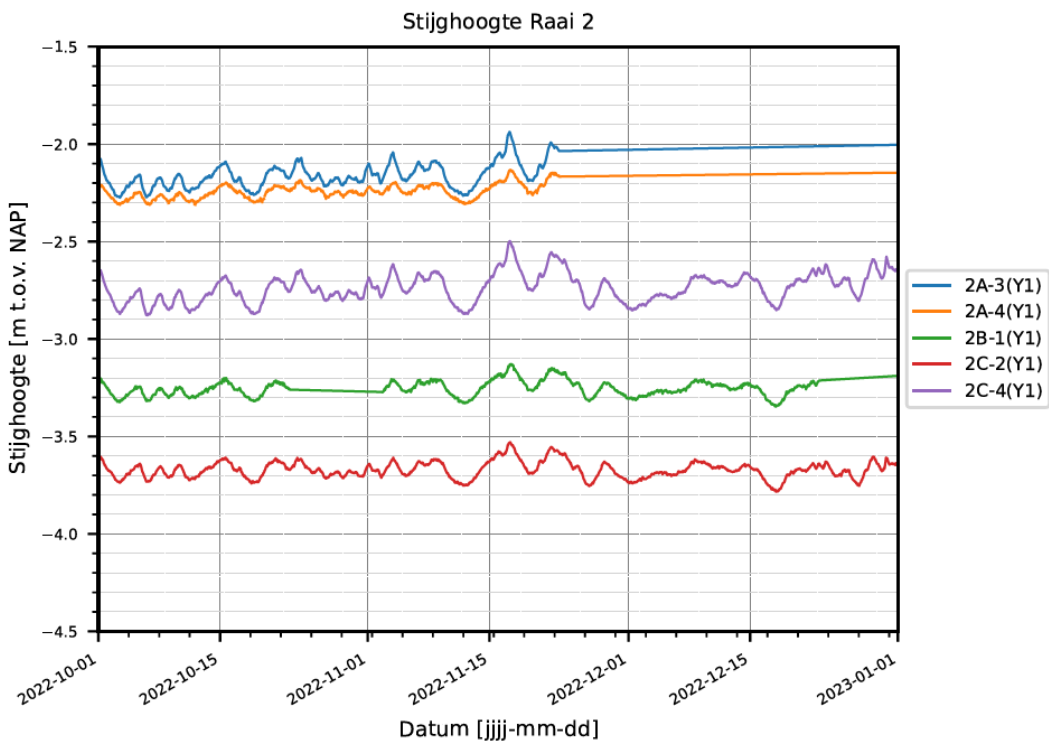
Figuur 4-16: Stijghoogte uitgezet tegen de datum, 01-10-2022 tot 01-01-2023, van raai 1

Er zijn geen bijzonderheden waargenomen in de metingen van raai 1 in kwartaal 4 van 2022, tevens zijn er geen bijzonderheden in de metingen over het gehele jaar van 2022. Er is enkel geen data gemeten bij alle waterspanningsmeters van raai 1 in de periode van eind april. Hetzelfde beeld is te zien voor waterspanningsmeter 1A-3 in de periode van eind juni.



Figuur 4-17: Stijghoogte uitgezet tegen de datum, 01-01-2022 tot 01-01-2023, van raai 1

Raai 2:



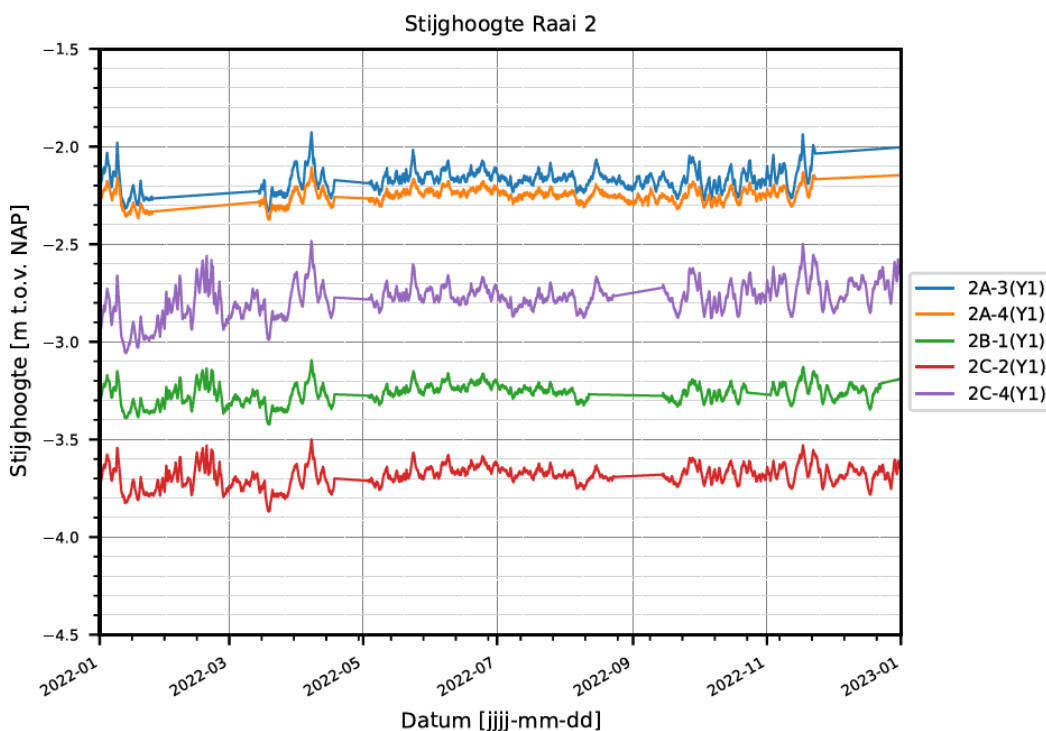
Figuur 4-18: Stijghoogte uitgezet tegen de datum, 01-10-2022 tot 01-01-2023, van raai 2

De data vertoont een grillig verloop voor de peilbuizen die in het achterland staan, dit betreft de peilbuizen 2C-1, 2C-2 en 2C-4. Inmiddels is 2C-1 uitgevallen en niet meer opgenomen in de grafiek (status jan '21). Er is in Q4 van 2021 een afname te zien in de grilligheid. En in de huidige data van 2022 lijkt de grilligheid niet meer aanwezig te zijn. Het grillige verloop is in minimale mate terug te zien in de kruin, dit betreft de peilbuizen 2A-3 en 2A-4. De fluctuatie is niet te zien in de teen van de dijk, peilbuis 2B-1. De fluctuatie heeft een terugkeertijd van ca. 24 uur. Er is geen doorslaggevende verklaring voor dit grillige verloop, onderstaan zijn de parameters welke onderzocht zijn opgenomen:

- Er is geen verband te vinden tussen de bodemopbouw en deze fluctuaties.
- Een mogelijke oorzaak is de temperatuur. Hier is echter geen directe correlatie tussen gevonden.
- Daarnaast kan gedacht worden aan een lokale grondwateronttrekking, omdat het grootste effect zichtbaar is bij de peilbuizen in het achterland (C-peilbuizen). Ook hier is geen bewijs voor gevonden.
- Het kan zijn dat de waterspanningsmeters onbetrouwbaar zijn geworden, in de postdictie wordt de data volledig geanalyseerd om eventueel foutieve data te verwijderen.
- Het is mogelijk dat het globale verloop (behoudens de grilligheid) wel representatief is.

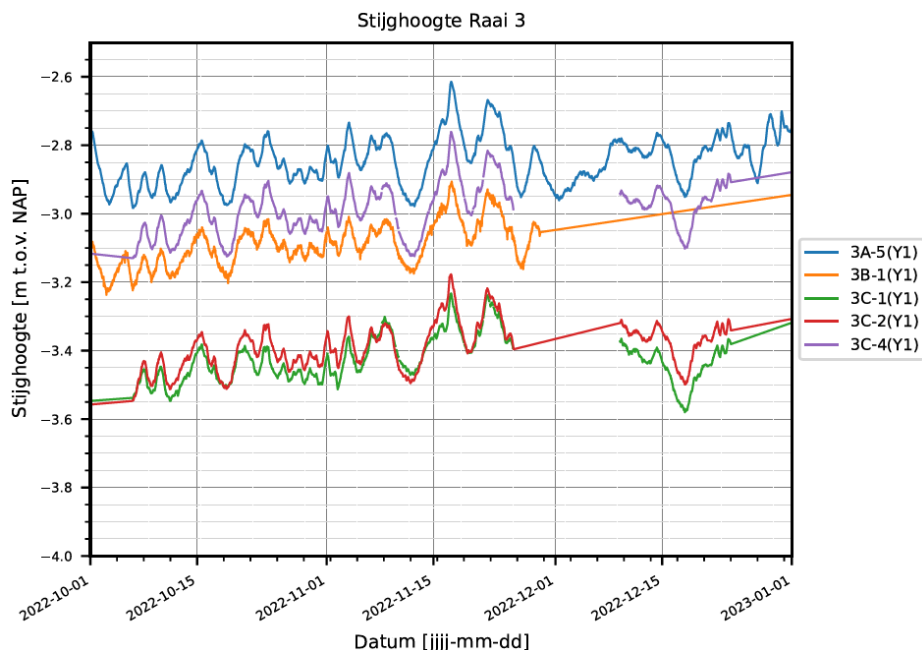
Het wordt geadviseerd om dit te blijven monitoren.

Daarnaast mist er data in verschillende periodes van het jaar. De metingen herstellen zich daarna wel weer. Momenteel geven waterspanningsmeter 2A-3 en 2A-4 geen data, mogelijk herstelt dit zich in Q1 van 2023.



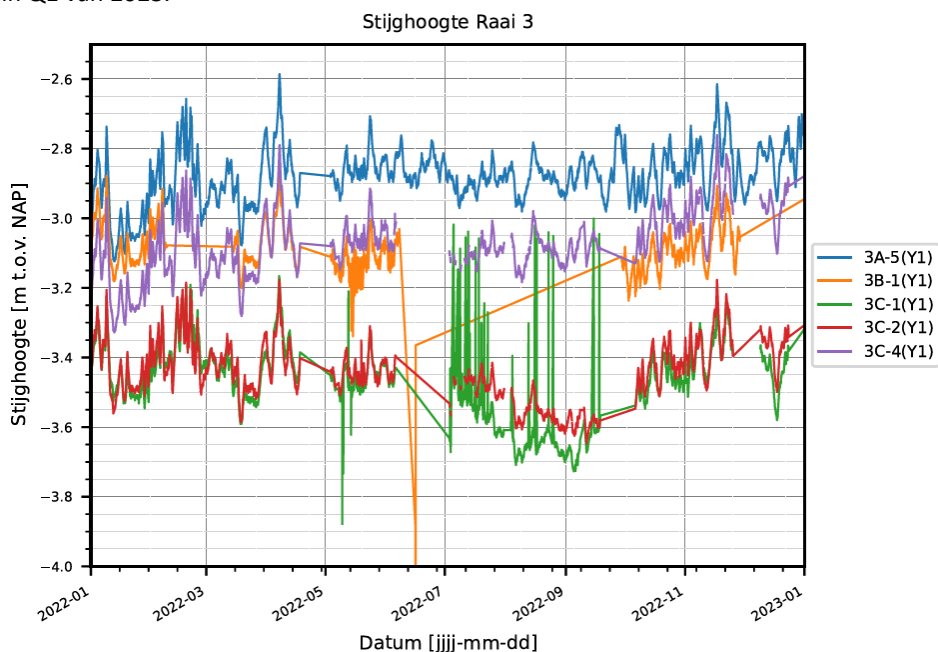
Figuur 4-19: Stijghoogte uitgezet tegen de datum, 01-01-2022 tot 01-01-2023, van raai 2

Raai 3:



Figuur 4-20: Stijghoogte uitgezet tegen de datum, 01-10-2022 tot 01-01-2023, van raai 3

Opgemerkt wordt dat in Q4 een stijging van de waterspanning gemeten is voor alle waterspanningsmeters, mogelijk is dit vanwege het einde van een droge zomer. Daarnaast mist er data in Q4 van alle waterspanningsmeters, met uitzondering van waterspanningsmeter 3A-5. Als de data bekeken wordt over het gehele jaar, dan is hetzelfde beeld te zien van het ontbreken van data in bepaalde periodes. Dit herstelt zich uiteindelijk weer. Momenteel zenden de volgende waterspanningsmeters geen data: 3B-1, 3C-1 en 3C-2, en 3C-4. Mogelijk herstelt dit zich in Q1 van 2023.



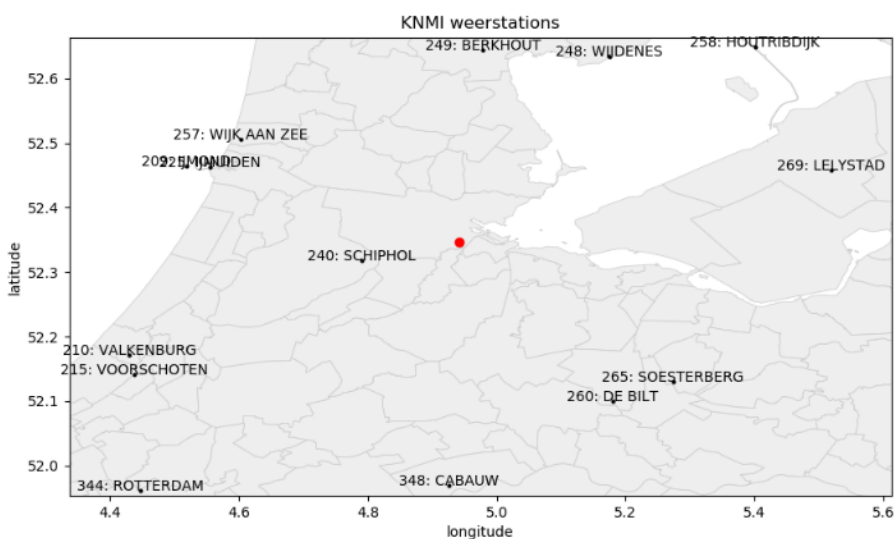
Figuur 4-21: Stijghoogte uitgezet tegen de datum, 01-01-2022 tot 01-01-2023, van raai 3

4.8 Neerslag

Voor de huidige analyse is data van het KNMI geraadpleegd.

4.8.1 Meetlocatie

Om tot representatieve data te komen zijn de weerstations van het KNMI geraadpleegd. In Figuur 4-22 zijn de weerstations in de omgeving van de projectlocatie weergegeven. Hieruit is duidelijk zichtbaar dat Schiphol het dichtstbijzijnde weerstation is (afstand ca. 15 km). Andere weerstations zijn minimaal 30 km verwijderd van de projectlocatie. Derhalve kan worden gesteld dat regen- en verdampingsdata van het weerstation Schiphol het meest representatief is voor de projectlocatie.



Figuur 4-22: Weerstations in de omgeving van Amsterdam. De projectlocatie is in rood weergegeven. (bron: KNMI)

4.8.2 Meetperiode

De meetgegevens een overzicht van het gehele jaar 2022 en Q4 van 2022.

4.8.3 Apparatuur

De apparatuur staat vermeld op de website van het KNMI.

4.8.4 Bijzonderheden

Om tot representatieve data te komen zijn de weerstations van het KNMI geraadpleegd.

4.8.5 Data

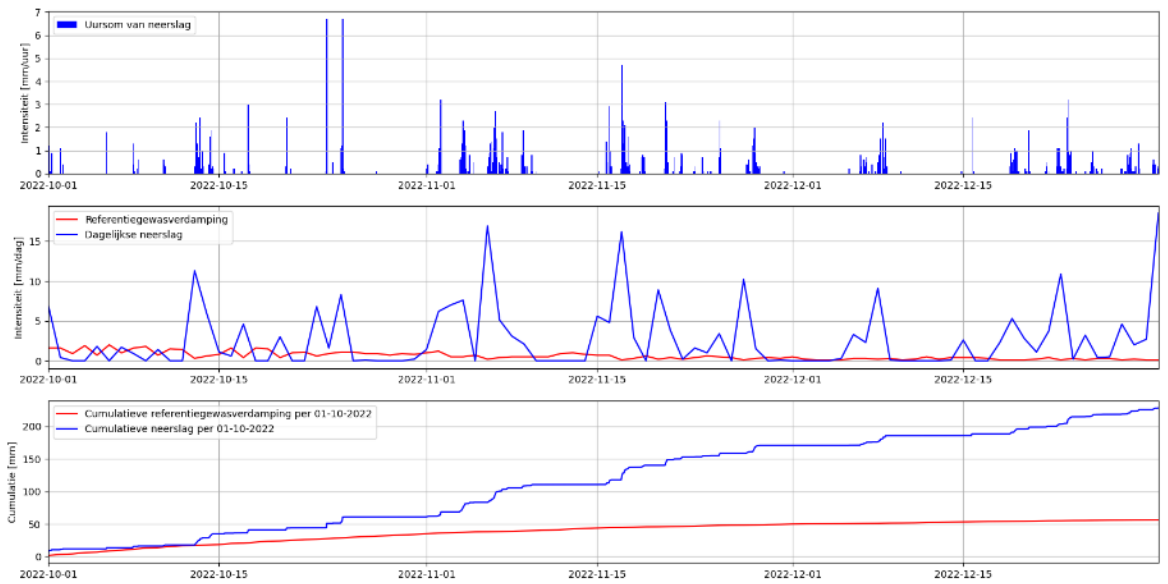
In Figuur 4-23 is neerslag- en verdampingsdata weergegeven van het weerstation Schiphol in de periode van 1-okt-2022 tot 31-dec-2022. In paragraaf 00 is het overzicht van 2022 opgenomen.

Neerslag Q4

In de bovenste grafiek van Figuur 4-23 is de uursom weergegeven van de neerslag. In de cumulatieve grafiek (onder) is te zien dat de regenval redelijk gelijkmatig verdeeld is over de periode, met een totale neerslag van 240 mm.

Verdamping Q4

De referentiegewasverdamping is een theoretische waarde voor verdamping. Het staat voor de hoeveelheid water die verdampt uit een grasveld dat goed voorzien is van water en nutriënten. De referentiegewasverdamping wordt door het KNMI bepaald uit onder meer de temperatuur en zonnestraling. De dagelijkse referentiegewasverdamping is weergegeven in de middelste grafiek van Figuur 4-23.



Figuur 4-23: Neerslag en referentiegewasverdamping van het meetstation Schiphol (bron: KNMI)

Relatie neerslag-verdamping Q4

In Tabel 4-6 is de wekelijkse neerslag- en verdamping weergegeven. Hier is te zien dat er bijna elke week een neerslagoverschot is, dit heeft te maken met zowel een grote hoeveelheid neerslag als een lage verdamping. Netto is er aan het eind van de periode een neerslagoverschot van ca. 184 mm.

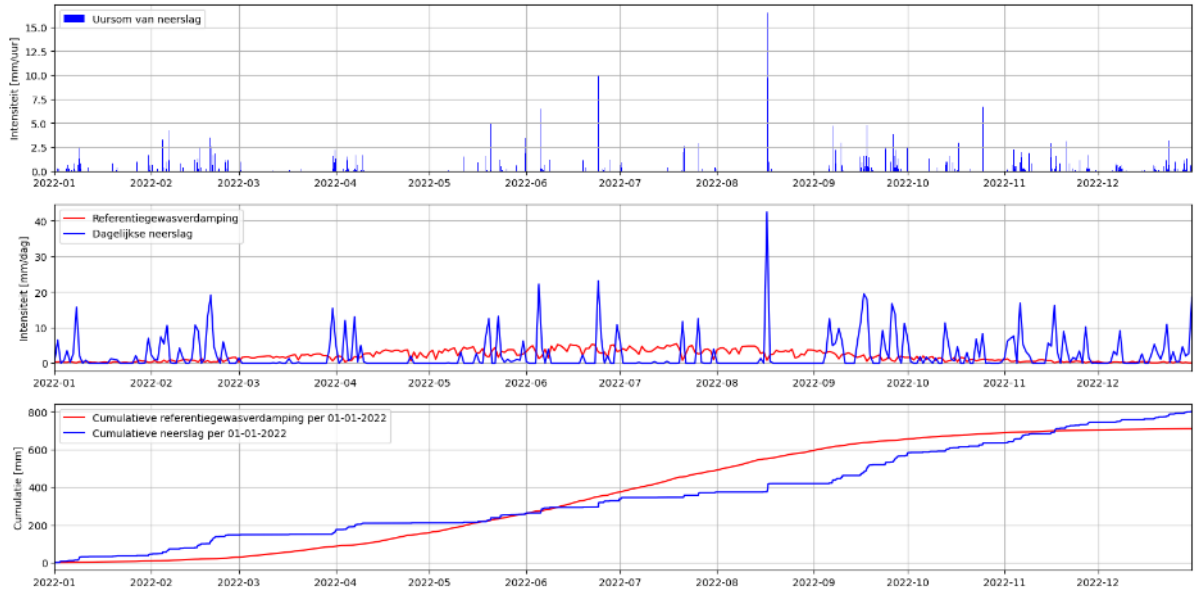
Tabel 4-6: Wekelijkse neerslag en verdamping

Week	Van	Tot	Neerslag [mm]	Verdamping [mm]
39	01-okt	02-okt	7	3
40	03-okt	09-okt	4	10
41	10-okt	16-okt	20	7
42	17-okt	23-okt	14	7
43	24-okt	30-okt	10	6
44	31-okt	06-nov	39	5
45	07-nov	13-nov	10	4
46	14-nov	20-nov	38	3
47	21-nov	27-nov	20	3
48	28-nov	04-dec	2	2

Week	Van	Tot	Neerslag [mm]	Verdamping [mm]
49	05-dec	11-dec	15	2
50	12-dec	18-dec	5	2
51	19-dec	25-dec	27	1
52	26-dec	31-dec	29	1

4.8.6 Overzicht jaar 2022

In Figuur 4-24 is neerslag- en verdampingsdata weergegeven van het weerstation Schiphol in de periode van 1-januari-2022 tot 31-december-2022.



Figuur 4-24: Neerslag en referentiegewasverdamping van het meetstation Schiphol 2022 (bron: KNMI)

Het jaar 2022 was enigszins droog, met name omdat de verdampingsgraad in de zomer relatief hoog was. In het voorjaar en in de zomer was sprake van droge perioden van één tot enkele weken. Augustus was een bijzondere maand, het was vrijwel de gehele maand droog op de 17e na, die dag is binnen 24 uur ruim 40 mm gevallen. Aan het einde van het jaar bedraagt het neerslagoverschot ca. 81 mm.

Tabel 4-7: Jaaroverzicht 2022 neerslag en verdamping

Week	Van	Tot	Neerslag [mm]	Verdamping [mm]
52	01-jan	02-jan	7	1
1	03-jan	09-jan	25	2
2	10-jan	16-jan	1	2
3	17-jan	23-jan	3	2
4	24-jan	30-jan	2	3
5	31-jan	06-feb	35	3
6	07-feb	13-feb	6	5
7	14-feb	20-feb	55	4
8	21-feb	27-feb	15	6
9	28-feb	06-mrt	1	10
10	07-mrt	13-mrt	0	13
11	14-mrt	20-mrt	2	12
12	21-mrt	27-mrt	0	17
13	28-mrt	31-mrt	20	6
13	01-apr	03-apr	6	5
14	04-apr	10-apr	33	9
15	11-apr	17-apr	0	20

Week	Van	Tot	Neerslag [mm]	Verdamping [mm]
16	18-apr	24-apr	0	24
17	25-apr	01-mei	2	15
18	02-mei	08-mei	0	22
19	09-mei	15-mei	3	27
20	16-mei	22-mei	23	22
21	23-mei	29-mei	18	21
22	30-mei	05-jun	30	22
23	06-jun	12-jun	8	26
24	13-jun	19-jun	2	29
25	20-jun	26-jun	30	28
26	27-jun	30-jun	13	15
26	01-jul	03-jul	6	11
27	04-jul	10-jul	0	26
28	11-jul	17-jul	1	30
29	18-jul	24-jul	12	28
30	25-jul	31-jul	17	20
31	01-aug	07-aug	0	27
32	08-aug	14-aug	0	31
33	15-aug	21-aug	44	18
34	22-aug	28-aug	0	20
35	29-aug	04-sep	0	23
36	05-sep	11-sep	43	18
37	12-sep	18-sep	55	14
38	19-sep	25-sep	17	11
39	26-sep	30-sep	44	6
39	01-okt	02-okt	7	3
40	03-okt	09-okt	4	10
41	10-okt	16-okt	20	7
42	17-okt	23-okt	14	7
43	24-okt	30-okt	10	6
44	31-okt	06-nov	39	5
45	07-nov	13-nov	10	4
46	14-nov	20-nov	38	3
47	21-nov	27-nov	20	3
48	28-nov	04-dec	2	2
49	05-dec	11-dec	15	2
50	12-dec	18-dec	5	2
51	19-dec	25-dec	27	1
52	26-dec	31-dec	29	1

5 Analyse

5.1 Koppeling tussen monitoringsdata en onderzoeksvragen

In dit hoofdstuk is een eerste analyse opgenomen van de onderzoeksvragen met betrekking tot de monitoringsdata. Daartoe zijn de onderzoeksvragen in concept beantwoord en mogelijke verbanden tussen verschillende parameters onderzocht. In de postdictie en de eindrapportage zullen onderzoeksvragen definitief beantwoord worden, zie hoofdstuk 7.3.

5.2 Onderzoeksvraag 7 (Kwel)

Is er een risico op kwel, en daarmee op piping of heave langs het anker door het inbrengen van het anker met de voorloper/drijfstang en hoe groot is dit risico?

Om de onderzoeksvraag te beantwoorden is de theoretische achtergrond uit het gecombineerde onderzoeksrapport van vraag 7 en vraag 11 geraadpleegd samen met de ervaringen uit de interactieproef van Purmerend.

‘Na het plaatsen van het LDE-element wordt verwacht dat het resterende gat waardoor kwel op kan treden sterk zal zijn samengedrukt, waardoor de theoretische hoeveelheid kwel wordt gereduceerd tot hooguit enkele liters kwelwater per dag in extreme omstandigheden. Deze hoeveelheid is verwaarloosbaar klein.’

Uit de praktijk blijkt dat er geen melding is gemaakt of incidenten zijn opgetreden met betrekking tot een kweldebiet in Watergraafsmeer. In Purmerend zijn in 2020 ook proeven uitgevoerd en toen zijn er ook geen incidenten opgetreden. Resultaat van de proeven is gerapporteerd in de jaarrapportages van 2019 en 2020. Dit resultaat komt overeen met de verwachting dat het kweldebiet verwaarloosbaar klein is.

Bij de herstelwerkzaamheden in 2022 is in 237 potten een klein laagje water aangetroffen. Tijdens de werkzaamheden is geen stromend water langs de trekstang aangetroffen.

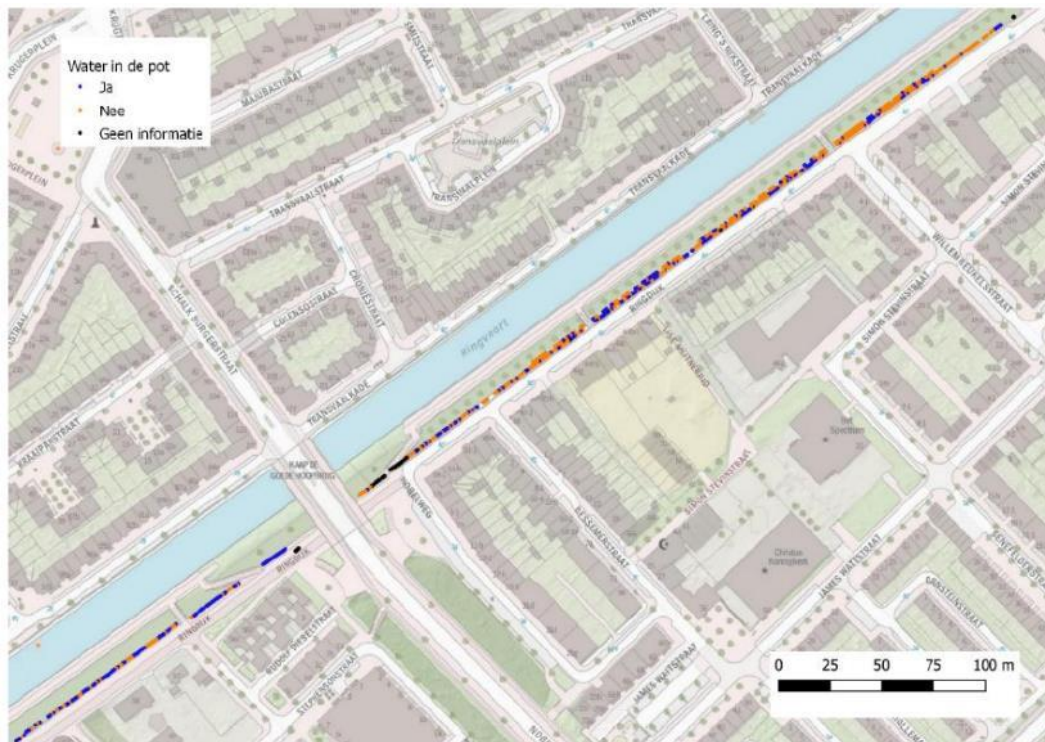
5.2.1 Conclusie

Er was in Watergraafsmeer geen significant risico op het ontstaan van piping. In de monitoring in 2019 na de realisatie is geen melding van kwelwater gedaan door de beheerders of burgers. Wel is waarneembaar dat er voldoende stijghoogteverschil is om theoretisch kwel te laten ontstaan. De waarden van de peilbuizen liggen gemiddeld rond NAP-2,5 m. De kopplaat ligt op ca. NAP -2,5 m en daarmee is theoretisch kwel net wel/net niet mogelijk. Het monitoren op kwel is in 2020 tijdens de veldinspecties meegenomen. Tijdens de inspecties in 2020 is ook geen kwelwater waargenomen. Eind 2020 is er kans op kwelwater conform de metingen, echter dit is niet waargenomen tijdens de inspectie in november 2020. In het vervolg wordt er gekeken naar de grondwaterstanden tijdens de werkzaamheden met betrekking tot het online krijgen van de nodes die nu nog offline zijn. Dit is geborgd in het werkplan [14]. In 2021 is geen melding bekend van kwelwater.

In 2022 is een kleine hoeveelheid water in 237 van de 600 potten waargenomen. In Figuur 5-1 is de locatie van ‘water in de pot’ weergegeven. In Watergraafsmeer bevindt de pot zich ten alle tijden boven de freatische grondwaterstand. In natte situaties is het echter mogelijk dat het

infiltrerende grondwater toch in de pot kan komen. De verwachting is dat het grondwater, door het langzame infiltratieproces nooit hoger dan het intredepunt komt te staan; op een droge dag kan er namelijk weer water uit de pot stromen tot het niveau van het intredepunt.

Er is te zien dat ten westen van de nobelweg er naar verhouding meer potten zijn met water erin dan ten oosten. Deze waarneming komt overeen met de waarneming van een hogere grondwaterstand aldaar tijdens de realisatie in 2018/2019. Dit is geen kwelwater vanuit het zandpakket, maar freatisch water.



Figuur 5-1: Overzicht locaties met water in de pot.

5.3 Onderzoeksvraag 8 (Invloed vervormingen)

Wat zijn de effecten van vervormingen door kruip en zettingen, veroorzaakt door kruinophogingen gedurende de levensduur, op de werking van de JLD-Dijkstabilisator?

De onderzoeksvraag is onderdeel van de postdictie van 2023 in Q2 (zie paragraaf 7.3). Op dat moment is naar verwachting de meetdata beschikbaar van alle Dijkstabilisatoren inclusief 1 maal naspannen. De dwarsprofielen tonen in de herhalingsmeting van 2020 dat de waterkering enkele centimeters is gezakt. De meting van 2021 toont een lichte stijging in de profielen. In 2022 is weer een lichte daling te zien. De deformaties zijn orde grootte gelijk aan de meetnauwkeurigheid. Daarmee kan geconcludeerd worden dat er nauwelijks deformaties optreden.

5.4 Onderzoeksvraag 9 (Beplanting)

De voorlopige conclusie op onderzoeksvraag 9 is opgenomen in de jaarrapportage van 2020, omdat in hetzelfde jaar de laatste monitoring heeft plaatsgevonden op de beplanting. In 2021 en 2022 heeft er geen monitoring meer plaatsgevonden met betrekking tot de beplanting.

5.5 Onderzoeksvraag 11 (Piping)

Kan de waterspanning in de zandlaag van de ringdijk Watergraafsmeer leiden tot kwel en daarmee piping of heave en kan dit een probleem opleveren voor de uitvoerbaarheid?

Om de onderzoeksvraag te beantwoorden is de theoretische achtergrond uit het gecombineerde onderzoeksrapport van vraag 7 en vraag 11 geraadpleegd. Hieruit is het volgende geconcludeerd:

Uit de onderzoeksrapportage is gebleken dat in theorie piping kan optreden (langs of door het LDE) met de kopplaat als uittredepunt) als er een stijghoogte van NAP -0,1 m of hoger aanwezig is. Uit de analyse van peilbuizen en waterspanningsmeters blijkt dat deze waarde niet bereikt wordt. Tevens is gekeken naar de grondwaterstanden tijdens de herstelwerkzaamheden in 2022 (het online krijgen van de nodes die offline waren). Dit is in de periode van 20 april tot 7 juli 2022 uitgevoerd. Hierin is niet een verhoogde waterstand geconstateerd, echter moet ook opgemerkt worden dat de meeste werkende waterspanningsmeters in de diepere lagen aanwezig zijn en niet het freatisch vlak meten.

5.5.1 Conclusie

Uit onderzoeksvraag 7 is geconstateerd dat er geen kwel uit het watervoerend pakket omhoog komt, enkel alleen freatisch water. Daarmee is er voor de locatie Watergraafsmeer geen risico voor piping. Voor een nadere beschrijving wordt verwezen naar paragraaf 5.2.1.

5.6 Onderzoeksvraag 13 (Verloop voorspanning)

De JLD-Dijkstabilisatoren zijn nu circa 4 jaar operationeel. In de eerste 9 maanden is de eerste primaire zetting opgetreden. De primaire zetting bestaat uit 2 delen:

- Zetting door aanbrengen van voorbelasting op onbelast maaiveld.
- Zetting doordat er circa 1 à 2 cm ruimte zat tussen de kopplaat en het LDE element.

Het was de verwachting dat de initiële spanningsafname per stabilisator zeer verschillend kon zijn door toedoen van de lokale verschillen in de bodemopbouw. De resultaten van de eerste 4 jaar onderbouwen deze verwachting.

In 2022 zijn herstelwerkzaamheden uitgevoerd, zodat de nodes die offline waren weer online kwamen. Tevens zijn de stabilisatoren weer nagespannen indien nodig. Dit heeft geresulteerd in een gemiddelde voorspanning die eenzelfde beeld toont over de gehele dijk. Met uitzondering van de locatie waar geen herstelwerkzaamheden zijn uitgevoerd in verband met de ligging van een gasleiding. Na de herstelwerkzaamheden is significant meer data beschikbaar ten opzichte van voor de herstelwerkzaamheden. De volledige beschrijving van de werkzaamheden en de resultaten zijn opgenomen in de losstaande rapportage 'Rapportage naspannen stabilisatoren en herstel nodes, 2022' [15].

5.6.1 Voorspanning versus neerslag en temperatuur

In 2021 is de relatie tussen voorspanning versus neerslag onderzocht en de voorspanning versus de temperatuur, dit is in de jaarrapportage van 2021 opgenomen. Dit verband is niet nader geanalyseerd in de huidige jaarrapportage, omdat de postdictie betere inzichten zal geven. Daarom wordt voor de eerste resultaten van 2021 verwezen naar de jaarrapportage van 2021. Het effect wordt gekwantificeerd in de postdictie. In de eerste resultaten lijkt er een verband te zijn tussen neerslag en voorspanning. Dit zijn op moment van schrijven van voorliggend document voorlopige resultaten, de postdictie is nog niet afgerond. De resultaten hiervan worden gedeeld in de postdictie.

5.6.2 Voorlopige bevindingen

Op basis van de beschikbare gegevens is de volgende voorlopige conclusie opgesteld.

- Het overgrote deel, 86% van de online stabilisatoren, heeft nog een voorspanning binnen het vooraf opgegeven ondergrens (30kN) en de bovengrens (70kN).
- De afname is circa 15% à 17% ten opzichte van de initiële voorspanning.
- 15,6% heeft een grotere afname dan gemiddeld voorspeld. De verwachting is dat dit deels te wijten is aan de configuratie tijdens het aanbrengen. De predictie is opgesteld uitgaande van een directe aansluiting van de kopplaat op het LDE element. Tijdens de realisatie is steeds circa 2 tot 5 cm ruimte tussen de kopplaat en het LDE gebleven, door toedoen van de stijve grond. Daardoor heeft de kopplaat aan het begin minder weerstand tegen kruip, want er is nog geen funderende werking van het LDE. Dit resulteert in een versnelde terugloop van de voorspanning van circa 5 tot 15 kN (veerstijfheid van de trekstang van circa 0,5 tot 0,25 kN/mm).

In de postdictie wordt de data nader geanalyseerd om ook deze effecten te kwantificeren. De verwachting is dat de spanningsafname na de eerste keer naspannen significant kleiner is dan in het eerste jaar, door de funderende werking van het LDE element.

6 Financiële verantwoording

In bijlage 4 is de verantwoording van de uitgaven ten opzichte van de initiële begroting weergegeven. Daarbij is specifiek toegelicht welke werkzaamheden zoals begroot zijn uitgevoerd, welke werkzaamheden meer/minder geld hebben gekost en welke onvoorziene werkzaamheden zijn uitgevoerd. Daar waar relevant is de verwijzing opgenomen naar de betreffende paragraaf in dit rapport. Een uitgebreid overzicht is opgenomen in bijlage 4.

7 Advies en werkstappen 2023

Op basis van het monitoringsplan is vanaf het monitoringsjaar 2022 in dit hoofdstuk advies voorzien. Op basis van het uitgevoerde onderzoek wordt advies opgenomen ten behoeve van de monitoring van de op volgende jaren.

7.1 Werkplan 2023

Op basis van de monitoring en het monitoringsplan is het werkplan voor het komende jaar opgesteld [3].

7.2 Algemeen advies aanvulling te ondernemen werkstappen

Op basis van het tot nu toe uitgevoerde onderzoek zijn de volgende acties opgemerkt:

- Voor de SAAF metingen worden de volgende acties geadviseerd:
 - De periodieke metingen t.b.v. de monitoringsfase kunnen stopgezet worden na de monitoringsfase.
 - Bij het verwijderen van een LDE om de veroudering te meten wordt geadviseerd eerst een SAAFmeting te doen om informatie te verkrijgen over vervorming na lange tijd.
- De voorspanning van 36 stabilisatoren is lager dan de ondergrens. In het oorspronkelijke beheer en onderhoudsplan is beschreven dat er direct actie ondernomen moet worden wanneer enkele stabilisatoren onder de ondergrens zakken. Doormiddel van voortschrijdend inzicht is in de loop van 2020 vastgesteld dat dit niet doelmatig is. Het is doelmatiger om de gemiddelde voorspanning over een traject van 1 glijvlak (30 m) te analyseren en op basis daarvan het beheer in te plannen. Deze analyse is toegevoegd aan het monitoringsplatform. Aan het eind van de monitoringsperiode moet dit eveneens opgenomen worden in de update van het beheer en monitoringsplan.
 - Op basis van de huidige gegevens en de gemiddelde voorspanning is gebleken dat er geen actie nodig is na de herstelwerkzaamheden. Er zijn geen zones waar de gemiddelde voorspanning lager is dan 30 kN.

7.3 Postdictie

Onderstaand zijn de werkstappen t.b.v. de postdictie overgenomen uit het werkplan 2022 [3].

7.3.1 Voorspelling krachtverloop

De JLD-Dijkstabilisator is een actief dijkversterkingssysteem. Bij het installeren van de JLD-Dijkstabilisator is het systeem onder voorspanning gezet. Deze voorspanning leidt tot een verhoging van de spanningen in de grond. Als gevolg van deze spanningsverhoging treedt er lokale zetting op. Het krimpen en zetten van de grond heeft een negatieve werking op de voorspanning. Wanneer de grond zwelt of deformeert bij hogere belastingen, dan neemt de voorspanning toe. Dus afhankelijk van het gedrag van de grond verandert de voorspanning in de tijd.

Het systeem is ontworpen met een voorspanning binnen een bepaalde range, in de Watergraafsmeer is dit tussen de 30 kN en de 70 kN. Zodra de gemiddelde voorspanning (over een lengte van 1 glijvlak) onder de 30 kN komt dient het systeem nagespannen te worden. Het is

voor de beheerder belangrijk om te weten wanneer en hoe vaak dit nodig is gedurende de levensduur van het systeem. Daarom is het belangrijk om inzicht te hebben in het verloop van de voorspanning.

Om het verloop van de voorspanning inzichtelijk te maken is eerst een predictie van de voorspanning opgesteld [16]. Na het uitvoeren van de predictie is de dijkversterking gerealiseerd en wordt deze (automatisch) dagelijks gemonitord. Om het verloop van de voorspanning te verifiëren en de ontwerpstappen te optimaliseren is een postdictie voorzien. Het uitvoeren van de postdictie is daarnaast een onderdeel om de werking van de techniek te bewijzen.

De postdictie betreft de verificatie van de predicties die gebruikt zijn voor het beantwoorden van de onderzoeksvragen. In Tabel 7-1 is een overzicht weergegeven van de te monitoren parameters en de koppeling met de onderzoeksvragen die ingaan op de effectiviteit van de JLD-Dijkstabilisator als versterkingsmethode.

Tabel 7-1: Overzicht koppeling te monitoren parameters met de onderzoeksvragen

Parameter	Onderzoeksvragen (OV)							Fase life cycle monitoring	
	OV1	OV5	OV7	OV8	OV9	OV11	OV13	Uitvoering	Beheer
Veldinspecties	X	X	X	X	X	X	X		X
Deformatie JLD-Dijkstabilisator.	X	X		X				X	X
Deformatie kruin (maaiveld)	X	X		X				X	X
Deformatie kopplaat	X	X		X				X	X
Bepanting	X				X			X	X
Piping	X		X			X		X	X
Voorspanning	X						X	X	X
Neerslag	X	X	X	X		X	X		X
Materiaal degradatie	X	X	X	X	X	X	X		X
Waterspanningen	X	X	X	X	X	X	X	X	X

Doel postdictie:

Het hoofddoel van de postdictie is het verifiëren en eventueel bijstellen van de modellering van het systeem en de voorspelling van het toekomstige spanningsverloop. Dit bestaat onder andere uit de volgende stappen:

- Aanscherpen predictie verloop voorspanning in PLAXIS;
- Beheerder inzicht geven in te verwachten beheerinspanning en de te verwachten naspanmomenten;
- Passend rekenmodel met bijhorende parameters;
- Zettingssnelheid ten gevolge van voorspanning;
- Gevoeligheid van berekeningen voor verschillende zettingsmodellen;

- Impact seizoenseffecten;
- IJken zakkingsgedrag a.d.h.v. gemeten vervorming;
- Effect van naspannen op het verloop van de nagespannen stabilisator.
- Effect van naspannen op het verloop van de aangrenzende (niet nagespannen) stabilisatoren.
- Verklaren van bijzonderheden.
- Effect van wateronttrekking door de bomen.
- Onvoorzien: er wordt rekening gehouden met een beknopte analyse van ‘onverwachte vondsten’ in de data.

7.3.2 Data postdictie

Om een postdictie uit te kunnen voeren wordt gebruik gemaakt van de verzamelde data. Onderstaand zijn de verschillende parameters en de beschikbaarheid van de data benoemd.

Onderdeel	Beschikbare meetdata
Verloop voorspanning <u>zonder</u> naspannen	Circa 90% van de stabilisatoren, 2 jaar* Waarvan circa 50 % 4 jaar*
Verloop voorspanning <u>en 1 keer</u> naspannen	Circa 60 stabilisatoren 2 jaar meetdata (inspectiewerkzaamheden eind) 2020 Inschatting circa 50% van alles stabilisatoren 9 maanden meetdata (herstelwerkzaamheden begin Q2 2022)
Vervormingsmeting maaiveld en kopplaten (1 maal per jaar)	5 maal deformatiemetingen van 5 dwarsprofielen 5 maal deformatiemeting van de kruinhoogte 5 maal deformatiemeting van 5 holle LDE's d.m.v. een SAAF 5 maal deformatiemeting van 7 kopplaten
Neerslag	Dagelijkse meting t.p.v. Schiphol (15 km afstand)
Grondwater/stijghoogte	Dagelijkse meting t.p.v. 3 meetraaien
seizoenseffecten	Minstens 1 nat najaar (2020) en 2 droge zomers (2019 en 2020)

* Afhankelijk van het resultaat van de herstelactie in Q1/Q2 2022. Als blijkt dat er meetdata verloren is gegaan bij de nodes die nu offline zijn (zie paragraaf 2.3.2) dan heeft dat invloed op de weergegeven percentages

In 2022 is groen licht gegeven tot het uitvoeren van een postdictie in 2023, dit is besloten door de stuurgroep met advies van de TC/BC op voorstel van het projectteam.

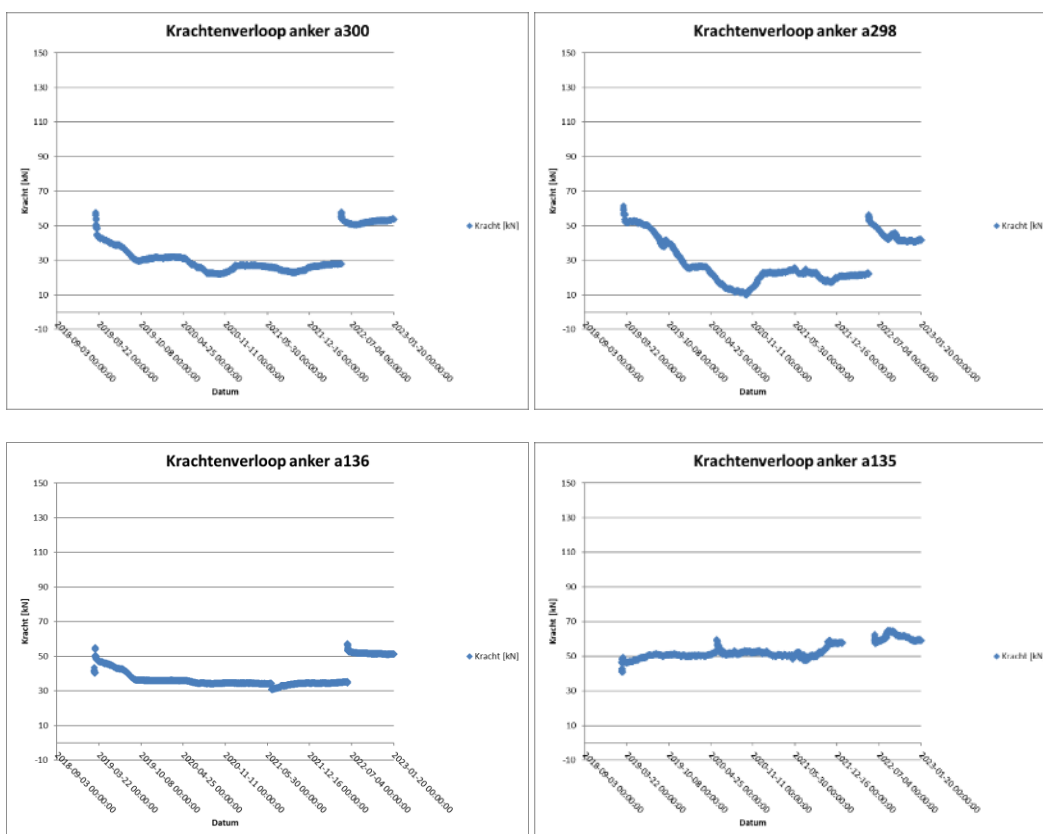
7.3.3 Werkstappen postdictie

Onderstaand zijn de benodigde werkstappen op hoofdlijnen weergegeven.

De tweede belangrijke stap in 2022 is de controle van het verloop van de voorspanning van de nagespannen stabilisatoren in 2022 Q3. De achtergrond van het belang is hieronder puntsgewijs opgenomen.

- Het verloop van de voorspanning bestaat uit stijging door zwel van de dijk, en uit daling door het samendrukken van de slappere lagen door toedoen van de voorspanning.
- Het samendrukken, de zetting van de grond onder de kopplaat, bestaat uit een primaire zetting en een secundaire zetting.

- De mate van primaire zetting en secundaire zetting hebben een grote invloed op de afname van de voorspanning.
- Omgekeerd vertelt de afname van de voorspanning iets over de primaire en secundaire zetting.
- Een belangrijk aspect van de postdictie omvat het ijken van het zettingsgedrag, daartoe moet het zettingsgedrag na het naspannen voldoende in beeld zijn. Dat wil zeggen, de afnamesnelheid van de voorspanning moet voor zowel de primaire als de secundaire zetting geïjkt kunnen worden.
- De stabilisatoren die in Q4 2020 zijn nagespannen laten zien dat de primaire zetting na het naspannen niet of nauwelijks aanwezig is. Dat betekent dat naar verwachting enkel de secundaire zettingssnelheid bepaald moet worden in de postdictie.
- Om deze aanname te verifiëren is er in Q3 van 2022 een controle uitgevoerd. In de meetdata is te zien dat veel stabilisatoren na het naspannen gedurende circa 0 tot 1 maand de primaire zetting laten zien. Daarna gaat het over naar het secundaire verloop (zie onderstaande afbeeldingen ter illustratie).



Tot slot, om de kwaliteit van de postdictie te borgen wordt op geïjkte momenten gebruik gemaakt van een review door een externe partij, namelijk Deltares en de leden van de technische commissie.

7.4 Update onderzoeksrapportages

Het ENW heeft in 2016 advies uitgebracht over de voor de JLD-Dijkstabilisator uitgevoerde bezwijkproef en de uitwerking daarvan (advies ENW16-12). In het advies zijn destijds een aantal vragen opgesteld over deze techniek. Deze 19 onderzoeksvragen zijn in onderstaande tabel benoemd.

Bij het afronden van de realisatiefase (1^e kwartaal 2019) zijn bijna alle onderzoeksvragen reeds beantwoord. Daarbij is ook gesteld dat de monitoring naar verwachting nieuwe informatie oplevert waardoor sommige vragen nauwkeuriger beantwoord kunnen worden, met minder conservatisme. In onderstaande tabel is de status van de verschillende onderzoeksvragen weergegeven.

Tabel 7-2 Overzicht planning afronding onderzoeksvragen (groen = afgerond, blauw = gepland kwartaal voor afronde werkzaamheden)

Nr.	Afronding onderzoeksrapportages	<2023	2023			
			Q1	Q2	Q3	Q4
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	Bezijken 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 voorloper) 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?					

7.5 Eindrapportage

In 2023 worden de ervaringen en resultaten van het pilotproject gebundeld in een eindrapportage. Daartoe wordt in 2022/2023 de inhoudsopgave en de aanpak van de eindrapportage in samenspraak met de BC/TC vastgesteld. In onderstaande tabel zijn de werkstappen op hoofdlijnen weergegeven.

Tabel 7-3 Overzicht werkstappen eindrapportage

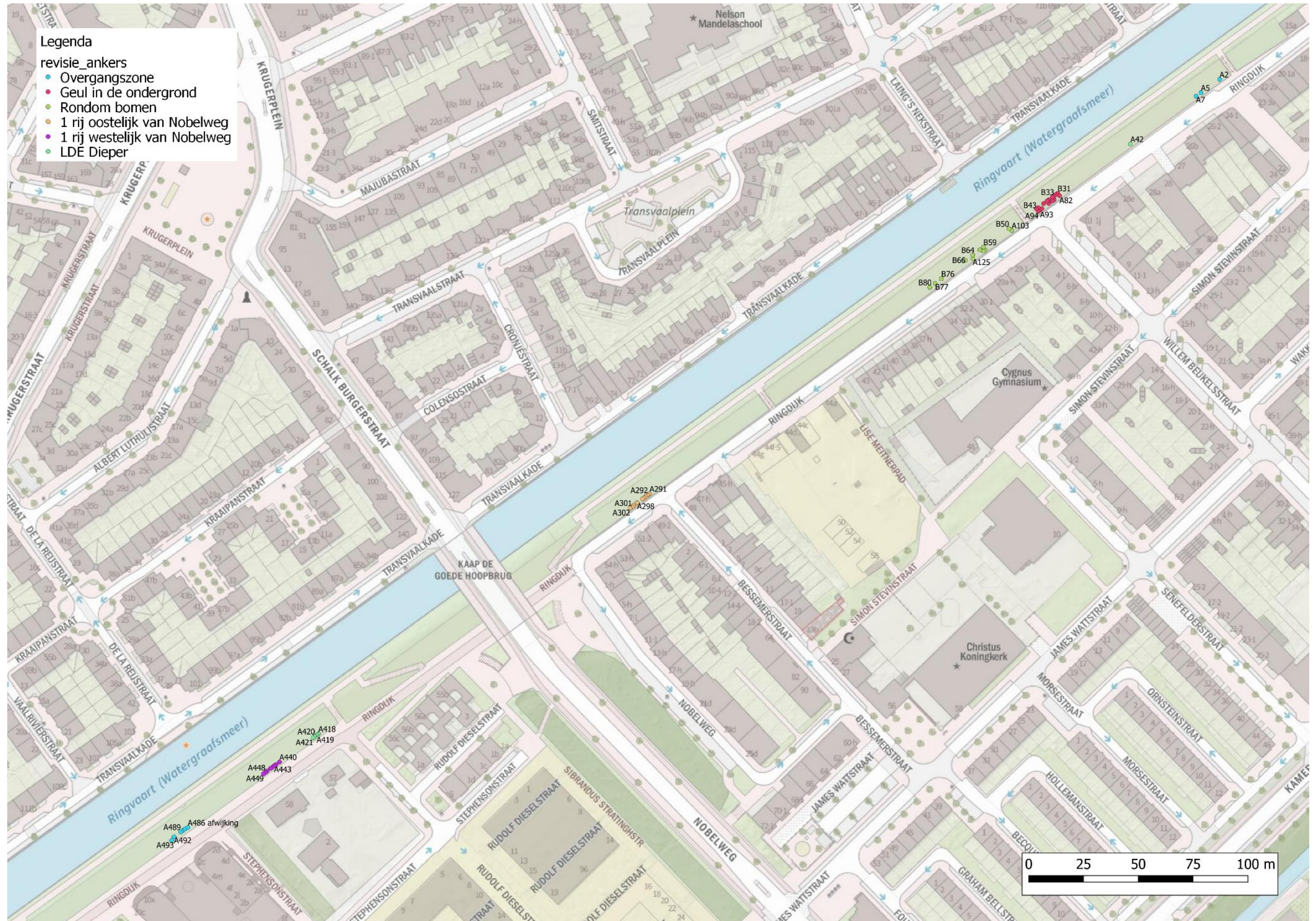
Eindrapportage	2022	2023			
	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4
Opstellen inhoudsopgave eindrapportage	■				
Voorleggen TC/BC		■			
Bespreking inhoudsopgave en aanpak met stuurgroep		■			
Opstellen eindrapportage		■	■	■	
Interviews en werksessies			■		
input vanuit postdictie, beheerplan en onderzoeksrapportages opnemen			■	■	
eindrapportage definitief					■
Indienen eindrapportage incl onderliggende stukken bij ENW					■
Presentatie pilotproject bij ENW					■

8 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, „Pilot JLD-Dijkstabilisator Watergraafsmeer - Werkplan 2023 nastel- en monitoringsfase pilot Watergraafsmeer,” 11-2022.
- [4] Antea Group, „Feitenrapportage 2022 Q1 - JLD-Dijkstabilisator Watergraafsmeer en Purmerend,” 06-2022.
- [5] Antea Group, „Feitenrapportage 2022 Q2 - JLD-Dijkstabilisator Watergraafsmeer en Purmerend,” 11-10-2022.
- [6] Antea Group, „Feitenrapportage 2022 Q3 - JLD-Dijkstabilisator Watergraafsmeer en Purmerend,” 11-2022.
- [7] Antea Group, „Pilot JLD-Dijkstabilisator Watergraafsmeer - Rapportage naspan- en herstelwerkzaamheden, 12- 2022.
- [8] Antea group, „Pilot JLD-Dijkstabilisator Watergraafsmeer - Werkplan 2021 nastel- en monitoringsfase pilot - rev01,” 11-2020.
- [9] Antea Group, „Interactieproef Purmerend 2018-2020 JLD-Dijkstabilisator - overzicht data voor nadere analyse,” 02-12-2020.
- [10] Antea Group, „Monitoringsrapportage 2020 - Watergraafsmeer - JLD-Dijkstabilisator,” 05-05-2021.
- [11] Antea Group, „Monitoringsrapportage deformatie LDE,” 12-2022.
- [12] Antea Group, „Monitoringsrapportage deformatie maaiveld en kopplaten,” 05-2022.
- [13] Antea Group, „Beheer- en onderhoudsplan JLD-Dijkstabilisator Ringdijk Watergraafsmeer revisie 05,” 27-5-2019.
- [14] Antea Group, „Inspectie en herstel - JLD-Dijkstabilisator Watergraafsmeer - concept,” 01-2021.
- [15] Antea Group, „Rapportage naspan- en herstelwerkzaamheden Watergraafsmeer,” 2022.
- [16] Antea Group, „VR13 Verloop voorspanning JLD-Dijkstabilisator V02,” 2019.
- [17] Antea Group, „Pilot JLD-Dijkstabilisator Watergraafsmeer - Onderzoeksvragen 7 en 11: Piping en kwel,” 03-2019.
- [18] Antea Group, „Pilot JLD-Dijkstabilisator Watergraafsmeer, onderzoeksvraag 15: evaluatie trillingen,” maart 2019.
- [19] Antea Group, „Pilot JLD-Dijkstabilisator Watergraafsmeer - Onderzoeksvraag 16 - Grondverdringing tijden het inbrengen,” 03-2019.
- [20] Antea group, „Inspectie 62 nodes - JLD-Dijkstabilisator Watergraafsmeer,” 2021.
- [21] Antea Group, „JLD-Dijkstabilisator Watergraafsmeer, As-built ontwerp,” 2019.
- [22] Antea Group, *pilot JLD-Dijkstabilisator Watergraafsmeer - Onderzoeksvraag 9 - beplanting*, 2019.
- [23] Antea Group, „Pilot JLD-Dijkstabilisator Watergraafsmeer - Werkplan 2021 nastel- en monitoringsfase,” 11-2020.

Bijlage 1: Dwarsprofielen Watergraafsmeer

Bijlage 2: Locatie analyse voorspanning



Bijlage 3: Spanningsverloop

Separaat opgeleverd

Bijlage 4: Financiële overzicht 2022

Bijlage 5: SAAF meting

De informatie die in dit rapport is opgenomen is uitsluitend bestemd voor de 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 is niet toegestaan, tenzij na schriftelijke toestemming door Antea Group en wordt u verzocht de gegevens te verwijderen en direct melding te maken bij security@anteagroup.nl. Derden, zij die niet geadresseerd zijn, kunnen geen rechten aan dit rapport ontleen, tenzij na schriftelijke toestemming door Antea Group.

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

E. jelle.tenbokkelhuinink@anteagroup.nl

www.anteagroup.nl

Copyright © 2020

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