

Beschouwing van de kwaliteit van de boorpalenwand

Onderzoek dijkversterking Kinderdijk-Schoonhovenseveer (KIS), fase 3



Auteur(s)

Huub De Bruijn
Marc Fransen

Foto voorpagina

Cees van der Wal

Beschouwing van de kwaliteit van de boorpalenwand

Onderzoek dijkversterking Kinderdijk-Schoonhovenseveer (KIS), fase 3

Opdrachtgever	Waterschap Rivierenland
Contactpersoon	de heer Van den Elzen
Referenties	Deltares. (Juli 2021). Spoedadvies Analyse waterveiligheid Kinderdijk-Schoonhovenseveer, kenmerk 11207207-002-GEO-0004. Deltares. (Februari 2022). Rapport Analyse waterveiligheid Kinderdijk-Schoonhovenseveer, met kenmerk 11207207-005-GEO-0016.
Trefwoorden	Dijkversterking Kinderdijk-Schoonhovenseveer, boorpalenwand, waterveiligheid, vernatting, vervorming

Documentgegevens

Versie	3.0
Datum	10-09-2024
Projectnummer	11208554-004
Document ID	11208554-004-GEO-0002
Pagina's	92
Classificatie	
Status	definitief

Auteur(s)

	Huub De Bruijn Marc Fransen	

Begrippenlijst

Afspankracht	De ontwerpkracht waarmee een ankerstreng wordt aangetrokken t.o.v. de boorpalen en gording. Ook wel voorspankracht genoemd.
Ankerlichaam	Het (grout)lichaam van de verankering dat de uittrekweerstand dient te mobiliseren.
Ankerstreng	Een bundel van kabels; meerder strengen vormen een strenganker
Betoneergrafiek	Een grafiek die het verbruikte volume gestort beton over de lengte van een boorpaal vergelijkt met het theoretische volume.
Boorpalenwand	Een langsconstructie in de waterkering bestaande uit boorpalen, gording en verankering die tot doel heeft de weerstand tegen instabiliteit te vergroten.
Buitenwaterstand	De waterstand aan de waterzijde (buitenzijde) van de kering, die direct onder invloed staat van waterstand op zee of de grote rivieren.
Controleproef verankering	Een belastingsproef op het anker om te controleren dat een anker een bepaalde ontwerpbelasting kan houden.
Discontinue wanden	Wanden waar de constructieve wandelementen niet aaneengesloten in het verlengde van elkaar worden aangebracht maar wel onderling met elkaar zijn verbonden door middel van een doorlopende gording.
Diepwand	Een verticaal in de grond geplaatste doorgaande wand die bestaat uit betonnen gewapende panelen, die tegen elkaar zijn gestort.
Dijktraject	Een deel van een primaire waterkering waarvoor in de (Water)wet een toelaatbare overstromingskans is geformuleerd.
Dijkvak	Een deel van een dijktraject waarin voor het te toetsen faalmechanisme min of meer gelijke geometrie, dijkopbouw, ondergrond en hydraulische belastingen mogen worden verondersteld.
Doorgaande wand	Een doorgaande langsconstructie waar de onderlinge elementen aansluitend zijn geplaatst en in zekere mate met elkaar zijn verbonden.
Eindige-elementenmethode	(EEM) Numerieke methode voor het - bij gegeven belastingen - berekenen van spanningen, vervormingen en waterspanningen in grond en/of constructies, door middel van discretisatie in ruimte en tijd.
Extreme hydraulische belastingcondities	De omstandigheden waarbij het in rekening te brengen waterspanningsverloop moet worden bepaald. Deze omstandigheden zijn verschillend voor binnenwaartse en buitenwaartse stabiliteit.
Faalmechanisme	De wijze waarop de waterkering zijn kerende functie verliest, bijvoorbeeld door macro-instabiliteit.
Falen	Het overschrijden van een grenstoestand.
Freatische vlak	De vrije grondwaterspiegel, waar de waterdruk gelijk is aan nul.

Groene dijk	Een dijk die zijn sterkte uitsluitend aan grond ontleent, zonder toepassing van constructieve elementen.
Geschiktheidsproef verankering	Een controleproef met een verlengde tijdsduur van de belasting op het anker.
Houdkracht	De maximale (ontwerp) belasting die een anker kan houden zonder te bezwijken.
Hydraulische kortsluiting	In dit rapport wordt hiermee bedoeld op een kortsluiting (lekkage) tussen de pleistocene zandlaag en de tussenzandlaag. Dit kan als gevolg van de installatie van de boorpalenwand optreden of heeft een natuurlijke oorsprong als gevolg van geologische processen.
Kortsluiting	Het aanwezig zijn van een al dan niet op natuurlijke wijze ontstane verbinding tussen verschillende watervoerende zandlagen of een verbinding tussen een watervoerende zandlaag en freatisch grondwater. Het is mogelijk dat er door menselijk handelen kortsluiting optreedt tussen verschillende watervoerende zandlagen, bijvoorbeeld tussen de tussenzandlaag en de pleistocene diepgelegen zandlaag.
Kruipmetingen	Onderdeel van controle- en geschiktheidsproeven is het meten van de verplaatsing van de ankerstreng wanneer deze maximaal wordt belast .
Lekkage	Een (veelal geconcentreerde) stroming door een slecht doorlatende laag als gevolg van een verbinding (kortsluiting) tussen verschillende watervoerende lagen. Voorbeelden zijn lekkage langs het anker of de boorpaal van het watervoerende pakket naar de freatische grondwaterstand.
Macrostabieleit	Weerstand tegen het optreden van een glijvlak in het talud en de ondergrond.
Opbarsten	Scheuren (bezwijken) van de binnendijs gelegen afdekkende laag, die is opgedreven als gevolg van een te grote wateroverspanning in de daaronder gelegen watervoerende laag.
Opdrijven	Opdrijven (hydraulische grondbreuk) treedt op als de waterdruk in de bodem groter wordt dan het gewicht van het bovenliggende grondpakket.
Overstromingskans	De kans dat een gebied overstroomt doordat een dijktraject zijn kerende functie verliest.
Palenwand	Een wand bestaande uit losstaande boorpalen, waarbij tussen de afzonderlijke palen bewust nog grond zit
Referentiehoogte	de referentiehoogte ofwel peil waaraan hoogtemetingen worden gerelateerd. Het Normaal Amsterdams Peil (meestal afgekort tot NAP) is de referentiehoogte in Nederland.
Risico	De kans van optreden van een ongewenste gebeurtenis maal de potentiële gevolgen van het optreden ervan.
Snijden	Het lokaal bezwijken van grond rond (of tussen) de constructieve elementen.
Strenganker	Een bundel van strengen

Unity Check	De verhouding tussen de rekenwaarde en de maximaal toelaatbare waarde van spanningen, krachten en momenten in constructies.
Verankering	De constructie waarmee een langsconstructie aan bovenzijde wordt vastgezet door verbinding met een dieper gelegen ankerlichaam.
Vernatting	Een structurele afname van de afstand tussen het maaiveld en de freatische grondwaterstand (of vrije waterspiegel). De afstand tussen het maaiveld en de freatische grondwaterstand is de ontwateringsdiepte. We spreken van vernatting bij afname van de ontwateringsdiepte, dus bij het dalen van het maaiveld bij een gelijkblijvende freatische grondwaterstand, bij het stijgen van de freatische grondwaterstand bij gelijkblijvend peil van het maaiveld, of bij een combinatie van deze effecten.
Wiggenblok	Rond blok waarin een aantal wigstoelen zitten waarin de wiggen van het strenganker zich vastzetten; wordt ook wel ankerschijf genoemd.
Wigstoel	Gat in wiggenblok waarin de wiggen zakken en zich vastzetten
Zetting	Verticale verplaatsing door inklinking van samendrukbare lagen in de ondergrond, als gevolg van een bovenbelasting, de eigen massa en verdere oorzaken.

Samenvatting

Het dijktraject Kinderdijk Schoonhovenseveer (KIS) is ruim 20 km lang en gelegen in het beheergebied van Waterschap Rivierenland (WSRL). In de periode van 2013 tot 2018 is 10 km van dit traject versterkt. Tijdens en na afronding van de dijkversterking zijn er klachten ontstaan bij de omwonenden, variërend van wateroverlast tot schade aan een aantal huizen. Een relatie met de werkzaamheden voor de dijkversterking wordt beschreven in het rapport 'De Lekdijk is Lek gestoken'. Hier wordt onder meer gesteld dat de waterveiligheid van de dijkversterking Kinderdijk Schoonhovenseveer kritiek is.

Naar aanleiding hiervan is door Deltares een onderzoek uitgevoerd in opdracht van Waterschap Rivierenland (WSRL) en is de waterveiligheid getoetst. Deltares concludeert onder meer dat er geen acuut waterveiligheidsrisico aanwezig is. Na afronding van dit onderzoek is dit voorgelegd aan het Expertise Netwerk Waterveiligheid (ENW). Het ENW was van mening dat Deltares in haar analyses met betrekking tot de waterveiligheid vertrouwd heeft op de kwaliteit van de toegepaste constructieve versterking in de vorm van een boorpalenwand, zonder een sluitende verklaring te geven voor de waargenomen vernatting en vervormingen.

Naar aanleiding van het ENW-advies heeft het waterschap Deltares gevraagd de kwaliteit van de boorpalenwand nader te beschouwen. Dit is gebeurd door onderzoek uit te voeren naar de integriteit en waterveiligheid van boorpalenwand in relatie tot effecten op de omgeving, zoals vernatting, vervorming en schade.

Voor het beantwoorden van deze vraag zijn de volgende onderzoeksvragen geformuleerd:

1. Hoe wordt de kwaliteit van de uitvoering en verwachte levensduur van de boorpalenwand beoordeeld? Zijn de data van de installatieprocesstappen en oplevergegevens voldoende om de kwaliteit van de boorpalenwand aan te tonen?
2. Experts droegen risico's aan voor een eventueel verminderde kwaliteit van de boorpalenwand. Wat is het eindoordeel over de kwaliteit op basis van bestudering van het opleveringsdossier en uitgevoerd (aanvullend) onderzoek?
3. Wat is het effect van een eventueel verminderde kwaliteit van de boorpalenwand op de waterveiligheid?

Om duidelijkheid te verkrijgen over de kwaliteit van de boorpalenwand is gestart met een expertsessie. Dit expertteam stelde vast dat er specifiek rondom het functioneren van de verankering, onderdeel van de boorpalenwand, onzekerheid bestaat. Aan de hand van deze bevindingen zijn subvragen geformuleerd met een focus op de installatie van de ankers, en is aanvullend onderzoek uitgevoerd. De bevindingen van dit onderzoek zijn meegenomen bij het beantwoorden van de onderzoeksvragen.

Het uitgevoerde onderzoek levert uiteindelijk de volgende resultaten.

Onderzoeksvraag 1: Hoe wordt de kwaliteit van de uitvoering en verwachte levensduur van de boorpalenwand beoordeeld? Zijn de data van de installatieprocesstappen en oplevergegevens voldoende om de kwaliteit van de boorpalenwand aan te tonen?

De uitvoering van de aanleg van de boorpalenwand is over het algemeen van voldoende kwaliteit als het gaat over de boorpalen. Dit oordeel is gebaseerd op een analyse van de aanlegmethode, het stortproces van de boorpalen en de bevindingen van het expert team.

Bij de uitvoering van de installatie van de boorpalen zijn de volgende kanttekeningen te plaatsen:

- In verband met het ontbreken van informatie in het opleverdossier over de afstandhouders van de betonwapening van de boorpaal is de betondekking op de wapening niet goed te controleren. Onvoldoende betondekking van de wapening van de boorpaal is een risico voor de levensduur.
- De kwaliteit van het beton voor de boorpalen is onvoldoende frequent gecontroleerd tijdens de uitvoering.

In aanvulling op het laatste punt is tijdens het overleg met de reviewcommissie van 19 januari 2023 opgemerkt dat, voor wat betreft de consistentie van het beton, in het werkplan is afgeweken van de eisen die hieraan zijn gesteld in de NEN 1536 en dat tijdens het werk beton is toegepast wat niet aan het werkplan voldeed. Door de afwijkende consistentie kan het zijn dat het beton onvoldoende om de wapeningskorven heen vloeit, wat kan leiden tot onvoldoende betondekking en wat daardoor van invloed kan zijn op de sterkte op de lange termijn. Daarom is op basis van nadere analyses van de betonkwaliteit kwantitatief gekeken naar de consequenties van het te stugge beton (lage consistentie) en te dunne beton (hoge consistentie) op de te verwachten momentcapaciteit van de boorpaal. Uit dit onderzoek volgt dat de overbetonnering de verwachte mindere kwaliteit van het beton volledig compenseert. Ook wordt op basis van dit aanvullende onderzoek ingeschat dat de in het ontwerp gehanteerde momentcapaciteit over de volledige planperiode van 100 jaar verzekerd is, zodat er geen sprake is van reductie van de sterkte of levensduur van de boorpaal.

Over de kwaliteit van de installatie van de strengankers bestaat onzekerheid. Op basis van de uitgevoerde analyses en de bevindingen van het expert team zijn de volgende risico's geïdentificeerd:

- De beschikbare data en oplevergegevens van de processtappen van de aanleg van de boorpalenwand zijn op het punt van de ankers onvoldoende gebleken om de kwaliteit met een hoge mate van zekerheid te kunnen aantonen.
- Er is twijfel over de installatiemethode en de afspanning van de verankering van de boorpalenwand. Het gaat hierbij om de resultaten van controle- en geschiktheidsproeven en het risico van uitspoelen van zand bij het anker.

Onderzoeksvraag 2: Experts droegen risico's aan voor een eventueel verminderde kwaliteit van de boorpalenwand. Wat is het eindoordeel over de kwaliteit op basis van bestudering van het opleverdossier en het uitgevoerd (aanvullend) onderzoek?

Op basis van het onderzoek wordt geconcludeerd dat de boorpalenwand functioneert zoals beoogd. Er is geen reden gevonden om aan te nemen dat de boorpalenwand op dit moment minder sterk is dan bepaald tijdens het ontwerp. Als gevolg van onzekerheden over de betondekking (als gevolg van afstandhouders en betonkwaliteit) dient voor de planperiode van 100 jaar met een vermindering van de sterkte rekening te worden gehouden.

Deze conclusie wordt onderbouwd met de conclusie over de uitvoering van de aanleg (Paragraaf 5.1) en de volgende uitkomsten van het aanvullend onderzoek:

- Na een herbeoordeling van de kruipmetingen van de controle- en geschiktheidsproeven is er geen reden gevonden aan de uitvoering van de groutankers te twijfelen (*antwoord op subvraag 4*).
- De uitgevoerde bureaustudie en berekening geven aan dat onder bepaalde omstandigheden de risico's op slecht werkende wiggens reëel kunnen zijn. Hierdoor kunnen de ankerstrengen los komen te zitten. Deze theoretische beschouwing kent echter een hoge mate van onzekerheid. Daarom is veldonderzoek uitgevoerd waarin 114 wiggens en strengen zijn geïnspecteerd.

Hierbij is slechts 1 geval geconstateerd waaraan getwijfeld kan worden. Dit risico wordt daarom als verwaarloosbaar klein beoordeeld (*antwoord op subvraag 5*).

- Gegeven de gehanteerde werkwijze is er een kans op uitspoelen van zand bij de installatie van de verankering. Het risico op het uitspoelen van zand wordt echter als klein beoordeeld omdat de stijghoogte onder normcondities in het zand te laag is om bij een aanwezige lekweg langs het anker tot zandtransport te leiden (*antwoord op subvraag 6*). Dit wil overigens niet zeggen dat er geen risico op lekkage via de verankering is.

Onderzoeksvraag 3: Wat is het effect van een verminderde kwaliteit van de boorpalenwand op de waterveiligheid?

In deze paragraaf zijn de effecten op de waterveiligheid gepresenteerd die van belang kunnen zijn bij een verminderde kwaliteit van de boorpalenwand. De daadwerkelijke evaluatie en beoordeling van die effecten vindt plaats in andere delen van het onderzoek, namelijk onderdeel A (Oorzaken vernatting) en onderdeel D (Beoordeling waterveiligheid).

Verminderde sterkte van de boorpalen

Uit onderzoek is gebleken dat er geen reductie van de ontwerpsterkte van de boorpalen binnen de planperiode wordt verwacht. De negatieve afwijkingen in betonkwaliteit worden ruimschoots gecompenseerd door het overgebruik van beton tijdens het betonnerproces. Ook hoeft geen rekening te worden gehouden met reductie van de sterkte op de langere termijn. De kans op aantasting van het betonijzer is gegeven in de dikte van de betondekking, de samenstelling van het beton is in de omgeving van de boorpaal verwaarloosbaar klein.

Lekkage boorpalenwand

De kans op verminderde houdkracht van de ankers als gevolg van uitspoeling van zand is verwaarloosbaar klein gebleken. Wel kan mogelijk vernatting optreden langs de ankerstreng. In onderdeel A van het onderzoek wordt de stijghoogte geanalyseerd die kan optreden in de tussenzandlaag als gevolg van een kortsluiting met de Pleistocene zandlaag.

Ankeruitval

Uit het veldonderzoek volgt dat er geen redenen zijn om aan te nemen dat de ankeruitval groter is dan de uitval van 10%, waarmee in het ontwerp rekening is gehouden. Hiervoor is dus geen vervolgonderzoek nodig.

Inhoud

	Begrippenlijst	4
	Samenvatting	7
1	Doelstelling onderzoek	13
1.1	Inleiding	13
1.2	Doelstelling onderzoek fase 3	14
1.3	Opzet onderzoek en leeswijzer	14
2	Expertsessie boorpalenwand	16
2.1	Aanpak expertsessie	16
2.2	Uitkomsten expertsessie	16
2.2.1	Data en oplevergegevens processtappen	16
2.2.2	Uitvoering aanleg boorpalenwand	17
2.2.3	Levensduur boorpalenwand	17
2.2.4	Hydraulische lekweg tussenzandlaag	18
2.2.5	Aanbevelingen vanuit de expertsessie	18
2.3	Analyse en uitkomsten expertsessie	18
2.3.1	Boorpalen	19
2.3.2	Opmerking vanuit de reviewcommissie met betrekking tot beton kwaliteit	19
2.3.3	Verankering	20
3	Analyse boorpalenwand	21
3.1	Consequenties afwijkingen betonkwaliteit op momentcapaciteit boorpaal	21
3.1.1	Technische onderbouwing sterkte boorpalen	22
3.1.2	Scenario's voor de kwaliteit en de momentcapaciteit van de boorpalen	23
3.1.3	Scenario's en effecten op de kwaliteit van het beton	24
3.1.4	Beschouwing van de levensduur van de boorpalenwand	24
3.1.5	Eindconclusie met betrekking tot de betonkwaliteit	25
3.2	Controle wiggen op speling en structurele werking	25
3.2.1	Vraagstelling	26
3.2.2	Methode van inbrengen strengankers	26
3.2.3	Methode van grouten, controleren en afspannen	29
3.2.4	Overleg met de aannemerscombinatie	31
3.2.5	Inventarisatie non-destructieve monitoring wiggen	32
3.2.6	Risico's van strengankers en de gehanteerde werkwijze	32
3.2.7	Scenario 2: 20 kN per streng is onvoldoende om vastzitten te garanderen	33
3.2.8	Scenario 3: wiggen raken los door een controleproef op het naastgelegen anker	34
3.2.8.1	Bepaling van de rek in de streng bij een afspanning van 20 kN	34
3.2.8.2	Verplaatsing van de gording bij het uitvoeren van een controle proef	34
3.2.8.3	Uitkomsten	36
3.3	Herbeschouwing kruipmetingen voor sterktebepaling van de ankers	37
3.3.1	Analyse kruipmetingen sectie F1-1	37
3.3.2	Evaluatie andere secties	38
3.3.3	Uitkomsten	39

3.4	Beschouwing kans op lekkage ankers en uitspoelen van zand	39
3.4.1	Heave berekening	39
3.4.2	Uitkomsten	41
3.5	Controle op het vastzitten van de wiggen op de strengankers	42
3.6	Belangrijkste uitkomsten nadere analyse boorpalenwand	44
4	Veldonderzoek verankering en vernatting	46
4.1	Doel inspectie	46
4.2	Uitkomsten	46
4.3	Samenvattingen per locatie ankerinspectie	48
4.3.1	Sectie F2	48
4.3.2	Sectie PQ1 (Boezem 15A-16)	49
4.3.3	Sectie XY (Nieuwe Veer 50-50B)	50
4.3.4	Sectie N (Lekdijk 17-19)	50
4.3.5	Sectie R (Boezem 3-3A)	51
4.3.6	Sectie L2 (Lekdijk 52)	51
4.4	Lekkage en grondwaterstanden	52
5	Conclusie	53
5.1	Kwaliteit (aanleg data) uitvoering en levensduur boorpalenwand	53
5.2	Eindoordeel kwaliteit boorpalenwand	54
5.3	Effect kwaliteit boorpalenwand op waterveiligheid	54
A	Briefrapport Feitelijke beschouwing storten boorpalen KIS i.r.t. afwijking 00187	55
A.1	Aanleiding	55
A.2	Stortproces van de boorpalen	56
B	Verslag expertsessie boorpalenwand	58
B.1	Inleiding	58
B.2	Conclusie expertsessie	58
B.3	Expertsessie	59
B.3.1	Electronic Boardroom Sessie	59
B.3.2	EBR-sessie Waterveiligheid	59
B.3.3	EBR-sessie Vernatting	60
B.3.4	Conclusie EBR	61
B.4	Tabel risico's waterveiligheid	61
B.5	Tabel risico's vernatting	63
C	Indraaigegevens ankers paneel H2	66
D	Beschouwing non-destructieve monitoringtechnieken	67
D.1	Radar	67
D.2	Rekmetingen strengen	67
D.3	Akoestische metingen	68

E	Gording berekeningen	69
E.1	Stap 1 Handsom 2D controleproef en afspannen:	69
E.2	Stap 2 PLAXIS som boven en ondergrens:	70
E.3	Stap 3 2D som puntlast grondondersteuning:	71
F	Resultaat controleproeven sectie F	73
G	Resultaat controleproeven sectie AC	74
H	Fotoverslag vervanging paneel F2-2	75
I	Literatuurstudie minimale afspankacht strengankers	78
I.1	Literatuurstudie naar minimale afspankracht en krachtenwerking wig/wigstoel	78
I.2	Verdere analyse op basis van Thompson	79
I.3	Uitkomsten	80
J	Consistentie van de gebruikte beton	82
J.1	Probleemstelling	82
J.2	Analyse vanuit opleverdossier	83
J.2.1	Het werkplan.	83
J.2.2	NEN 1536	84
J.2.3	Conclusie Werkplan vs NEN 1536	85
J.3	Toepassing van de eisen	85
J.3.1	Steekproef vanuit opleverdossier	85
J.4	Conclusie met betrekking tot de consistentie van de beton	87
K	Memo onderbouwing van de sterktereductie van de boorpalenwand	88
L	Register met wijzigingen	89
M	Referenties	90

1 Doelstelling onderzoek

1.1 Inleiding

Het dijktraject Kinderdijk Schoonhovenseveer (KIS) is ruim 20 km lang en gelegen in het westelijk deel van het beheergebied van Waterschap Rivierenland (WSRL). In de periode van 2013 tot 2018 is 10 km van dit traject versterkt. Bij deze versterking zijn verschillende versterkingsvarianten toegepast: grondbermen, stalen damwanden, diepwanden, barettenwanden en boorpalenwanden. In de keuze voor deze versterkingen was de aanwezigheid van lintbebouwing langs de dijk leidend. Tijdens en na afronding van de dijkversterking zijn er klachten ontstaan bij de omwonenden, variërend van wateroverlast tot schade aan een aantal huizen.

In het rapport 'de Lekdijk Lekgestoken!' (Baars, April 2021), wordt een relatie gelegd tussen de werkzaamheden uitgevoerd ten behoeve van de dijkversterking en de gemelde schades. Daarnaast wordt in dat rapport de installatie van de boorpalenwand in verband gebracht met de vernatting achter de dijk. Naast wateroverlast wordt gesteld dat de waterveiligheid in het geding is bij een met een boorpalenwand versterkte dijk.

In April 2021 was dit aanleiding voor Waterschap Rivierenland om Deltares te vragen een onafhankelijk onderzoek uit te voeren naar de waterveiligheid van de dijk en de uitvoering van de dijkversterking. Het onderzoek van Deltares heeft bestaan uit twee fases. De meest urgente vraag, of er sprake is van een acuut waterveiligheidsrisico, is onderzocht in fase 1. De belangrijkste conclusie uit dit onderzoek (Deltares, Juli 2021) was:

“Uit het door Deltares uitgevoerde onderzoek van de waterveiligheid van de dijk tussen Kinderdijk – Schoonhovenseveer zijn er geen aanwijzingen gevonden dat er sprake is van een acuut waterveiligheidsrisico. Ook met inachtneming van nieuwe inzichten voor waterspanningen en realisatie van de constructieve elementen voldoet de huidige dijk nu (ruim) aan de destijds geldende norm en ontwerpmethodiek met betrekking tot de waterveiligheid op basis waarvan deze in de periode van 2013 tot 2018 is versterkt.”

In fase 2 van het onderzoek is onderzocht of de dijkversterking op de juiste manier is uitgevoerd en of dit mogelijk heeft geleid tot schade en overlast in de omgeving. De belangrijkste conclusie uit dit onderzoek (Deltares, Februari 2022) was:

“Er is besloten de toelaatbare vervormingen van de panden te verruimen. Dit door van een maximaal toelaatbare absolute verplaatsing over te gaan op een maximaal toelaatbaar verschil in verplaatsing over een bepaalde afstand (hoekverdraaiing). Het monitoringsplan is hierbij niet aangepast. Er is niet frequent genoeg en niet op voldoende plaatsen gemonitord. Dat schade aan panden is opgetreden lijkt het gevolg van het toelaten van meer vervorming en het ontbreken van mogelijkheden om via monitoring adequaat bij te sturen.”

Het Deltares-onderzoek is het door het Expertise Netwerk Waterveiligheid (ENW) geëvalueerd. In haar advies (ENW, December 2021) wordt het volgende zorgpunt aangegeven:

“Hoewel boorpalen vaker worden toegepast, is de goede kwaliteit niet bij elke bodemopbouw vanzelfsprekend. Bij Kinderdijk-Schoonhovenseveer betreft het een eerste toepassing bij een dijkversterking.”

Voor wat betreft de waterveiligheid wordt hier aan toegevoegd:

“De waargenomen vernatting en vervorming, in combinatie met de specifieke kenmerken van de omgeving, maken dat naar het oordeel van het ENW niet zonder meer op de goede kwaliteit van de boorpalen gerekend mag worden. Het is naar mening van het ENW

onbevredigend dat in de analyse van Deltares op de kwaliteit van de boorpalen wordt vertrouwd zonder sluitende verklaring voor de vernatting en de vervormingen. Voor een definitief oordeel over de waterveiligheid wordt onderzoek naar de oorzaak van de vernatting en de gerealiseerde kwaliteit van de boorpalen aanbevolen.”

Naar aanleiding van het ENW advies heeft Waterschap Rivierenland Deltares gevraagd de kwaliteit van de boorpalenwand nader te beschouwen. Dit is onderdeel van fase 3 van het onderzoek Kinderdijk-Schoonhovenseveer.

1.2 Doelstelling onderzoek fase 3

De doelstelling van fase 3 is het uitvoeren van onderzoek naar de integriteit en waterveiligheid van boorpalenwand in relatie tot effecten op de omgeving, zoals vernatting, vervorming en schade. Het gehele onderzoek in deze fase bestaat uit de volgende onderdelen:

- A. Onderzoek naar de oorzaken van de vernatting in het gebied langs de dijk.
- B. Het onderzoeken of er technische maatregelen of mogelijkheden zijn om overlast door vernatting te beperken.
- C. De beschouwing van de kans en het gevolg van een mindere kwaliteit van de boorpalenwand voor de waterveiligheid van de dijk na dijkversterking.
- D. Het beoordelen van de waterveiligheid van de dijkversterking met een boorpalenwand in relatie tot de opgetreden vervormingen.

In voorliggend rapport wordt onderdeel C gerapporteerd.

Noot: de individueel gemelde schadegevallen naar aanleiding van de dijkversterking vormen geen onderdeel van het onderzoek.

1.3 Opzet onderzoek en leeswijzer

De hoofdvraag van onderdeel C is dus of de ontworpen boorpalenwand ook daadwerkelijk conform specificatie is gerealiseerd en functioneert. Met de boorpalenwand (BPW) wordt het hele systeem van boorpalen, gording en verankering bedoeld.

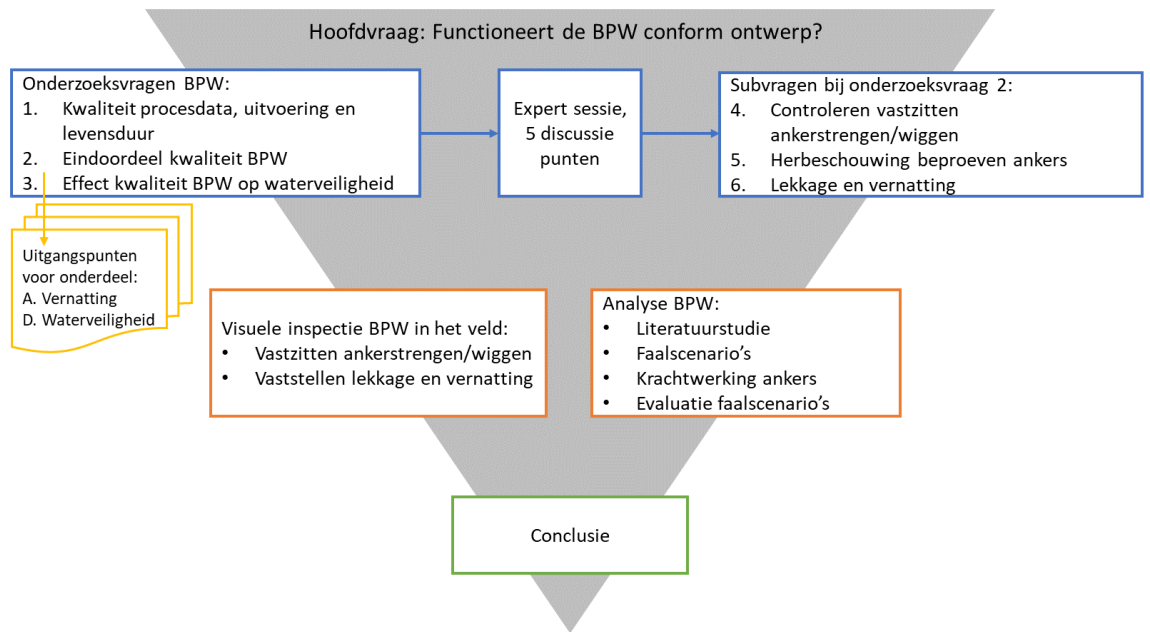
Voor het beantwoorden van de hoofdvraag zijn de volgende onderzoeksvragen geformuleerd:

1. Hoe wordt de kwaliteit van de uitvoering en verwachte levensduur van de boorpalenwand beoordeeld? Zijn de data van de installatie processtappen en oplevergegevens voldoende om de kwaliteit van de boorpalenwand aan te tonen?
2. Experts droegen risico's aan voor een eventueel verminderde kwaliteit van de boorpalenwand. Wat is het eindoordeel over de kwaliteit op basis van bestudering van het opleveringsdossier en uitgevoerd aanvullend onderzoek?
3. Wat is het effect van een eventueel verminderde kwaliteit van de boorpalenwand op de waterveiligheid?

Het beantwoorden van deze onderzoeksvragen levert resultaten en uitgangspunten op voor andere delen van het onderzoek, met name voor onderdeel A (Oorzaken vernatting) en onderdeel D (Beoordeling waterveiligheid).

Op basis van de onderzoeksvragen 1 t/m 3 is eerst een expertsessie georganiseerd, met een expertteam waarin zowel ontwerp- als praktijkkennis over de bouw van een dergelijke wand in sterke mate aanwezig zijn. De sessie richt zich op de technische uitvoering van het werk en de kwaliteit van de boorpalenwand op de lange termijn.

Naast uitkomsten op de bovengenoemde aspecten levert de sessie een aantal aanbevelingen (subvragen 4 t/m 6 in Figuur 1.1) op voor het vervolg van het onderzoek. Dit wordt gepresenteerd in Hoofdstuk 2.



Figuur 1.1 Routekaart onderzoek kwaliteit boorpalenwand (BPW).

In de expertsessie is vastgesteld dat er vooral onzekerheid bestaat over het functioneren van de verankering. Voor de analyse van de methode van aanleg van de boorpalenwand, met een focus op de installatie van de ankers, zijn de volgende onderdelen uitgevoerd:

- Uitvoering van een literatuurstudie.
- Ontwikkeling van een aantal faalscenario's.
- Analyse van de krachtwerking tussen ankerstrengen, wiggen en ankerschoen.
- Numerieke analyse en evaluatie van de faalscenario's.

Deze analyses en uitkomsten worden gepresenteerd in Hoofdstuk 3.

Na analyse van het risico op het niet goed functioneren van de verankering is besloten om op een aantal locaties visuele inspecties uit te voeren. Hiervoor zijn de gording en ankerkoppen vrij gegraven en geïnspecteerd. Ook is de mate van vernatting onderzocht. Dit veldonderzoek is beschreven in Hoofdstuk 4.

Als laatste stap worden alle uitkomsten in Hoofdstuk 5 bij elkaar gebracht. Op basis hiervan worden de conclusies getrokken over de kwaliteit van de boorpalenwand en de scenario's met betrekking tot de sterkte van de wand.

2 Expertsessie boorpalenwand

2.1 Aanpak expertsessie

Om de hoofdvraag van het onderzoek (onderdeel C) te beantwoorden is gestart met een expertsessie, gericht op de realisatie van de boorpalenwand. Het team bestond uit 4 experts, afkomstig uit de aannemerij (2), adviesbureau (1) en toegepast onderzoek (1). De experts zijn geselecteerd op hun praktijkervaring met in de grondgevoerde constructies. De expertsessie bestaat uit twee delen, een risicobepaling door middel van een Electronic Board Room (EBR) sessie en een gezamenlijke discussie van het expertteam over een vijftal vragen. Ter voorbereiding is er een kennisdelingssessie gehouden en zijn relevante rapportages en verificatie rapporten uit het oplever dossier van de dijkversterking gedeeld.

Het eerste deel van de sessie is gericht op het in kaart brengen en kwantificeren van risico's die de kwaliteit van de boorpalenwand kunnen beïnvloeden. Dit bestaat uit twee stappen:

- **Risico inventarisatie:** Wat zijn de risico's gegeven de werkprocedure installatie van de boorpalen en verankering? Dit tegen de achtergrond van de opbouw van de ondergrond en de wisselende waterdruk in de zandlaag als gevolg van getijdewerking.
- **Risico kwantificatie:** Per risico: wat is de kans van optreden en wat zijn de potentiële gevolgen van het optreden van een bepaald risico?

In het tweede deel van de sessie is een terugkoppeling gegeven van de resultaten van het eerste gedeelte en wordt de experts gevraagd te reageren op de volgende punten:

1. Zijn de oplevergegevens en de data uit de processtappen die bekend zijn van de boorpalenwand voldoende om de kwaliteit van de boorpalenwand aan te tonen?
2. Hoe beoordeelt het expertteam de uitvoering van de aanleg van de boorpalenwand, inclusief verankering?
3. Hoe beoordeelt het expert team de levensduur van de boorpalenwand, inclusief verankering?
4. Hoe waarschijnlijk acht het expertteam dat er door de aangelegde constructie een hydraulische lekweg met de aanwezige zandlagen in de ondergrond is ontstaan, of in de toekomst kan ontstaan?
5. Hoe groot is de kans dat een boorpaal minder sterk is, wat is daar de reden van (structureel of incidenteel) en wat zijn de gevolgen voor de boorpalenwand? Is een inschatting te geven van de eventuele sterktereductie van een paal of een groep palen?

2.2 Uitkomsten expertsessie

In deze paragraaf worden de vragen gesteld aan het expert team in Paragraaf 2.1 behandeld. Het verdere verslag van de expertsessie is opgenomen in bijlage B.

Wanneer in onderstaande beantwoording wordt gesproken over de "geleverde resultaten", of "beschikbare data" wordt verwezen naar documenten die voorafgaande aan de expertsessie ter voorbereiding zijn gedeeld met de experts. Deze documenten zijn afkomstig uit het opleverdossier van de dijkverbetering KIS, en zijn opgesteld door de aannemerscombinatie "De Molenwaard".

2.2.1 Data en oplevergegevens processtappen

Vraag 1: Zijn de verstrekte oplevergegevens en de data uit de processtappen van de boorpalenwand voldoende om de kwaliteit van de boorpalenwand aan te tonen?

Op basis van de aangeleverde gegevens met betrekking tot de ankers geven de experts aan dat deze onvoldoende zijn om de kwaliteit van de ankers met een hoge mate van zekerheid

aan te tonen. Op de ankers zijn na aanleg controle- en geschiktheidstesten uitgevoerd. De testgegevens voor de kruipmetingen zijn echter te uniform, waardoor er twijfel is over de betrouwbaarheid ervan. Op basis van de geleverde resultaten geven de experts aan dat de wiggen mogelijk niet goed vast zitten en er lekkage kan ontstaan langs de ankers.

Voor de ankers wordt geadviseerd tot controle van de wiggen, monitoren lekkage en herzien van de interpretatie van de kruipmetingen.

2.2.2 Uitvoering aanleg boorpalenwand

Vraag 2: Hoe beoordeelt het expertteam de uitvoering van de aanleg van de boorpalenwand, inclusief verankering?

Met betrekking tot de boorpalen geeft het expertteam aan dat ze geen zorgen hebben over de kwaliteit en geven aan dat de constructie robuust is uitgevoerd. Er zijn een aantal aspecten die van invloed zijn op de kwaliteit en duurzaamheid van de boorpalen. Dit is het effect van de waterstand tijdens vervaardigen van de boorpalen en de excentriciteit van de wapening in de boorpaal, die kan leiden tot lokaal minder betondekking.

Op basis van de beschikbare data geeft het expertteam aan dat de kwaliteit van de uitvoering van de ankers niet goed te beoordelen is. Over de verankering oordeelt het expertteam dat, wanneer deze goed is uitgevoerd, de constructie naar behoren zal functioneren. In het ontwerp is de houdkracht mogelijk overschat, maar door zetting van grond op termijn zit er nog reserve in de houdkracht. Daarnaast is er onduidelijke informatie over de uitgevoerde afspanprocedure en de resultaten (kruipmetingen) van de op de ankers uitgevoerde controle- en geschiktheidstesten.

Als toelichting vanuit de resultaten van de EBR sessie wordt verder nog aangegeven dat het onvoldoende doorgrouwen van de ankers en het boven het groutlichaam leegspoelen van de boorbuis met water mogelijk tot lekwegen leidt. Deze kunnen bijdragen aan de vernatting, en mogelijk ook nadelig zijn voor de lange termijn houdkracht van de ankers.

2.2.3 Levensduur boorpalenwand

Vraag 3: Hoe beoordeelt het expertteam de levensduur van de boorpalenwand, inclusief verankering?

Voor de levensduur van de boorpalenwand is voornamelijk aandacht gegeven aan de eventuele gevolgen van de uitvoering op termijn, zoals het effect van lekkages. Voor de ankers geeft het expertteam aan dat de levensduur van de boorpalenwand in zijn geheel wordt beïnvloed door de mogelijke lekweg langs de ankers en eventuele speling bij de wiggen. Op basis van de huidige gegevens kan de levensduur niet worden beoordeeld voor een periode van 50 of 100 jaar. Om hier meer zekerheid over te krijgen geven de experts aan dat monitoring van lekkage (inspecties) langs de ankers nodig is.

Mocht een lekkage worden aangetroffen, dan kan als maatregel de ruimte rond de ankerstangen worden afgevuld met cement-bentoniet.

De huidige kruipmetingen voor de ankers worden voorlopig beoordeeld als niet afdoende voor de levensduur voor een periode van 50 of 100 jaar. Extra controle van de kruipmetingen dienen te worden uitgevoerd.

2.2.4 Hydraulische lekweg tussenzandlaag

Vraag 4: Hoe waarschijnlijk acht het expertteam dat er door de aangelegde constructie een hydraulische lekweg met de aanwezige zandlagen in de ondergrond is ontstaan, of in de toekomst kan ontstaan?

De aanwezigheid van een tussenzandlaag die op geringe afstand van de pleistocene zandlaag ligt geeft een hoger risico op vorming van een lekweg. In die situatie wordt geconcludeerd dat de kans groot is dat er bij een aantal ankers sprake zal zijn van een hydraulische lekweg als gevolg van het vrijspoelen van de ankers. Daardoor is vernatting bij de ankers plausibeler dan bij de boorpalen. Op termijn kan deze lekkage langs de ankers tot verminderde houdkracht leiden, in geval de (zandmeevoerende) lekkage niet vanuit de tussenzandlaag maar uit de diepe zandlaag komt.

Door de grote verschillen in dikte van de tussenzandlaag is het mogelijk dat er door onvoldoende grouten bij de ankers een hydraulische lekweg is ontstaan. Zoals uit de EBR resultaten blijkt zal dit vooral een gevolg/impact hebben in de vorm van vernatting en in mindere mate een risico vormen voor de waterveiligheid.

Gevolgen van gereduceerde sterkte (vraag 5)

Vraag 5: Hoe groot is de kans dat een boorpaal minder sterk is, wat is daar de reden van (structureel of incidenteel) en wat zijn de gevolgen voor de boorpalenwand? Is een inschatting te geven van de eventuele sterktereductie van een paal of een groep palen?

Voor de kans dat een boorpaal minder sterk is geeft het expertteam aan dat op basis van deze gegevens de boorpaal op 90% van de ontwerpsterkte zit. Wat betreft de ankers is er extra informatie nodig met betrekking tot interpretatie van de kruipmetingen, controle van wiggen en monitoring van lekkage (zie verder de aanbevelingen). Er is geen inschatting gegeven van de eventuele sterktereductie van een paal of een groep palen.

2.2.5 Aanbevelingen vanuit de expertsessie

Op basis van de EBR-sessie en de vijf vragen besproken in de discussie komt het expertteam tot de volgende aanbevelingen:

1. Interpreteer de kruipmetingen opnieuw voor de sterktebepaling van de ankers, en kom op basis daarvan tot een herziening van de levensduur;
2. Controleer de wiggen van de strengverankering op speling om te zien of zij hun structurele werking hebben.
3. Voer monitoring uit bij hoogwater voor het controleren op lekkages:
 - Specifieke locatie voor monitoring zijn de locaties van sonderingen 67 en 76. (Noot: deze gebieden worden al meegenomen in het monitoringsplan).
 - Bij aanwijzingen van lekkages in dit gebied wordt geadviseerd om (een deel van) de ankers open te graven en te kijken of daar zand of watertransport langs het anker te vinden is.

2.3 Analyse en uitkomsten expertsessie

Naar aanleiding van de expertsessie en verdere analyse zijn de volgende uitkomsten geformuleerd.

2.3.1 Boorpalen

Uit de beschikbare data en oplevergegevens van de processtappen van de aanleg van de boorpalenwand kan worden vastgesteld dat de boorpalen met voldoende kwaliteit zijn uitgevoerd. Deze uitkomst wordt onder andere als volgt onderbouwd:

- Bij de installatie van de boorpalen zijn vervormingen opgetreden als gevolg van het feit dat de vers gestorte betonkolom een hoog volumiek gewicht heeft. Dat levert een hoge horizontale druk op die ervoor zorgt dat de slappe, holocene grond verplaatst. De diameter van de boorpalen krijgt hierdoor een enigszins grotere diameter dan de nominale. Dit is besproken aan de hand van de betoneergrafieken en het is in lijn met hetgeen verwacht had kunnen worden. Uit (Deltares, 2022) volgt dat dit in sommige gevallen heeft geleid tot overschrijding van de maximale horizontale grondverplaatsing. Dit was door de aannemer niet verwacht en is daardoor slechts beperkt gemonitord.
- Naar aanleiding van de bijlage bij het ENW advies (ENW, December 2021) is gekeken naar het stortproces van het beton bij de installatie van de boorpalen. In deze bijlage wordt verwezen naar een Voorstel Tot Wijziging (VTW) in het opleverdossier over het stortproces. Door Deltares is een reactie op deze bijlage opgesteld en vastgelegd in een briefrapport (Deltares, 2023). Hierin staat toegelicht dat het stortproces van de boorpalen is uitgevoerd volgens de voorschriften (EN1536), waarbij de paal met een plunjerbuis van onderaf wordt gevuld. Voor de volledigheid is het genoemde briefrapport als bijlage aan dit rapport gevoegd (zie Bijlage A). Hieruit wordt geconcludeerd dat de correcte stortprocedure in het werkplan is verwoord. Het is niet aannemelijk dat de palen niet conform het werkplan werden uitgevoerd. Daarnaast wordt lekkage door een paal ten gevolge van verkeerd storten (ontmenging) van de paal door de experts als een onrealistisch scenario bestempeld.

In het opleverdossier zijn geen gegevens over afstandshouders voor de wapening aangetroffen. Daarnaast zijn de kwaliteitskeuringen van het betonmengsel in onvoldoende mate terug te vinden zijn in het dossier (zijn er wel maar niet van elke vracht).

Op basis hiervan zijn de experts van mening dat er een kans is dat er lokaal minder betondekking op het staal aanwezig is. Dit kan gevolgen hebben voor de sterkte van de boorpaal.

2.3.2 Opmerking vanuit de reviewcommissie met betrekking tot beton kwaliteit

Tijdens de vergadering met de reviewcommissie van 19 januari 2024 is er eveneens op gewezen dat het werkplan afwijkt van de NEN1536 (geldend voor boorpalenwanden) op het gebied van de eisen met betrekking tot de consistentie van het beton.

Vanuit de reviewcommissie wordt opgemerkt dat voor de uitvoering van de boorpalenwand een werkplan werd gehanteerd dat niet aan de norm voldoet en dat bij de uitvoering van de boorpalenwand niet conform het werkplan is gewerkt. Met name de zetmaat van het toegepaste beton is te laag, waardoor het beton relatief stug reageert en er een kans bestaat dat het beton niet geheel om de wapening heen is gestroomd, met verticale kanaaltjes langs de buitenzijde van de paal met een verminderde sterkte tot gevolg.

In Bijlage J is deze opmerking verder toegelicht en is deze geverifieerd op basis van het opleverdossier. Hieruit volgt dat:

- De zet- en de schudmaat uit het werkplan vallen binnen de eisen die zijn vastgesteld in de NEN1536. De NEN1536 schrijft een schudmaat van 530-600 mm voor, terwijl het werkplan een nauwere band voor de schudmaat van 550-600 mm voorschrijft. Daarmee blijft dit binnen de grenzen van de NEN. De zetmaat eis uit het werkplan is 180-210 mm en daarmee eveneens “strenger” dan de NEN1536 die een minimale zetmaat van 160 mm voorschrijft.

De in het werkplan voorgeschreven frequentie van keuren is te laag en wijkt af van de NEN. Deze keuze wordt in het werkplan gemotiveerd omdat het beton ook op de centrale is gekeurd en daarom aan visuele controle en steekproeven voldoen. De keuringsgegevens van de centrale zijn niet beschikbaar.

Wanneer de resultaten van de schudmaatproeven vanuit het opleverdossier worden beschouwd, worden schudmaten gevonden die hoger en lager liggen dan de gestelde eisen in het werkplan, en dus ook ten opzichte van de NEN1536. Dit terwijl er op de keuringspapieren overal het resultaat "Oké" aan is gegeven. Bij schudmaten < 500 mm hadden die volgens het werkplan en de NEN moeten worden afgekeurd.

Op basis van deze bevindingen is nader geanalyseerd wat de consequenties hiervan kunnen zijn op de sterkte van de boorpaal.

2.3.3 Verankering

Op basis van de beschikbare data stelt het expertteam vraagtekens bij de kwaliteit van de verankering van de boorpalenwand. De belangrijkste oorzaken zijn:

- De beschikbare data en oplevergegevens van de processtappen van de installatie van de ankers zijn onvoldoende om de kwaliteit met een hoge mate van zekerheid te kunnen aantonen.
- De onduidelijke informatie over de uitgevoerde afspanprocedure en de relatief kleine kracht waarmee de ankers zijn afgespannen.
- Bij installatie van de ankers is het mogelijk dat er door onvoldoende grouten boven de zandlaag en overmatig schoonspoelen van het boorgat een hydraulische lekweg is ontstaan. Dit kan bijdragen aan vernatting en, door uitspoeling van zand, aan de vermindering van de houdkracht van de ankers op langere termijn.

Dit heeft geleid tot een drietal subvragen voor het vervolg van het onderzoek met betrekking tot het eindoordeel van de kwaliteit van de boorpalenwand (onderzoeksvraag 2). Het gaat hierbij om de volgende aspecten:

4. Controleren van het vastzitten van de ankerstrengen en wiggen.
5. Herbeschouwing beproeven ankers: interpretatie van kruipmetingen.
6. Lekkage en vernatting, met name de kans van vermindering van de ankerhoudkracht als gevolg van zanduitspoeling.

Dit wordt verder uitgewerkt in Hoofdstuk 3.

3 Analyse boorpalenwand

Uit de aanbevelingen en uitkomsten van de expertsessie (Paragraaf 2.2.5 en 2.3) is vervolgonderzoek gedefinieerd, dat zich heeft gericht op de boorpaal en op de verankering van de boorpalenwand. Achtereenvolgens worden in dit hoofdstuk de volgende uitgevoerde activiteiten gepresenteerd:

- Wat zijn de consequenties van de afwijkingen van de betonkwaliteit op de momentcapaciteit (sterkte) van de boorpalen
- Controle van de wiggen van de strengverankering op speling en structurele werking (*Subvraag 4*, zie Paragraaf 3.2).
- Herbeschouwing van de kruipmetingen voor de sterktebepaling van de ankers (*Subvraag 5*, zie Paragraaf 3.3).
- Beschouwing kans op lekkage langs de ankers en kans op uitspoelen van zand langs de verankering (*Subvraag 6*, zie Paragraaf 3.4).
- Vervolgonderzoek met betrekking tot de controle op het vastzitten van de wiggen van de strengankers (*Subvraag 4*, zie Paragraaf 3.5).

3.1 Consequenties afwijkingen betonkwaliteit op momentcapaciteit boorpaal

Vanuit de reviewcommissie wordt opgemerkt dat voor de uitvoering van de boorpalenwand een werkplan werd gehanteerd wat niet aan de norm voldoet en dat er bij de uitvoering van de boorpalenwand niet conform dit werkplan is gewerkt. Met name de schudmaat van het toegepaste beton is te laag, waardoor het beton relatief stug reageert en er een kans bestaat dat het beton niet geheel om de wapening heen is gestroomd. Ook kan de kwaliteit van de boorpaal minder zijn door een grotere porositeit van de betondekking.

In de waterveiligheidsbeschouwing van de boorpalenwand is een scenario meegenomen waarbij de sterkte met 10% is gereduceerd. Deze 10% is de ondergrenswaarde van een inschatting, gebaseerd op de bevindingen van de experts. Zij gaven aan dat er onvoldoende kwaliteitskeuringen op het geleverde beton zijn uitgevoerd. De resultaten van de keuringen die wel zijn uitgevoerd voldoen in een aantal gevallen niet aan de norm. De dikte en kwaliteit van de betondekking wordt hierdoor onvoldoende gewaarborgd.

Toelichting

In Bijlage J is bovenstaande opmerking verder toegelicht en is deze geverifieerd op basis van het opleverdossier. Hieruit volgt dat de zet- en de schudmaat uit het werkplan valt binnen de eisen gesteld in de NEN1536. De NEN1536 schrijft een schudmaat van 530-600 mm voor, terwijl het werkplan een nauwere band voor de schudmaat voorschrijft, 550-600 mm en daarmee dus binnen de grenzen van de NEN blijft. De zetmaat eis uit het werkplan is 180-210 mm en daarmee eveneens "strenger" dan de NEN1536, die een minimale zetmaat van 160 mm voorschrijft.

De in het werkplan voorgeschreven frequentie van keuren tijdens de installatie van de boorpalen is te laag en wijkt af van de NEN. Deze keuze wordt in het werkplan gemotiveerd omdat de beton op de centrale al is gekeurd zodat visuele controle en steekproeven volstaan. De keuringsgegevens van het beton van de centrale zijn echter niet beschikbaar. Los daarvan moet volgens de norm het beton op het moment van verwerken worden beproefd.

In voorliggende onderbouwing wordt eerst ingegaan op de kwaliteit van het toegepaste beton. Daarna wordt gekeken naar de mogelijke effecten van de kwaliteit van het beton op de momentcapaciteit van de boorpaal zoals deze in de grond aanwezig is. Tot slot wordt gekeken naar de lange duur effecten op de momentcapaciteit als gevolg van aantasting van het beton door eventueel mindere kwaliteit en dikte van de betondekking.

3.1.1 Technische onderbouwing sterkte boorpalen

De technische onderbouwing is gebaseerd op het memo van de BAM, die als bijlage K bij dit rapport is gevoegd. In voorliggende hoofdstuk worden de volgende stappen beschreven:

1. Op basis van een steekproef van de uitgevoerde betontesten wordt gekeken naar de kans dat bepaalde afwijkingen met betrekking tot de betonkwaliteit zich voordoen.
2. De werkelijke diameter van de boorpalenwand zoals gerealiseerd.
3. Per afwijking wordt gekeken naar de mogelijk invloed op de sterkte van de boorpaal.
4. Per afwijking wordt gekeken naar de mogelijke invloed op de levensduur van de boorpaal.

Werkelijk gerealiseerde boorpalen

Op basis van het opleverdossier van de dijkversterking is beschouwd wat de kans is op een verminderde betonkwaliteit enerzijds en de werkelijke in het veld aanwezige diameter van de boorpaal anderzijds.

Kans op afwijkingen in de betonkwaliteit

Uit een steekproef uitgevoerd op 25 beschikbare testen van de schudmaat wordt het volgende overzicht gevonden.

Tabel 3.1 Overzicht van de schudmaatbepalingen overgenomen uit Bijlage K.

aantal controleproeven	vastgestelde schudmaat	opmerkingen
1	F3 (420-480)	
1	Op grens F3-F4	
7	F4 (490-550)	
1	Op grens F4-F5	
11	F5 (560-620)	
4	F6 (≥ 630)	1 monster geeft bleeding

Uit de tabel volgt dat 12 van de 25 monsters voldoen aan, of liggen op de grens van de in het werkplan voorgeschreven schudmaat categorie F5. Dat is een kans van circa 50 %.

Uit de tabel volgt dat 9 van de 25 monsters een te stug betonmengsel hebben (kans is circa 35 %).

Bij 4 van de 25 monsters wordt een te vloeibaar mengsel aangetroffen, de kans hierop wordt daarmee bepaald op circa 15 %. Op een van deze vier monsters is visueel 'bleeding' waargenomen. De kans hierop wordt geschat op 4 %. Navraag bij de aannemerscombinatie wijst uit deze de vracht met bleeding niet is toegepast maar is teruggestuurd naar de centrale. Omdat niet elke vracht is gekeurd, is een scenario met bleeding meegenomen in de duiding van de sterkte en levensduur van de boorpalenwand.

Werkelijke diameter boorpalen als gevolg van overbetonning

Op basis van de betonnergrafieken is af te leiden wat het betonverbruik is ten opzichte van het theoretische volume van de boorpalen en waar overbetonning globaal aanwezig is over de hoogte van de boorpaal. Hiervoor is vooral gekeken naar de boorpalen in sectie F1-1.

Op basis van de betonnergrafieken wordt het volgende vastgesteld:

1. In het Pleistoceenzand is het overgebruik 5 %; dit leidt tot een 30 mm grotere diameter dan de boordiameter van 1070 mm, zijnde 1100 mm.
2. In de holocene lagen is het overgebruik vastgesteld op 30 %; dit leidt tot een 150 mm grotere diameter dan de boordiameter van 1070, zijnde 1220 mm.

Als gevolg van deze grotere diameter zal de momentcapaciteit van de boorpaal groter zijn dan het uitgangspunt, gebaseerd op een diameter van 1070 mm.

3.1.2 Scenario's voor de kwaliteit en de momentcapaciteit van de boorpalen

De toe- of afname van de momentcapaciteit van een boorpaal als gevolg van mindere betonkwaliteit enerzijds en doorsnede vergroting anderzijds wordt uitgedrukt ten opzichte van de theoretische verwachte en in het werk gehanteerde momentcapaciteit. Hiervoor zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd, overgenomen uit Bijlage K.:

- Diameter boorpaal 1070 mm (diameter boorpaal in de berekening 1020 mm).
- Korfdiameter 870 mm t.o.v. buitenzijde beugels.
- Beugels 16 mm – 250 mm.
- Hoofdwapening 16 rond 25 mm.
- Dekking 100 mm (in de berekening 75 mm).
- Betonkwaliteit C30/37.
- Centrische ligging wapeningskorf.

De momentcapaciteit met de hierboven beschreven configuratie van de boorpaal is de referentie (100 % waarde).

Effecten van een te stug betonmengsel op momentcapaciteit boorpaal

Het effect van een te lage schudmaat kan leiden tot verminderde kwaliteit van de betondekking. Om dit te kunnen duiden in termen van afname van momentcapaciteit zijn berekeningen uitgevoerd met een lagere betonsterkte.

Het resultaat van de analyses is dat de momentcapaciteit 4 % afneemt.

Tabel 3.2 Invloed momentcapaciteit van een te stug betonmengsel.

Paaldiameter	1070mm	1070mm
Betonkwaliteit	C30/37	C25/30
Momentcapaciteit	100%	96%

Wanneer de grotere diameter door de overbetonning wordt toegepast wordt het volgende gevonden:

Tabel 3.3 Invloed grotere diameter op momentcapaciteit.

Paaldiameter	1170mm	1170mm
Betonkwaliteit	C30/37	C25/30
Momentcapaciteit	115%	110%

Uiteindelijk compenseert de grotere diameter van de boorpaal het effect van een lagere betonkwaliteit meer dan volledig, de momentcapaciteit neemt toe tot 110 %.

Effect van bleeding op momentcapaciteit boorpaal

Op basis van Bijlage K kan worden gesteld dat bij het optreden van bleeding de aanhechting van de wapeningsstaaf in het beton niet aanwezig is. Ervaring leert dat dit bij hooguit enkele wapeningsstaven kan optreden. Dit geeft een reductie tot 5% van het maximaal opneembaar moment. Ook dit wordt door de overbetonnering volledig gecompenseerd.

Conclusies met betrekking tot de momentcapaciteit

De overbetonnering compenseert het effect van mindere kwaliteit van het beton en van eventuele bleeding meer dan volledig. Er is geen reden om aan te nemen dat de boorpalen direct na realisatie minder momentcapaciteit hebben dan in het ontwerp aangenomen.

3.1.3 Scenario's en effecten op de kwaliteit van het beton

Voorliggende paragraaf is een samenvatting van dit onderwerp uit Bijlage K.

Met betrekking tot de kans op mindere kwaliteit van de beton volgt:

1. 50 % van het toegepaste beton voldoet aan de toepassingseisen.
2. 35 % van het toegepaste beton is stugger dan vereist.
3. 15 % van het toegepaste beton is dunner dan vereist.
4. 4 % van het toegepaste te dunne beton laat ook bleeding zien.

Uit de beschouwing volgt dat de betonkwaliteit voldoende is. Alleen is er in het bovenste deel van de paal kans op een mindere betonkwaliteit als gevolg van een te dun mengsel en minder goede betondekking als gevolg van een te stug mengsel. Rond de grondwaterstand zou dit tot corrosie van de wapening leiden.

De kans op bleeding is 1/25, zijnde 4 %. Dit heeft gevolgen voor de aanhechting van de wapeningsstaven en porositeit van de betondekking en kan bleeding kanalen langs wapeningsstaven veroorzaken. Voor het vullen van een boorpaal zijn twee mixers nodig. De kans op een volledig slechte paal is $(1/25)^2$. Echter, wanneer de slechte kwaliteit in de bovenste helft van de boorpaal zit, waar het moment maximaal is, dan kan dit effect hebben op de sterkte en levensduur van de boorpaal. Tijdens het snellen van de boorpaal moet een slechtere aanhechting van de wapening zijn opgemerkt. Informatie hieromtrent is niet voorhanden in het opleverdossier.

3.1.4 Beschouwing van de levensduur van de boorpalenwand

In Bijlage K wordt de levensduur van de boorpalen beschouwd. De levensduur wordt hoofdzakelijk bepaald door de dikte en kwaliteit van de betondekking en de optredende scheurvorming tijdens belastingen. Uit de ontwerpberoeeningen volgt dat de maximale scheurwijdte ruim onder de eisen van de norm blijft en dus is het risico op aantasting als gevolg van scheurvorming niet aanwezig.

Verminderde kwaliteit en dikte van de betondekking kan nog wel leiden tot aantasting. In Bijlage K wordt voor verschillende scenario's beredeneerd wat de gevolgen hiervan kunnen zijn op de momentcapaciteit van de boorpalenwand op de lange termijn. Dit wordt gedaan op basis van de locatie van het maximale moment. Daarbij wordt rekening gehouden met verschillende scenario's van bleeding effecten langs de wapening.

Uit deze analyse volgt dat de ontwerplevensduur van de boorpalen (100 jaar) niet in het geding is. Als motivatie wordt gegeven dat:

- Het grondwater geen zuurstof bevat waardoor corrosie niet mogelijk is.

- De initiatie van corrosie als gevolg van chloride aantasting niet aanwezig is.

3.1.5 Eindconclusie met betrekking tot de betonkwaliteit

De eindconclusie van de onderbouwing sterkte boorpalenwand is één op één overgenomen uit Bijlage K:

Er is geen sprake van enige reductie van de sterkte van de boorpalenwand, niet op korte termijn en evenmin op de lange termijn.

1. De mindere sterkte, door lagere betonkwaliteit, wordt ruimschoots gecompenseerd door de grotere diameter van de palen in het Holoceen, waar het maximale moment optreedt.
2. Bleeding zal hooguit leiden tot de uitval van een enkele wapeningsstaaf. De reductie hierdoor van de momentcapaciteit ligt in de orde van enkele procenten en wordt ook gecompenseerd door de grotere diameter, zelfs als dit fenomeen gelijktijdig optreedt met een lagere betonkwaliteit.
3. De mogelijke mindere kwaliteit (hogere porositeit) van de betondekking leidt onder de grondwaterstand, in het Holoceen en in het Pleistoceen, niet tot corrosie van de wapening door gebrek aan zuurstof. Dit betekent dat de levensduur niet in het geding is. Boven de grondwaterstand, dat wil zeggen in de bovenste meter van de palen, zou corrosie kunnen optreden, maar daar is nauwelijks sprake van een buigend moment maar van dwarskracht en is de moment capaciteit dus niet maatgevend.

Ten aanzien van het laatste punt is aanvullend op het memo van de BAM gekeken of eventuele effecten van bleeding op de dwarskracht aan de bovenzijde van de boorpaal tot problemen kan leiden. Dit is gedaan op basis van de unity check, zoals deze in het ontwerp van de dwarskracht in de constructie is berekend. Hiervoor is gebruik gemaakt van de uitvoeringsontwerpnota van de Aannemerscombinatie (Combinatie Dijkverbetering Molenwaard, 2016).

Uit deze nota volgt dat bovenin de boorpaal, zoals verwacht, geen inklemmingsmoment aanwezig is. De unity check op de dwarskracht bedraagt maximaal 50,3 % of 0,50. Hierdoor zal dit, wanneer er sprake is van enige aantasting van de boorpaal bovenin, niet leiden tot overschrijding van de maximaal opneembare dwarskracht. Hiervoor is nog voldoende capaciteit beschikbaar (factor 2).

Vanuit het afwijkingenregister zijn geen meldingen beschikbaar die duiden op mindere kwaliteit betondekking als gevolg van bleeding. Ook is er navraag gedaan bij de aannemer of tijdens het snellen van de boorpalen onregelmatigheden duidend op bleeding zijn geconstateerd. Dit is niet het geval zodat ook de kans op mindere kwaliteit van de betondekking aan de bovenzijde van de paal klein is.

3.2 Controle wiggen op speling en structurele werking

Leeswijzer: In onderstaande subparagrafen worden de kans op niet goed vastzitten van de ankerstrengen door speling op de wiggen behandeld. Om de kans te kunnen bepalen, wordt op basis van het werkplan van de aannemer de huidige situatie en de installatiemethode van de ankers beschreven. Hierna wordt ingegaan op de haalbaarheid om aan de ankers te meten en welke technieken geschikt zouden kunnen zijn om te kunnen bepalen of de wiggen goed vastzitten. Met behulp van scenario-analyses en berekeningen wordt vervolgens bepaald hoe groot de theoretische kans is op het niet goed vastzitten van de wiggen. Op het eind van dit hoofdstuk worden de belangrijkste uitkomsten samengevat en een aanzet tot vervolgonderzoek gegeven.

3.2.1 Vraagstelling

Tijdens de expertsessie zijn er vragen gesteld over de afspankracht van de wiggen van de strengankers. Uit de risico-inventarisatie en -kwantificatie blijkt dat het hoogste risico voor waterveiligheid wordt toegekend aan de ankers (risico 1-7, 10 en 12, zie Bijlage B.4). Hierbij wordt het hoogste risico aan de lage afspanning van de ankers toegekend. Deze zou onvoldoende kunnen zijn voor het goed vastzitten van de wig.

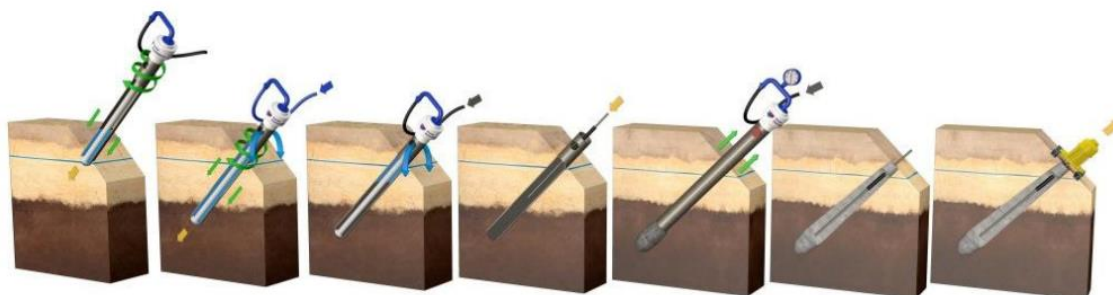
De afspanning op de ankers varieert van 120 kN (sectie F1) tot 160 kN (sectie AB). Doordat gewerkt wordt met 4 en 11 strengs ankers bedraagt de afspanning per streng 20 tot 23 kN. Dit wordt door het expertteam ingeschat als een ondergrens. Het expertteam doet daarom de aanbeveling om de wiggen te controleren op speling om te zien of deze goed vast zitten.

3.2.2 Methode van inbrengen strengankers

Voor een uitgebreide beschrijving van het hele systeem van strengankers wordt verwezen naar "Werkplan verankering O-1.01.2.1 definitief" (Combinatie Dijkverbetering Molenwaard, 2015). In het kort bestaat het installeren van een groutanker uit de werkzaamheden zoals weergegeven in Figuur 3.1.

Conform de voorschriften van NBN EN 1537 : Ground anchors

1. & 2. Boren van het anker
3. Injecteren: doorheen de holle boorstang, vervangen boorvloeistof door cementgrout en terugtrekken boorstang
4. Plaatsen trekelement, voorzien van een eventuele vrije lengte volgens ontwerp
5. Progressief terugtrekken van de tijdelijke verbuizing en injecteren cementgrout
6. Afgewerkt anker
7. Voorspannen in geval van actieve ankers; blokkeren in geval van passieve ankers. Dit gebeurt in principe ten vroegste zeven dagen na het uitvoeren van de ankers bij gebruik van klassieke cementgrout.

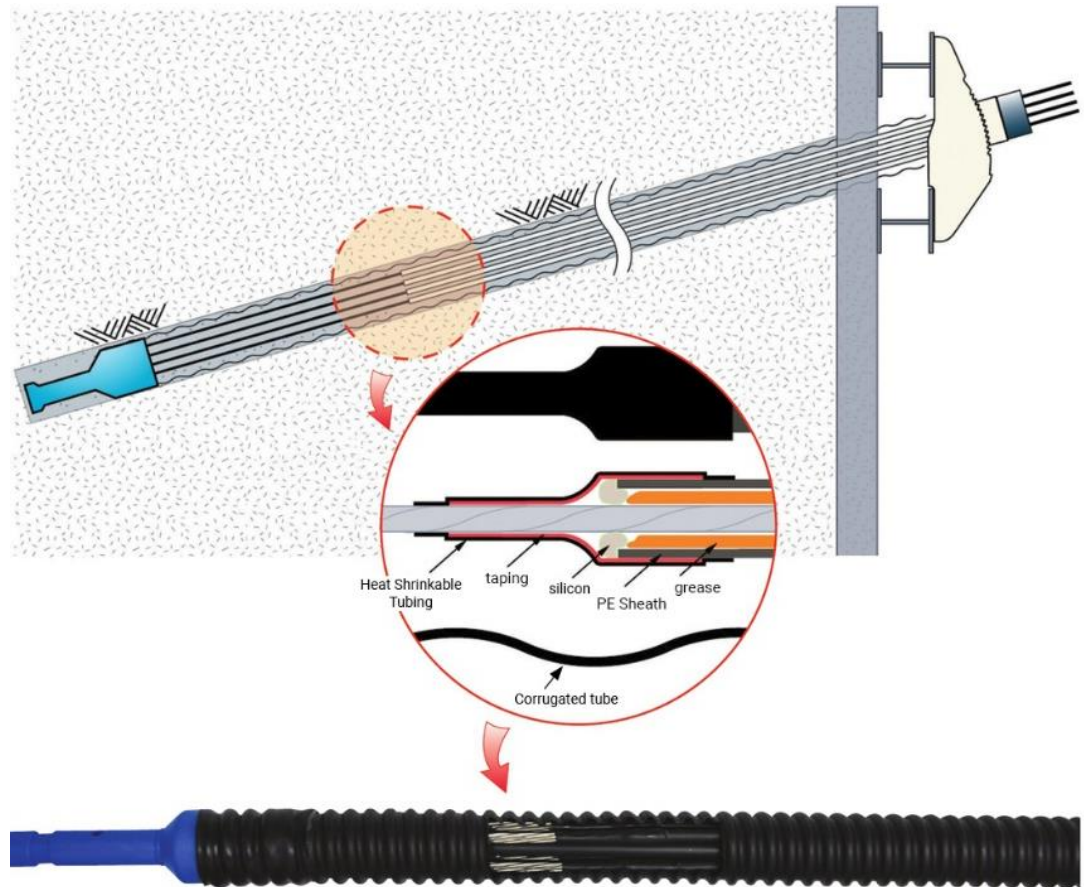


Figuur 3.1 Schematische weergaven installatie anker, werkplan verankering.

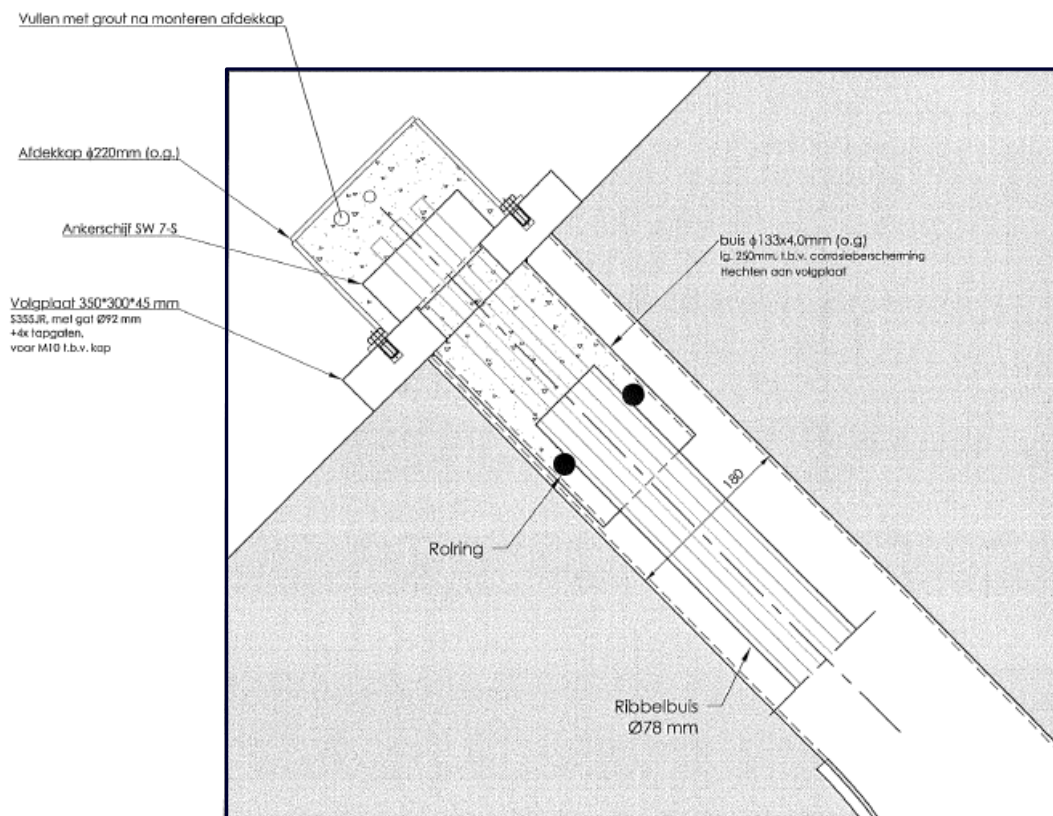
De ankers worden geïnstalleerd nadat de gording is aangebracht. Dit gebeurt door een boormachine die de boorbuizen door de ruimte steekt die daarvoor in de gording is gemaakt. Door middel van dubbel verbuisd boren wordt de boorstang binnen de boorbuis op diepte gebracht en wordt de boorbuis schoongemaakt en gevuld met water. Hierna worden de ankerstrengen in het boorgat geplaatst.

In het geval van de dijkversterking bij KIS is gebruik gemaakt van het type Samwoo SW-PTF anker, zoals weergegeven in Figuur 3.2 en Figuur 3.9. Het anker bestaat, afhankelijk van de benodigde ankerkracht uit een bundel van 4 tot 11 strengs (die elk weer uit 7 kabels bestaan) die afzonderlijk omhuld zijn door een beschermbuis (zie Figuur 3.9, de PC strand 15,7 mm) afgevuld met vet. Het anker heeft een dubbele corrosiebescherming, om de afzonderlijke strengs en om de gehele bundel van strengs. Bij het ankerlichaam (de verankeringslengte) wordt er zowel extern als intern de geribbelde buis gegroot om een groutlichaam te creëren dat de ontwerpkrachten kan opnemen.

Het gehele anker bestaat daarmee uit drie delen. Het eerste deel is het echte groutlichaam wat voor de houdkracht van het anker moet zorgen. Het tweede deel is de vrije ankerlengte waarbij de strengen door een ribbelbuis gaan die is afgevuld met grout. Het derde deel is het deel waar de strengen de gording van de boorpalenwand ingaan. In dit gedeelte zit het wiggenblok (wordt ankerschijf genoemd in Figuur 3.2) waarin de strengen met behulp van wiggen worden vastgezet en na vastzetten worden afgegoten met cementgrout. Dit is gedetailleerd weergegeven in Figuur 3.3.



Figuur 3.2 Samwoo SW-PTF anker.



Figuur 3.3 Doorsnede ankerplaat en ankerschoen en de met grout volgestorte buis en opzetstuk.

De aannemerscombinatie heeft het risico op het niet goed vastzitten van de wiggen wel onderkent. Dit blijkt uit onderstaande fragment uit het werkplan verankering (Combinatie Dijkverbetering Molenwaard, 2015), waarin een minimale afspankracht van 20 kN wordt vereist om het slippen van de strengen in de wiggen te vermijden.

7.4.2 Wapeningsstrengen

De wapeningsstrengen hebben een diameter van 15,7mm met een staalkwaliteit van FeP1860 en worden voorzien van een dubbele corrosiebescherming P2 (bijlage 4).

Deze dubbele corrosiebescherming P2 houdt in dat de strengen over de vrije lengte individueel ingevet en omwikkeld worden met een bescherming. Over deze vrije lengte wordt het geheel van strengen omhuld met een PVC buis, met een buitendiameter afhankelijk van het aantal strengen.

Aantal strengen	Buitendiameter PVC corrosiebescherming
6-7 strengen	78mm
8-12 strengen	98mm
13-15 strengen	125mm

Bij het beproeven/spannen van het anker wordt de PVC buis in de ankerstoelbuis gemonteerd en middels een rubber ring afgesloten van de omgeving. Na het afspannen wordt de ankerstoelbuis en de afdekkap volledig gevuld met grout. Dergelijke uitvoering van de verankering garandeert een dubbele corrosiebescherming

Er dient rekening gehouden te worden met een minimale voorspankracht van 20kN per streng om slippen van de strengen te vermijden.

Over de hoogte van het groutlichaam is geen omhulling aanwezig, zodat de ankerkracht alleen daar wordt afgedragen.

Figuur 3.4 Aanbrengen afspanning, werkplan verankering.

3.2.3 Methode van grouten, controleren en afspannen

Na het plaatsen van de strengen in het boorgat wordt cementgrout geïnjecteerd (druk tussen 10 en 15 bar) om het groutlichaam te maken. Zoals gezegd wordt er zowel intern als extern gegroot. Door de geribbelde mantel aan beide kanten met grout te vullen wordt de overdraagbaarheid van de schuifkrachten gerealiseerd. Het grouten van het ankerlichaam gaat in meerdere stappen waarbij de boorbuis per deel (ca 3 m) wordt getrokken tijdens het grouten. Daarna wordt het volgende gedeelte van het anker gegroot. Wanneer de grout aanvulling voldoende hoog zit wordt de boorbuis verder getrokken, waarbij het boorgat buiten de ribbelbuis gespoeld wordt met water. Het ontwerp gaat daarbij uit van groutaanvulling tot minimaal 2 m bovenkant zandlaag om afdichten te garanderen. De bedoeling hiervan is om het boorgat vrij te maken van grout waardoor de doorsnede van het anker over de vrije ankerlengte beperkt blijft tot de geribbelde mantel, wat gunstig is omdat dan het effect van zakkende grond op de ankers wordt beperkt.

Tijdens dit spoelen met water zijn bij meerdere secties waterproblemen ontstaan. Een fragment uit de indraaigegevens van de ankers van bijvoorbeeld paneel H2 getuigt daarvan, zie Bijlage C. Het is zichtbaar dat er water uit anker 2 komt bij het spoelen van anker 1. Dit werd bij meerdere ankers geconstateerd. Het aantal ankers waar dit is waargenomen varieert per boorpalenwandsectie tussen een enkeling en nagenoeg bij alle ankers (zie hiervoor ook Paragraaf 4.3).



Figuur 3.5 Detailfoto van de ankerstrengen door de ankerplaat en rechts de wig over de streng.

De strengen van het anker steken op dit moment door de gording heen en kunnen verder worden verwerkt, zie Figuur 3.5. Eerst wordt een ankerplaat over de strengen geleid met een gat met een diameter van 92 mm. De ankerplaat zelf is 300 bij 350 mm. Hierna wordt het wiggenblok (SW 7-S) over de 6 à 7 strengen geschoven. Afhankelijk van de benodigde ankerkacht zijn ook strengankers met bijvoorbeeld 11 strengen gebruikt. Hier is een ander wiggenblok meer gaten voor toegepast. Na het plaatsen van het wiggenblok wordt de controleproef uitgevoerd, waarbij de bundel strengen met behulp van een vijzel worden beproefd op circa 75% van hun vloeispanning. Een foto van de afspaninstallatie is te zien in Figuur 3.6. Indien de uitkomsten van de controleproef niet voldoen aan de gestelde criteria, dan wordt een verlengde controle proef uitgevoerd. Wanneer ook deze niet voldoet wordt het anker herplaatst.

Bij deze belasting is er een maximale rek in de streng aanwezig. De wiggen zitten dan al over de strengen geschoven. De positie van de wiggen is zodanig gekozen dat na het afgelaten van de spanning de gewenste afspanning in het anker aanwezig is. Bij dit aflaten van de spanning neemt de rek van de streng af en schuift de wig in het wiggenblok schoen en begint het vastvreten van de wig. De wiggen worden vastgezet door de wig met een hamer aan te slaan.



Figuur 3.6 Vijzel voor de controleproef en afspanning.

Bij het plaatsen van de wiggen is het belangrijk dat de contactoppervlakken in het wiggenblok en op de wig droog, schoon en gesmeerd zijn. Dit zorgt voor effectief invreten van de wig in de streng. Nadat de afspanning is aangebracht wordt de overlengte aan strengen afgesneden tot een paar centimeter boven de wiggen, zie Figuur 3.7.



Figuur 3.7 Foto gesnelde strengen.

De werkzaamheden zijn uitgevoerd in een treintje, zie Figuur 3.8. Hierbij worden ankers om en om afgespannen. Daarna worden de strengen gesneld en later afgewerkt (zie Figuur 3.7).



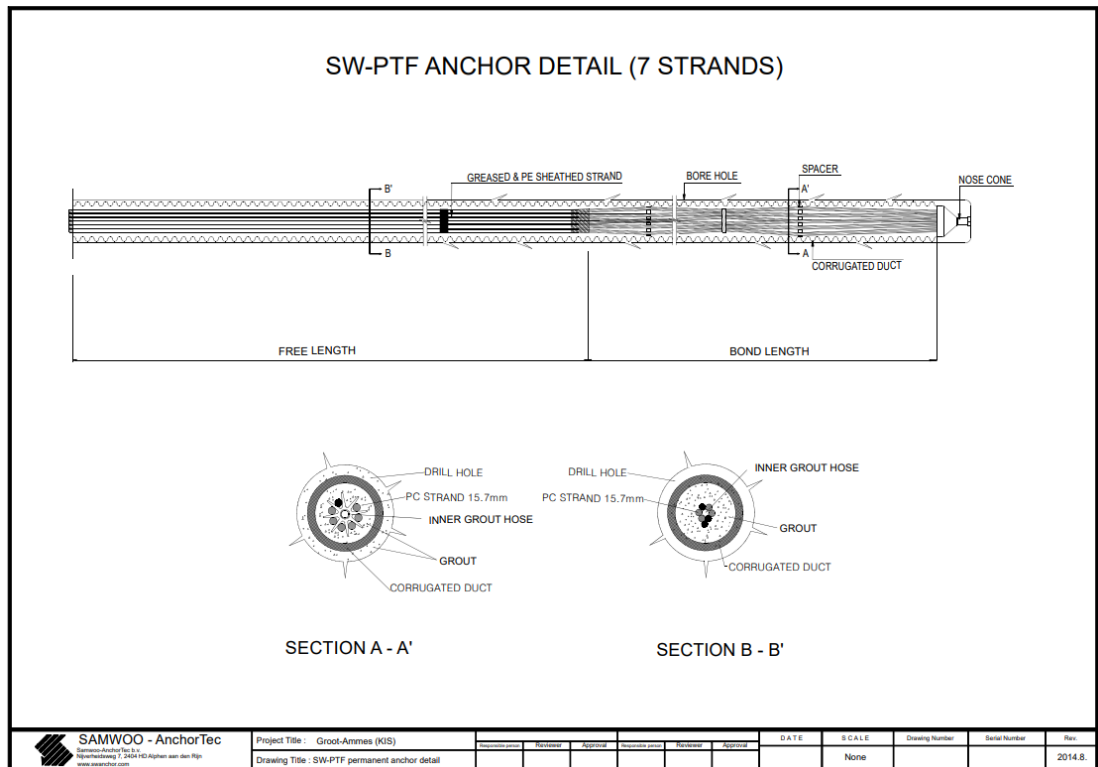
Figuur 3.8 “Treintje” van werkzaamheden.

3.2.4 Overleg met de aannemerscombinatie

Naar aanleiding van vragen over het installatie- en controleproces van de ankers heeft op 30 maart 2023 overleg plaatsgevonden tussen het Waterschap en de aannemerscombinatie Molenwaard (Waterschap Riverenland, 2023), waarin een aantal detailvragen zijn beantwoord. Ook enkele leden van het reviewteam¹ en een expert van Deltares hebben hieraan deelgenomen. Het verslag bevestigt de werkwijze zoals hier is toegelicht. De antwoorden van de aannemerscombinatie op de vragen zijn verwerkt in de analyses.

Tijdens dit overleg is eveneens duidelijkheid gegeven over de wijze waarop de ankers zijn gegroot. Dit is niet goed in het werkplan van de aannemer (Combinatie Dijkverbetering Molenwaard, 2015) weergegeven. Belangrijk detail betreft doorsnede B-B, de doorsnede over de vrije ankerlengte. Hierin is nu duidelijk aangegeven dat alleen inwendig het anker wordt gegroot en uitwendig, in het boorgat niet (in het werkplan staat dat ook hier gegroot is). Dit in tegenstelling tot de doorsnede A-A over het ankerlichaam waarbij zowel inwendig de geribbelde buis als uitwendig in het boorgat wordt gegroot.

¹ Het reviewteam bestaat externe deskundigen die het onderzoek begeleiden en evalueren



Figuur 3.9 Herziene versie van installatie Samwoo anker naar aanleiding van de vragen gesteld aan de aannemerscombinatie op 30 maart 2023

3.2.5 Inventarisatie non-destructieve monitoring wiggen

Gegeven het risico op het niet goed vastzitten van de wiggen en de aanbeveling vanuit de expertsessie om dit alsnog te controleren is nagedacht over de haalbaarheid van non-destructief onderzoek en monitoring. Om de haalbaarheid vast te stellen is een korte brainstorm gehouden met een monitoringsspecialist. Hieronder volgt een beknopt verslag van deze sessie.

De uitgangspunten om vast te stellen wat de monitoringsopties zijn:

- Het onderzoek moet erop gericht zijn om vast te stellen dat de wiggen in de ankerstoel vast zitten en of het anker op spanning staat.
- De ankerplaat van de ankers is op te graven (zie Figuur 3.5).
- Er is een referentieraai waarvan bekend is dat er strengen kapot zijn.

In Bijlage D is de potentie van verschillende meettechnieken voor deze problematiek gepresenteerd en bepaald of deze kansrijk zijn. Het blijkt dat de radar- en akoestische metingen zeer complex zijn en een lage kans van slagen hebben. Bij de methode met rekmetingen van de ankerstrengen komt naar voren dat een deel van de bescherming van het anker verwijderd zou moeten worden. Dit is niet wenselijk voor de levensduur van de constructie en is praktisch moeilijk uitvoerbaar. Hieruit kunnen we concluderen dat een non-destructieve methode voor het controleren van de wiggen in de ankers niet beschikbaar is.

3.2.6 Risico's van strengankers en de gehanteerde werkwijze

Om de risico's van falen van de ankers in kaart te brengen is eerst gekeken naar de kans van het niet goed vastzitten van de wig. Hiervoor zijn 3 scenario's opgesteld:

Scenario 1: De wig is niet goed geplaatst in de ankerstoel

De wig kan weerstand ondervinden bij plaatsing in de conische wigstoel. Als deze te groot of vuil (of anderszijds) dan past de wig niet goed in de ankerstoel en zal de kabel niet vast komen te zitten in de wig. De wig zit dan wel in de wigstoel vast maar vreet onvoldoende de streng in om de krachten bij hogere belasting op te kunnen nemen. De streng zal gaan slippen. De aannemer weet dat nauwkeurig werken en het gebruik van schone, corrosievrije wiggen belangrijk is. Hierover zijn in het opleverdossier geen verificatiestukken aangetroffen. Aangenomen mag worden dat de aannemer hierop gelet heeft en dat de kans op dit scenario klein is. Scenario 1 wordt hiermee niet verder behandeld.

Scenario 2: 20 kN per streng is onvoldoende om vastzitten te garanderen

De constructie is ontworpen voor een planperiode van 100 jaar. In deze 100 jaar treedt een redelijk grote maaiveld- en kruindaling op terwijl de in het zand gefundeerde boorpalenwand niet zal gaan zakken. De grond zal hierbij op de schuin geplaatste trekankers gaan leunen wat een extra trekkracht op het anker oplevert. Wanneer de constructie te ver wordt afgespannen is de nuttige ankercapaciteit, die overblijft om onder maatgevende hoogwatersituaties zijn functie te vervullen, onvoldoende. Vandaar dat is gekozen om de ankers net voldoende af te spannen om slippen van de ankers te voorkomen (minimaal 20 kN per streng). In vergelijking tot constructies die onder dagelijkse omstandigheden veel belasting moeten keren (bijvoorbeeld bouwputten) is dit laag.

Het scenario kan zijn dat bij 20 kN afspanning, de wig zich niet goed invreet in de streng en de streng kan slippen. Dit scenario wordt behandeld in Paragraaf 3.2.7.

Scenario 3: wiggen raken los door een controleproef op het naastgelegen anker

Tijdens een controleproef wordt een kracht (1200-1400 kN) op een anker gezet. Hierbij trekt de vijzel aan de strengen en krijgt zijn reactiekracht uit de ankerplaat (de gording). Dit zal tot deformatie van de gording leiden waardoor het naastgelegen, net afgespannen anker, weer ontspant. De wiggen zouden daarbij los kunnen raken.

Het scenario is dat, de tijdens de controleproeven op naastliggende ankers, de verplaatsing van de gording zo groot is dat het reeds afgespannen anker spanningsloos komt te staan en de wiggen losraken. Dit scenario wordt behandeld in Paragraaf 3.2.8.

3.2.7

Scenario 2: 20 kN per streng is onvoldoende om vastzitten te garanderen

Om een uitspraak te kunnen doen over het mogelijk onvoldoende vastzitten van de ankerwiggen op de kabel is een korte literatuurstudie uitgevoerd. Hierbij is gezocht naar (ervarings)waarde voor de minimale afspankracht en is naar het krachtenevenwicht gekeken dat ervoor moet zorgen dat de wiggen zich vastzetten. In Bijlage I.1 is deze literatuurstudie weergegeven. Hieronder zijn de conclusies weergegeven

Uit deze literatuurstudie volgt dat voor de minimale afspankracht waarden worden gevonden van 120 kN per streng (van gelijke afmetingen als bij KIS toegepast). Deze waarden komen uit Oostenrijkse literatuur waarbij de strengankers gebruikt worden voor rotsstabilisatie (korte vrije ankerlengte en weinig grondvervorming) en daarmee slecht vergelijkbaar met de toepassing bij KIS.

Vanuit het werkprotocol van Pullout (een bedrijf wat eveneens strengankers toepast en veel voor de BAM werkt volgt vooral dat er schoon moet worden gewerkt, dus schone wiggen, wigstoelen en kabels. In deze stukken staat geen minimale afspankracht genoemd. Wel is mondeling door collega's van de BAM een waarde van minimaal 50 kN per streng genoemd als minimale afspankracht.

Uit een analyse van de krachtenwerking van de wig wordt inzicht verkregen hoe het proces van vastzetten van de wig in de wigstoel en het invreten van de wig in de streng verloopt bij het afspannen.

Samenvattend kan worden gesteld dat een minimale afspankracht van 20 kN/streng niet vanuit de literatuur kan worden onderbouwd als zijnde een voldoende afspankracht waarbij de wigen goed zullen vast zitten. Doorgaans worden hogere afspanningen toegepast.

3.2.8 Scenario 3: wigen raken los door een controleproef op het naastgelegen anker

Tijdens de expertsessie kwam naar voren dat bij het uitvoeren van een controleproef er met grote kracht aan het anker wordt getrokken en dit het risico met zich meebrengt dat de gording verplaatst. Bij verplaatsing van de gording worden de strengen van het naastgelegen anker verkort. Mocht deze verplaatsing groter zijn dan de rek in de ankerstreng dan bestaat de mogelijkheid dat de ankerstreng loskomt.

Hiervoor wordt met behulp van hand- en PLAXIS berekeningen een inschatting gemaakt van de gordingverplaatsing die kan optreden tijdens het uitvoeren van een controleproef. Door deze te vergelijken met de rek in de strengankers wordt theoretisch onderzocht of de wigen los kunnen raken.

Tijdens deze berekeningen wordt Paal F1-1 nummer 3 als voorbeeld gebruikt.

3.2.8.1 Bepaling van de rek in de streng bij een afspanning van 20 kN

Beschouwd is een 6 strengs anker. Elke streng bestaat uit 7 staalkabels. Ieder kabel heeft een diameter van 5,3mm ($r = 0,00265$ m). Het oppervlak van de doorsnede van de streng is gelijk aan:

$$A = n \times \pi r^2 = 7 \times \pi 0,00265^2$$
$$A = 1,5443e - 4 \text{ m}^2$$

De kracht per streng is 20 kN, dit betekent dat de normaalspanning per streng in dat geval gelijk is aan:

$$\sigma_n = \frac{F}{A} = \frac{20000}{1,5443 \times 10^{-4}} = 129,5 \text{ MPa}$$

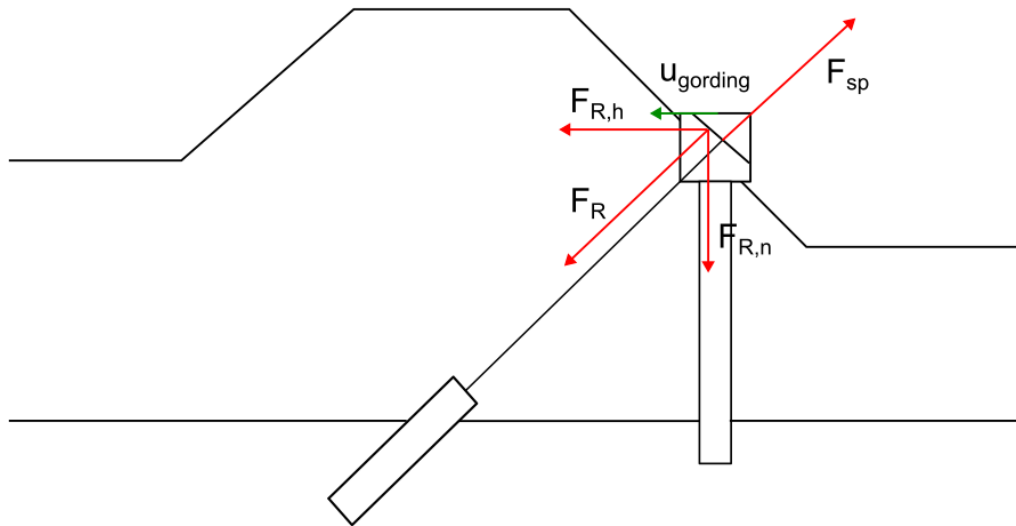
Uitgaande van de elasticiteitsmodulus van staal van 210 GPa kunnen we uitgaan van een rek:

$$\epsilon = \frac{\sigma_n}{E} = \frac{129,5e6}{210e9} = 6,167e - 4$$

Bij 22 meter vrije ankerlengte komt dit neer op een verplaatsing van 13,7 mm.

3.2.8.2 Verplaatsing van de gording bij het uitvoeren van een controle proef

Om een realistische inschatting van de verplaatsing van de gording te krijgen houden we het volgende plan aan op basis van de situatieschets in Figuur 3.10. De gedetailleerde uitwerking van de sommen is geplaatst in Bijlage E. Bij de berekeningen is uitgegaan van de elasticiteitsmodulus van beton zoals gebruikt in het ontwerprapport.



Figuur 3.10 Situatieschets.

De volgende stappen zijn uitgevoerd om tot inzicht te komen:

1. 2D handberekening gordingverplaatsing (tijdens controle proef bij 1400 kN en bij afspannen op 120 kN).
2. 2D PLAXIS berekening gordingverplaatsing controleproef en afspannen.
3. 2D handberekening gordingvervorming puntlast met controleproef en afspannen.

De resultaten van deze stappen zijn weergegeven in Tabel 3.4 R. In stap 1 worden de gegevens van de paal ingevoerd in een handberekening met behulp van bekende mechanica formules (vergeetmenietjes). Hieruit komt naar voren dat de verkorting van de streng groter is dan de rek in de streng bij 20kN afspanning. In deze som is geen gebruik gemaakt van de aanwezige gronddruk en van het feit dat het om een puntbelasting gaat.

In stap 2 wordt een 2D som gemaakt waarin de grond gemodelleerd is, deze som is in de basis gelijk aan de aangeleverde PLAXIS sommen van ABT (ABT, 2014). Uit de PLAXIS sommen komt naar voren dat er een significant effect is van de gronddruk op de vervorming van de paal. Naast de verplaatsing in horizontaal vlak geeft de PLAXIS som ook de verticale verplaatsing. Dit verschil is logisch omdat bij de controle proef het anker in de ankerrichting wordt aangespannen en in stap 1 het (fictieve) anker alleen horizontaal wordt aangespannen. Hierdoor komt bij het uitrekenen van de verkorting van de streng een waarde van 85,4 mm. Deze waarde is hoger dan uit de handberekening komt. In deze som is er gebruik gemaakt van een oneindige lange gording met een belasting van 1400 kN per anker die uitgesmeerd wordt over de karakteristieke lengte van 2,14 meter. Dit leidt tot een verdeelde belasting van 652 kN/m. In werkelijkheid is er geen sprake van een verdeelde belasting op een oneindige wand maar gaat het om een puntbelasting.

Tabel 3.4 Resultaten handsommen en Plaxis berekeningen.

Stap	Omschrijving	F anker (kN)	U gording x-richting	Verkorting streng	Opmerking	
1	2D handsom controleproef	1400	$u_x = 64,0mm$	$\Delta u_{streng} = 41,1mm$		
	2D handsom afspannen	120	$u_x = 5,5mm$	$\Delta u_{streng} = 3,5mm$		
2	2D PLAXIS controleproef	1400	$u_x = 68,68mm$	$\Delta u_{streng} = 85,4mm$		
			$u_y = 51,0587mm$			
	2D PLAXIS afspannen	120	$u_x = 3,9mm$	$\Delta u_{streng} = 4mm$		
			$u_y = 2,9mm$			
3	2D handsom grond ondersteund puntlast controleproef	1400	Afgespannen anker $\Delta u_x = 22,9mm$	Afgespannen anker $\Delta u_{streng} = 27,7mm$	$k_{boven} = 7,3MPa$ vanuit Plaxis bepaald	
			Naastgelegen anker $\Delta u_x = 20,9mm$	Naastgelegen anker $\Delta u_{streng} = 25,3mm$		
	2D handsom grond ondersteund puntlast afspannen	120	Afgespannen anker $\Delta u_x = 13,7mm$	Afgespannen anker $\Delta u_{streng} = 15,8mm$		$k_{onder} = 14,5MPa$ Vanuit Plaxis bepaald
			Naastgelegen anker $\Delta u_x = 12,0mm$	Naastgelegen anker $\Delta u_{streng} = 13,9mm$		

In bovenstaande tabel is de voor de controleproef een waarde van 1400 kN ingevoerd die eigenlijk geldt voor een 7 strengs anker. Omdat elke streng een minimale voorspanning heeft gekregen van 20 kN klopt de voorspanning van 120 kN in bovenstaande tabel niet. Dit zou 140 kN moeten zijn. Omdat hier sprake is van lineair elastisch gedrag zal de rek in de ankerstang met circa 0,4 mm groter zijn dan in de tabel hierboven aangegeven. Omdat deze analyses zijn gebruikt om de waarschijnlijkheid van dit scenario aan te tonen zijn de getallen niet gecorrigeerd omdat dit geen invloed heeft op de conclusie.

In stap 3 zijn de stijfheden van de grond behorende bij de gerealiseerde verplaatsingen afgeleid en als input gebruikt voor een analytische som van de puntlast (Bouma, 1989).

Hieruit komt naar voren dat bij een puntlast de verkorting van de streng 25,3 mm bedraagt in het naastgelegen anker en dus groter is dan de rek in de streng bij een afspanning van 20 kN. Bij het bepalen van de verkorting is de conservatieve keuze gemaakt om de verhouding tussen verplaatsing in verticaal en horizontale richting van de paalkop te gebruiken uit de PLAXIS berekening om een inschatting van de verplaatsing in verticale richting van de paalkop te bepalen in de puntlastsom. Deze berekening toont dus aan dat er een kans bestaat dat de wiggen los kunnen komen.

3.2.8.3 Uitkomsten

Op basis van de resultaten van deze berekeningen is het aannemelijk dat een afgespannen anker niet op spanning blijft wanneer een controleproef op het naastgelegen anker wordt uitgevoerd. Het gevolg is dat de wiggen los kunnen komen te zitten en dat het anker zijn functie verliest.

Hierbij wordt opgemerkt dat de theoretische 2 dimensionale benadering een benadering is van de werkelijkheid is, maar de werkelijkheid 3 dimensionaal is waardoor mogelijk de verplaatsingen van de gording worden overschat. Daarnaast blijft het onduidelijk of bij een

afspankracht van nul de wrijvingskrachten tussen streng & wig en wig & wigschoen worden overwonnen en de wig uiteindelijk los komt te zitten.

Omdat ook het uitvoeringswerkplan en -verslag geen informatie geeft over controles op het vastzitten van de wiggen tijdens het uitvoeren van de controleproeven op naastgelegen ankers wordt het noodzakelijk geacht om deze onzekerheid te verkleinen door een visuele inspectie uit te voeren op een aantal opgegraven ankerkoppen. Hierbij wordt steekproefsgewijs gecontroleerd of de strengen vastzitten door te kijken of er verspringing van de gesnelde strengen zichtbaar is en door het aantikken met een hamer. Het veldonderzoek naar de kwaliteit van de ankers en lekkage wordt gepresenteerd in Hoofdstuk 4.

3.3 Herbeschouwing kruipmetingen voor sterktebepaling van de ankers

Door het expertteam zijn twijfels geuit bij de resultaten van de kruipmetingen van de uitgevoerde controle- en geschiktheidsproeven. Deze zouden volgens de experts te uniform zijn. Er zou meer variatie in de proeven verwacht mogen worden. Om meer inzicht te krijgen of de controleproeven een geloofwaardige indicatie zijn voor de betrouwbaarheid van de opneembare ankerkracht is er nogmaals gekeken naar de controleproeven in sectie F en andere secties. Hierbij is gekeken of bij de andere secties de kruipmaat wel een grotere variatie laat zien en of de verificatiemethode goed heeft gewerkt. Het gaat daarbij om de vraag of de cyclus van uitvoeren controle proef, analyse kruipmaat en het op basis daarvan nemen van maatregelen navolgbaar is uitgevoerd.

Als voorbeeld is een certificaat van een controleproef in vak F1-1 weergegeven in Bijlage F.

3.3.1 Analyse kruipmetingen sectie F1-1

Vastgesteld wordt dat de variatie in de kruipmaat van de controleproeven (van 0,9 tot 1,0 mm) zeer klein is en de kruip bij hogere belastingen nauwelijks lijkt toe te nemen. Hierdoor zijn er door het expertteam twijfels geuit over de resultaten van deze proeven. De proeven zijn daarom nader beschouwd en nagerekend. Hieruit volgt dat een deel van de geringe variatie is te verklaren doordat de waarden voor de kruipmaat, bepaald bij de rekenwaarde van de ankerkracht tussen minuut 2 en 5 (DIN 4125), zijn afgerond op 1 decimaal. Wanneer wordt afgerond op twee decimalen wordt een grotere variatie gevonden van 0,88 tot 0,96 mm, echter nog steeds zeer klein en liggen dicht tegen de maximale kruipmaat van 1,0 mm aan.

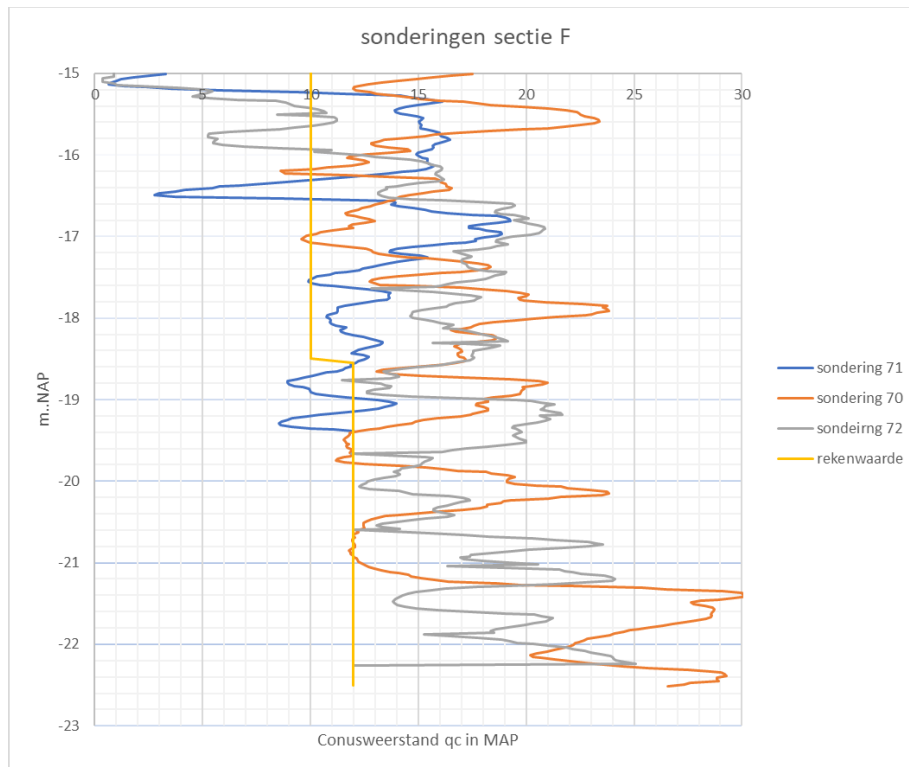
Uit de rekennota voor de strengankers van sectie F1-1 (Combinatie Dijkverbetering Molenwaard, 2016) blijkt dat voor het bepalen van de houdkracht de sonderingen CDVM S70 tot S72 + VN-50258 44 en 42 zijn gebruikt. Ter illustratie zijn de sonderingen CDVM s70, 71 en 72 en de in rekening gebrachte gemiddelde conusweerstand over het ankerlichaam gepresenteerd in Figuur 3.11. Wanneer de variatie in conusweerstand zeer gering zal zijn zal ook de kruipmaat een relatief kleinere variatie laten zien.

De sondeerweerstand variëren aanzienlijk waardoor een grotere variatie van de kruipmaat zou mogen worden verwacht.

Bij lagere ankerkrachten, ten opzichte van de maximaal mobiliseerbare ankerkracht, zou een kleine kruipmaat en daarbij een kleinere variatie mogen worden verwacht. Dit is niet het geval, de gevonden kruipmaat ligt tegen de maximaal toelaatbare kruipmaat aan.

Op basis van deze sonderingen ligt de gemiddelde sondeerweerstand circa 20% hoger dan de rekenwaarde die is gehanteerd voor het bepalen van de houdkracht van het groutlichaam. Hierbij is het onduidelijk hoe de correctie voor de conusweerstand onder normcondities is

verwerkt in de berekeningsrapportage. Tot slot wordt opgemerkt dat bovenstaande sonderingen ter plaatse van de boorpaal zijn gemaakt en niet ter plaatse van het ankerlichaam.

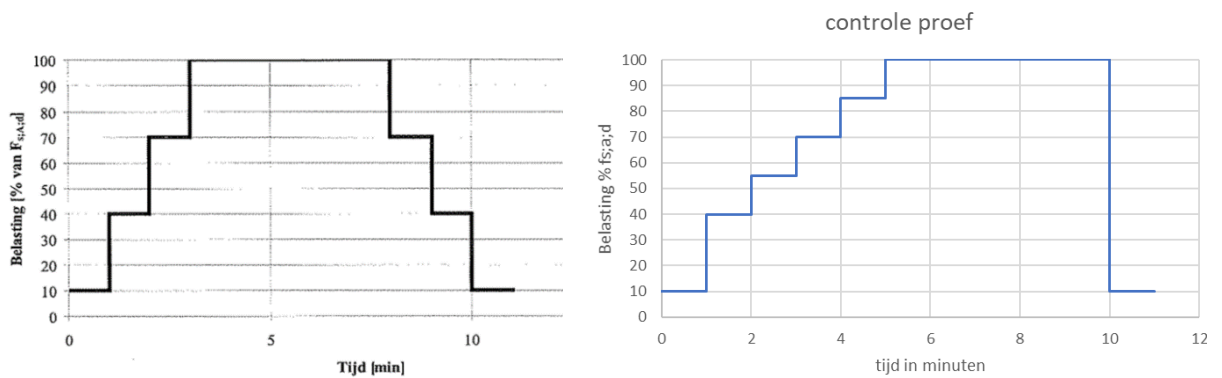


Figuur 3.11 Sonderingen gebruikt voor bepalen van de rekenwaarde van de houdkracht van het ankerlichaam.

3.3.2 Evaluatie andere secties

Naar aanleiding van de bevindingen van sectie F zijn ook bij een aantal andere secties de controle- of geschiktheidsproef geanalyseerd. Steekproefsgewijs zijn voor sectie AB en AC de kruipmaten nagerekend. Voor sectie AB is wel een sterk variërende kruipmaat gevonden van 0,4 tot 0,9 mm. Voor sectie AC geldt dit eveneens en wordt een variatie van 0,7 tot 2,2 mm gevonden. Hier zijn een vijftal ankers afgekeurd die ook bij lange duur proeven een te grote kruipmaat gaven. Uiteindelijk zijn deze ankers herplaatst, zie Bijlage G. Opgemerkt wordt dat in de controlesheets de kruipmaat niet altijd is teruggerekend tot een logaritmische kruipmaat tussen minuut 2 en 5 maar dat er een praktische lineaire waarde is gehanteerd van maximaal 0,40 mm (wat gelijk is aan een logaritmische kruipmaat van 1 bepaald tussen $t = 2$ en 5 minuten).

Voor de controleproeven wordt in het werkplan verankering (Combinatie Dijkverbetering Molenwaard, 2015) een belastingschema aangegeven zoals in de CUR 166 is opgenomen (links in Figuur 3.12). Uit de meetdata van de controleproef volgt dat voor het op spanning brengen van het anker meer tussenstappen zijn gebruikt dan 40 en 70 % van de rekenwaarde van de belasting, maar ook de stappen van 55 en 85 % van de ontwerpbelasting (rechts in Figuur 3.12). Bij het aflaten van de belasting is, conform werkplan direct van 100 % teruggedaan naar de afspanningswaarde.



Figuur 3.12 Uitvoering controle proef conform werkplan (links) en volgens meetstaten (rechts).

3.3.3 Uitkomsten

Op basis van de herbeschouwing van de kruipmetingen wordt het volgende vastgesteld:

- Voor elk geplaatst anker is een controleproef (90%) of geschiktheidsproef (10%) uitgevoerd.
- Voor sectie F is de gevonden variatie in kruipmaat gering, maar voldoen alle proeven aan de gestelde eisen.
- Het beschikbare grondonderzoek geeft geen nadere verklaring voor deze geringe variatie.
- In andere secties dan F zijn wel grotere variaties gevonden die beter aansluiten bij de ervaringen met controle proeven.
- Het kwaliteitssysteem heeft gewerkt; er zijn op basis van de controleproeven ankers afgekeurd en daarna herplaatst.

Op basis van de bovenstaande uitkomsten is er geen reden om te twifelen aan de resultaten van de controle- en geschiktheidsproeven en het kwaliteitssysteem. De ankerkracht is hiermee voldoende betrouwbaar.

3.4 Beschouwing kans op lekkage ankers en uitspoelen van zand

Bij het installeren van de ankers is het mogelijk dat er een hydraulische lekweg ontstaat door het onvoldoende doorgrouten boven de zandlaag en het overmatig schoonspoelen van het boorgat. Dit kan bijdragen aan het ontstaan van vernatting. Naast de vernatting kan ook zandtransport optreden wat kan leiden tot afname van de relatieve dichtheid van het zandpakket rondom het groutlichaam. Hierdoor neemt de houdkracht van het anker af.

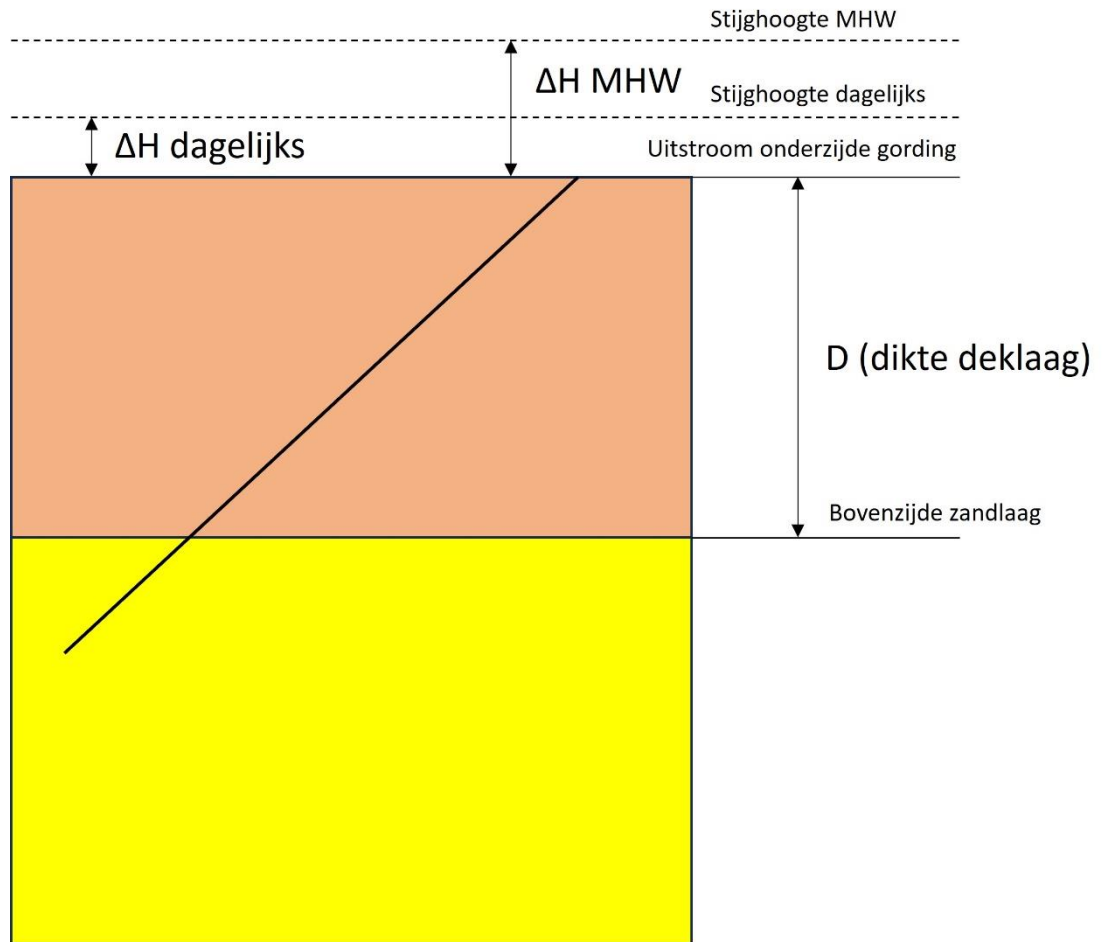
3.4.1 Heave berekening

Om dit risico nader te beschouwen is een eenvoudige analyse gemaakt van de heave situatie (verticaal uitspoelen van zandkorrels door kanaal als gevolg van wateroverdruk) rondom de ankerstrengen. Bij een heave situatie valt de verticale korrelspanningen in een zandlaag weg onder invloed van een verticale grondwaterstroming.

Tijdens hoge buitenwaterstanden zal er een verhoogde stijghoogte in het Pleistocene zand ontstaan. Er is gekeken tot welke hoogte het zand in het openstaande kanaal langs het strenganker kan stromen. Hierbij is uitgegaan van een schone boorgang rond de strengankers langs het vrije deel van het anker. De afsluitende groutprop aan de onderzijde van het anker is verondersteld afwezig te zijn (worst case benadering).

De situatie bij sectie F1 is gebruikt voor de heave analyse, waarbij de bovenzijde van het zand op NAP – 11,0 m ligt. Het constructieve groutelement ligt hier ruim 2 tot 3 m onder

(gerekend is met NAP – 14,0 m). De bovenzijde van de deksloof ligt in sectie F2-2 op circa NAP + 0,0 m, de onderzijde van de deksloof en de drainzandlaag ligt op NAP -1,0 m. Dit is schematisch weergegeven in Figuur 3.13.



Figuur 3.13 Schematische weergaven Heave situatie langs een anker.

Uitspoelen van zand wordt bepaald door:

$$i = \frac{\Delta H}{D}$$

Waarin:

i = Verhang.

ΔH = Stijghoogteverschil boven maaiveld.

D = Dikte van het pakket slecht doorlatende lagen.

Bij een i rond de 1 kan verticaal zandtransport optreden. Bij een $i < 0,5$ is zandtransport uitgesloten.

De bovenstaande vergelijking geldt in principe voor verticale stroming omhoog, maar mag ook voor de stroming onder een helling worden gebruikt. Als de hellinghoek α (met de horizontaal) is dan is de kwelweg langer namelijk $D / \cos \alpha$. Maar ook het effectieve gewicht van de zandkorrels is in de stroming richting $\cos \alpha$ kleiner.

Om een beeld van te krijgen van de mogelijke instroom van zand in het open kanaal is uitgegaan van een dagelijkse stijghoogte in het zand tot circa NAP -0,20 m. Ter vergelijking is ook gekeken naar de stijghoogte in het Pleistoceen zand dat zal optreden onder de

maatgevende condities, namelijk tot NAP +2,40 m. Voor de analyse wordt ervan uitgegaan dat in het donkzand, met de bovenzijde op NAP +11,0 m.

Uitgaande van Figuur 3.13 komt onder gemiddelde omstandigheden de stijghoogte in de zandlaag onder dagelijkse omstandigheden net hoger dan onderzijde deksloof. Wanneer het groutlichaam niet voldoende doorgegrout is kan er meer kwel langs het anker.

Onder de normcondities, die zijn gehanteerd tijdens het ontwerp, bedraagt de stijghoogte in het zand NAP + 2,40 m (Waterschap Rivierenland, 2013). Ten opzichte van de onderzijde van de gording (NAP -1,0 m) bedraagt de ΔH in de heave formule $(2,40 - -1,00) = 3,40$ m.

Op basis van het geotechnische lengteprofiel kan worden bepaald dat het pakket slecht doorlatende lagen tussen dijkpaal AW169 en AW170 tot maximaal NAP - 11,0 m reikt. De dikte van het slecht doorlatende pakket gerekend vanaf onderzijde deksloof bedraagt dan: $D = (\text{NAP} -11,0 - -1,0) = 10$ m. Op basis van een ΔH van 3,40 m en een D van 10 m wordt een $\Delta H/D$ heave gradiënt gevonden van 0,34. Dit is kleiner is dan de kritieke gradiënt van 0,5, waardoor zandtransport niet kan plaatsvinden.

3.4.2 Uitkomsten

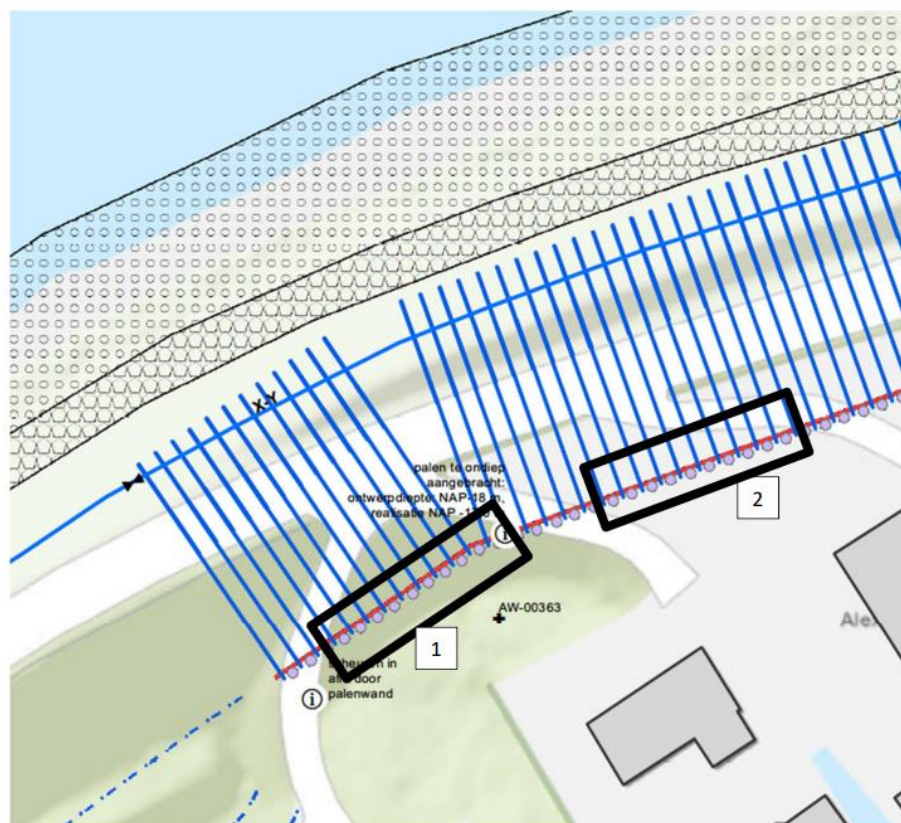
In dit gebied (AW169-AW170) is zandtransport langs de achtergebleven holle ruimte uitgesloten. Op iedere locatie langs de dijk met een anker zal de situatie anders zijn door variatie in hoogte van de gording, dikte van het slappe lagen pakket en de stijghoogte in de (tussenzand) laag. De berekende situatie met een laaggelegen gording is een maatgevende situatie voor het heave-criterium (uitspoelen van zand) voor het traject waar een boorpalenwand is geïnstalleerd. Het feit dat er geen zandtransport kan optreden wil overigens niet zeggen dat er geen vernatting op kan treden.

Met betrekking tot het risico op vernatting als gevolg van niet volledige doorgezette groutprop bij de verankering wordt het volgende opgemerkt. Vanuit de algemene toepassingsrichtlijn voor groutankers bij waterkeringen geldt dat er tot minimaal 2 m boven de bovenzijde van het watervoerende pakket moet worden doorgegrout om kwel langs de verankering te voorkomen. Vanuit de indraaigegevens van de verankering (zie opleverdossier) zijn hier twijfels over. Bewust is er destijds voor gekozen om de gaten van de strengankers met waterdruk schoon te spoelen en niet vol te grouten om het effect van de zakkende grond op de ankers te verminderen. In (Deltares, 2022) is dit toegelicht.

Bij nadere analyses van de indraaigegevens volgt dat er veel opmerkingen zijn gemaakt dat tijdens het schoonspuiten met water van een anker, water uit het naastliggende anker omhoog kwam. Een voorbeeld hiervan is weergegeven op Bijlage C.

Of dit effect komt doordat het water vanuit het ene anker via de watervoerende zandlaag wordt getransporteerd naar het naastliggend anker, of via hoger gelegen zandlagen die niet in verbinding staan met de rivier is niet goed te achterhalen. Ten behoeve van de in Hoofdstuk 4 uitgevoerde graafwerkzaamheden zijn deze opmerkingen over uittredend water geïnventariseerd en leidend gesteld voor de locatie selectie.

Als voorbeeld van deze inventarisatie zijn de resultaten van Sectie X-Y weergegeven in Figuur 3.14.



Figuur 3.14 Locatie X-Y. Bij de blauwe ankers is tijdens realisatie een melding geweest van uittreedende water bij het schoonspoelen van het naastliggende anker.

3.5 Controle op het vastzitten van de wiggen op de strengankers

Naast de kans op een loszittende wig na installatie zijn er nog een aantal momenten in het werkproces dat de strengen worden opgepakt en visueel worden geïnspecteerd. Wanneer deze werkzaamheden serieus en deskundig worden uitgevoerd zal een loszittende streng worden opgemerkt voordat de ankerkop wordt gesneld en vol gegroot.

In Figuur 3.15 is de gebeurtenissenboom weergegeven voor het afspannen van de verankering. De gebeurtenissenboom is gepresenteerd als een “faalpad” voor het falen van de ankerkop. De groene bolletjes zijn gebeurtenissen die bepalen of de wiggen en de strengen al dan niet goed vastzitten. De rode bolletjes betreffen eindgebeurtenissen voor het falen van de ankerkop. De blauwe bolletjes zijn momenten in het proces van afwerken van de ankerkoppen dat niet goed ingezakte wiggen of loszittende strengen opgemerkt zouden kunnen worden. De oranje bolletjes stellen interventies voor die genomen kunnen worden om uiteindelijk falen van de ankers te voorkomen.

Het veldonderzoek naar ankerkoppen beschreven in Hoofdstuk 4 is er op gericht om vast te stellen of bovenstaande twee systematische fouten voorkomen.

3.6 Belangrijkste uitkomsten nadere analyse boorpalenwand

Sterkte boorpalen

Er is geen sprake van reductie van de sterkte van de boorpalen, niet op korte en niet op lange termijn. De mindere sterkte, door lagere betonkwaliteit, wordt ruimschoots gecompenseerd door de grotere diameter van de palen in het Holoceen, waar het maximale moment optreedt. Bleeding zal hooguit leiden tot de uitval van een enkele wapeningsstaaf wat kan leiden tot een reductie van de momentcapaciteit met enkele procenten. Dit wordt gecompenseerd door de grotere diameter van de boorpaal, zelfs als dit fenomeen gelijktijdig optreedt met een lagere betonkwaliteit. De mogelijke mindere kwaliteit (hogere porositeit) van de betondekking leidt onder de grondwaterstand, in het Holoceen en in het Pleistoceen, niet tot corrosie van de wapening door gebrek aan zuurstof. Dit betekent dat de levensduur niet in het geding is. Boven de grondwaterstand, dat wil zeggen in de bovenste meter van de palen zou corrosie kunnen optreden, maar daar is nauwelijks sprake van een buigend moment maar van dwarskracht. De moment capaciteit in de bovenste meters is dus niet maatgevend. Hierbij wordt opgemerkt dat tijdens het snellen van de koppen van de boorpalen ten behoeve van het aanbrengen van de gording geen afwijkende betonkwaliteit is waargenomen.

Aanvullend op het memo van de BAM(zije bijlage K) is gekeken of aantasting van de beton aan de bovenzijde van de boorpaal tot problemen kan leiden met de opneembare dwarskracht. Dit is gedaan op basis van de unity check, zoals deze in het ontwerp van de dwarskracht in de constructie is berekend. Hiervoor is gebruik gemaakt van de uitvoeringsontwerpnota van de Aannemerscombinatie (Combinatie Dijkverbetering Molenwaard, 2016).

Uit deze nota volgt dat bovenin de boorpaal, zoals verwacht, geen inklemmingsmoment aanwezig is. De unity check op de dwarskracht bedraagt maximaal 50,3% of 0,50. Hierdoor zal dit, wanneer er sprake is van enige aantasting van de boorpaal bovenin, niet leiden tot overschrijding van de maximaal opneembare dwarskracht. Hiervoor is nog voldoende capaciteit beschikbaar (factor 2).

Controle van de wiggen van de strengverankering op speling en structurele werking

Uit de literatuurstudie en de beschikbare gegevens volgt dat niet met hoge mate van zekerheid is vast te stellen dat de wiggen goed in de strengankers zijn ingevreten en daarmee goed vastzitten. Doordat de afspanning aanzienlijk lager is dan onder meer op basis van Duitse literatuur wordt voorgesteld zou het kunnen dat de wiggen niet goed invreten in de kabel.

Verdere analyse op basis van Thompson (Bijlage I.2) laat zien dat wanneer de wiggen vastzitten ze zich bij hogere belasting door zakkende grond verder vast zullen zetten en daarmee het risico op losraken zal verkleinen.

Er zijn theoretische analyses (hand- en PLAXIS berekeningen) uitgevoerd op de gordingverplaatsing en de effecten op de wiggen. Deze analyses tonen aan dat er een risico bestaat op het loskomen van de wiggen tijdens het uitvoeren van een controle- of geschiktheidsproef. Om de onzekerheid rondom theoretische analyses te verkleinen is besloten visuele inspecties uit te voeren op een aantal op te graven ankerkoppen. Het veldonderzoek naar de kwaliteit van de ankers en lekkage is beschreven in Hoofdstuk 4.

Herbeschouwing van de kruipmetingen voor de sterktebepaling van de ankers

Op basis van de evaluatie van de kruipmetingen van controle- en geschiktheidsproeven is de conclusie dat er geen overtuigende redenen zijn gevonden dat deze niet correct zouden zijn uitgevoerd. Het kwaliteitssysteem heeft op dit punt goed gewerkt.

Beschouwing kans op uitspoelen van zand langs de verankering

Voor de diepst liggende gording is getoetst of het uitspoelen van zand langs de achtergebleven holle ruimte om de ankerstreng mogelijk is Paragraaf 3.4. Dit is uitgesloten. Dit wil niet zeggen dat er geen vernatting op kan treden.

Beschouwing kans op lekkage langs de ankers

Op basis van de geanalyseerde indraaigegevens is het waarschijnlijk dat er langs de ankerstangen kwel kan optreden omdat de groutprop niet altijd tot een voldoende hoog niveau is doorgezet. De locaties met de verdenking dat er kwel langs verankering kan optreden zijn nader geïnspecteerd, zie hiervoor Hoofdstuk 4

Vervolgonderzoek met betrekking tot de controle op het vastzitten van de wiggen van de strengankers

Uit Figuur 3.15 volgt dat er sprake kan zijn van een systematische fout in het proces van het afspannen van de strengankers bij lage spanningen. De kans dat deze systematische fout ook is opgetreden kan worden aangetoond door een steekproef te doen op circa 100 ankerstrengen (circa 16 ankers). Deze steekproef is uitgevoerd, de resultaten zijn te lezen in Hoofdstuk 4. Aantonen of er sprake is van een incidentiele fout is niet nodig omdat hiermee in de ontwerpmethodiek impliciet rekening wordt gehouden door met ankeruitval te rekenen.

Aanbevolen wordt om in de toekomst bij het toepassen van strengankers het inzakken van de wiggen in de wigstoel en het invreten van de wig in de ankerstreng goed in het opleverdossier vast te leggen. Nu wordt verondersteld dat, het niet goed vast zitten van wiggen en strengen wordt opgemerkt in het verdere proces van afwerken van de ankers en wanneer nodig er ingegrepen wordt. Voor KIS is dit niet goed vastgelegd waardoor nu een steekproef nodig is om hierover een uitspraak te doen. In het opleverdossier moet eigenlijk een foto van de ankerkop met de ingezakte wiggen en de ingevreten kabels zitten als bewijsstuk binnen een UAV GC contractvorm. Als voorbeeld wordt verwezen naar de foto's die in het kader van de steekproef zijn genomen van de ankerkoppen en wiggen.

4 Veldonderzoek verankering en vernatting

Naar aanleiding van de meldingen van wateroverlast en de aanbevelingen uit de expertsessie over de kwaliteit van de boorpalenwand is een aanvullend onderzoek uitgevoerd. In dit aanvullende onderzoek is op zes locaties de gording van de boorpalenwand vrij gegraven om vast te kunnen stellen of er lekkage is bij de boorpalenwand. Daarnaast zijn er een aantal ankerinspecties uitgevoerd door de ankerkoppen los te halen en te controleren of de wiggen van de strengankers vastzitten.

De keuze voor een ankerinspectie bij een specifiek anker is gebaseerd op het feit of er een geschiktheidsproef is uitgevoerd. Is dit het geval, dan zijn de naastgelegen ankers, waar mogelijk, onderzocht omdat deze het meeste kans hebben om los te komen door de gordingverplaatsing uit scenario 3 van Paragraaf 3.2.6. Daarnaast is de locatiekeuze gebaseerd op rapportage van opkomend water tijdens de installatie (5 van de 6 onderzochte locaties). Bij 1 van de 6 onderzochte locaties zijn er meerdere meldingen van wateroverlast geweest, dat was aanleiding om deze locatie verder te onderzoeken.

Dit veldonderzoek is aanvullend op het veldonderzoek wat is uitgevoerd ten behoeve van het installeren van de monitoring ten behoeve van werkpakket 2. Ten behoeve van veldonderzoek voor de monitoring zijn de gordingen vrij gegraven en is bij sectie F2 een lekkend anker aangetroffen. Van dit anker is de ankerkop ook vrijgemaakt en zijn de wiggen gefotografeerd en geïnspecteerd. De resultaten van deze inspectie zijn ook in voorliggend onderzoek meegenomen.

4.1 Doel inspectie

Het doel van deze inspecties is om het volgende vast te stellen:

1. Wat is de kans dat, bij het uitvoeren van een geschiktheidsproef op een anker, het naastgelegen anker spanningsloos wordt en dat daardoor de wiggen loskomen uit de wigstoel en bij weer op spanning komen gaat slippen?
2. Wat is de kans dat een loszittende wig of streng niet wordt opgemerkt tijdens de afspanprocedure en dat een systematische fout optreedt?
3. Is er lekkage langs de boorpalenwand aanwezig?
4. Wat is de grondwaterstand voor en achter de gording van de boorpalenwand?

De foto's van de inspecties zijn allemaal gearchiveerd bij Deltares en kunnen desgewenst worden opgevraagd. Het feitenverslag van de veldwerkzaamheden en de inspectieformulieren zijn terug te vinden in (Deltares, 2023)

4.2 Uitkomsten

Bij de inspectie is op 6 locaties, verdeeld over het traject, de gording van de boorpalenwand vrij gegraven en zijn er in totaal 54 ankerkoppen vrij komen te liggen. Van deze 54 ankers is bij 17 ankers de kap verwijderd voor een inspectie van de wiggen. In totaal zijn op dit traject circa 1300 ankers geïnstalleerd. De ankerkoppen die zijn verwijderd waren gelegen naast, of zo dicht mogelijk bij, een anker waarop een geschiktheidsproef is uitgevoerd.

Bij 1 ankerkop is vastgesteld dat 1 van de 6 strengen is teruggeschoten in de wig. Als veilige aanname wordt ervan uitgegaan dat deze streng zijn functie heeft verloren. Het verlies van deze streng wordt opgevangen door de andere 5 strengen die wel vastzitten. Dit resulteert in

een gereduceerde houdkracht (5/6 deel), maar het betekent dus niet dat het anker als volledig uitgevallen hoeft te worden beschouwd.

Op basis van de inspecties is gebleken dat 111 van de 114 wiggen goed in de ankerstoel zitten. Er wordt daarmee een kleine kans ($P_f < 5\%$) vastgesteld dat de wig niet goed ingezakt is.

Bij een te lage afspankracht kunnen, bij het testen van een naastgelegen anker, de wiggen loskomen waardoor een of meerdere strengen van dat anker niet meer functioneren. Van de 3 niet goed ingezakte wiggen zaten er 2 goed vast, een wig lijkt te zijn geslipt (slechts 1 mm streng stak nog uit de wig). Op basis hiervan wordt geconcludeerd dat 113 van de 114 geïnspecteerde strengen vastzaten. Bij 1 wig is bij de inspectie vastgesteld dat deze niet goed vastzit (de geslipte wig). De kans op geslipte strengen kan hierdoor als verwaarloosbaar klein ($P_f < 1\%$) worden vastgesteld.

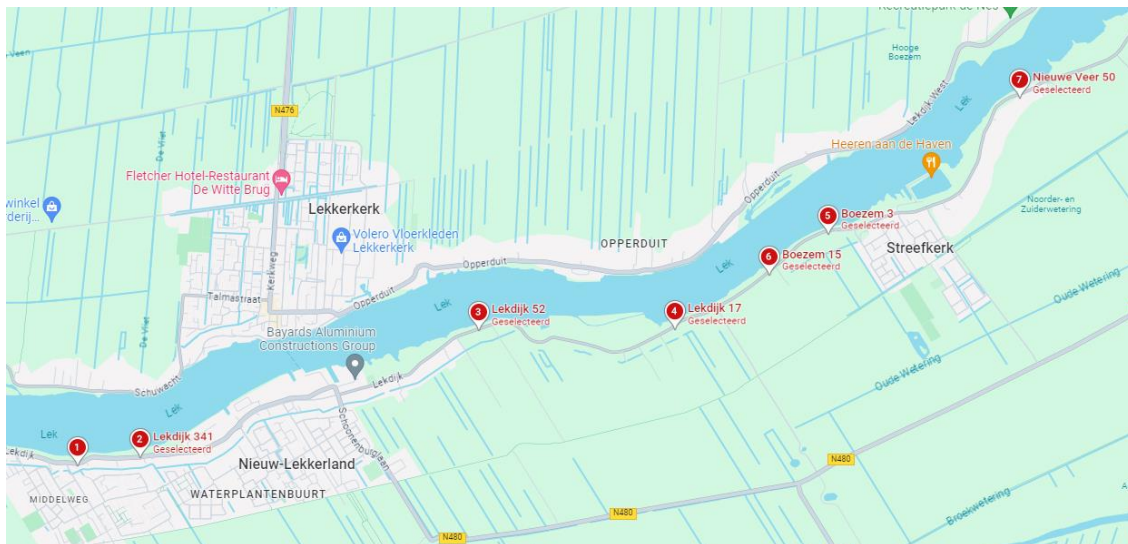
Wanneer bij het uitvoeren van een controle- of geschiktheidsproef op het naastliggende anker de deformatie van de gording groter zou zijn dan de rek in de strengankers zou verwacht mogen worden dat van het betreffende anker alle wiggen (of bijna alle) los zouden zitten. Omdat dit bij geen enkel anker is waargenomen wordt een systematische fout uitgesloten zodat de kans op dit scenario ook verwaarloosbaar klein is ($P_f < 1\%$).

Bij geen van de locaties in het aanvullend veldonderzoek van september 2023 is lekkage of een indicatie van mogelijke lekkage gevonden. Uit de tabel met gegevens van de handboringen blijkt dat op alle locaties een grondwaterstand achter de gording wordt gevonden tussen de -0,3 en -0,52 m onder de gording. In de doorsnede geven de boringen aan dat er een verval van 5 cm per meter is tussen de boring voor en achter de gording.

Bij het onderzoek van maart 2023 is een lekkend anker geconstateerd. Het lekdebiet was 12 liter per uur. Na het opnieuw grouten van het anker is de lekkage langs het anker gestopt.

Tijdens de inspecties was de rivierwaterstand op een gemiddeld niveau. Er kan dus geen conclusie worden getrokken over mogelijke lekkage langs de ankers bij hoogwater. Mogelijke lekkage zal worden beoordeeld met behulp van de monitoring van de grondwaterstanden.

4.3 Samenvattingen per locatie ankerinspectie



Figuur 4.1 Overzicht van graaflocaties, locatie aangegeven met nummer 2 is graaflocatie in maart, resterende locaties zijn bij graafwerkzaamheden in periode augustus tot oktober.

4.3.1 Sectie F2

Tijdens de aanleg van het monitoringsysteem in maart 2023 werd vernatting geconstateerd bij paneel F2-2. Er is van de gelegenheid gebruik gemaakt om de gording vrij te graven en de ankerkop te verwijderen voor inspectie, zie Figuur 4.2. In Bijlage H is een fotoverslag van deze werkzaamheden opgenomen. Tijdens de werkzaamheden op 30 maart 2023 zijn 2 medewerkers van De Vries - Titan (onderdeel van de aannemerscombinatie die de dijkversterking heeft uitgevoerd) aanwezig die de kop hebben los gemaakt en verwijderd. Daarna is het grout dat nog op het wiggenblok zat verwijderd totdat de stoel met wiggen zichtbaar was. Na visuele inspectie werd het wiggenblok opnieuw afgevuld met grout. Daarna is de groutkop teruggeplaatst en aangevuld met grout. Voor de steekproef over het al dan niet vastzitten van ankers is deze locatie relevant en daarom meegenomen.

De belangrijkste waarnemingen zijn:

- Grout was weggelopen uit de ankerkop, vulgat zat niet vol.
- Leckage tussen de ankerplaat en de deksloof met een geschat debiet van 12 l/uur.
- Na het verwijderen van het grout zijn geen zichtbare gebreken aan de ankerkop, wiggen en strengen waargenomen, zie Figuur 4.2.



Figuur 4.2 Aangetroffen ankerkop met rode markering van het lek.



Figuur 4.3 Wiggenblok Anker A8 sectie F2.

4.3.2 Sectie PQ1 (Boezem 15A-16)

Sectie PQ1 is de eerste locatie waar in augustus september ontgraven is. Bij deze ontgraving zijn 15 van de gewenste 15 ankerkoppen vrij gegraven. Bij de installatie van deze ankers was er geen lekkage bij het naastgelegen anker. Van deze 15 ankers zijn bij 5 ankers de koppen verwijderd zodat de wiggen geïnspecteerd konden worden. Van de vijf ankers waren 4 varianten met een kleine kop en 6 strengen. 1 van de 5 had een grote kop en bestaat uit 7 strengen. Bij het inspecteren van de wiggen zijn geen bijzonderheden geconstateerd die leiden tot twijfel aan het vastzitten van de wiggen.

Noot: Bij een 6-strengs anker wordt een 7-gats wiggenblok gebruikt zodat het anker door het niet gebruikte gat volgegrout kan worden.

Noot: Bij het afslijpen van de strengen is door de aannemer bekeken hoe dit het eenvoudigst was om te doen. Hierdoor zijn de nog uitstekende strengen niet allemaal van dezelfde lengte. In het veld en op basis van de foto's is het goed te achterhalen wat de volgorde van slijpen is geweest. Hoogteverschillen tussen strengen met eenzelfde snijvlak kan duiden op slippen

tussen wig en streng. In dit geval is dit niet geconstateerd. Bij het afslijpen is er geen specifieke hoogte waarbij rekening moet worden gehouden.

Noot: tussen plaatsen van koppen en afgrouten na het afslijpen van de strengen kon een aantal dagen zitten (volgens de Vries-Titan), omdat door de opzichter goedkeuring voor moest gegeven. In deze tussenliggende periode van enkele dagen kan enige mate van roest zijn gevormd op de strengen, wiggen het wiggenblok.

4.3.3 Sectie XY (Nieuwe Veer 50-50B)

Sectie XY is de tweede locatie waar gegraven is. Bij deze locatie zijn er 7 van de 23 geplande ankerkoppen ontgraven. Sectie XY bestond uit 2 inspectie locaties. Vanwege de uitvoerbaarheid is besloten om de oostelijke locatie niet te ontgraven. Vanwege het geringe aantal ankerkoppen is op deze locatie besloten 2 van de 7 koppen te inspecteren. Bij de inspectie van de ankers bleek dat bij anker XY-29 de kop van 1 streng op dezelfde hoogte zat als de bovenkant van de wig (zie Figuur 4.4). Dit kan erop duiden dat dit een geslijpte streng is. Tijdens de inspectie was er geen beweging in de streng te krijgen, deze bleek vast te zitten. De wig stond enkele millimeters hoger dan de andere wiggen. Dit kan duiden op vervuiling van de wig of van het gat in de ankerstoel.

Tijdens de installatie lijkt het logisch dat de strengen op ongeveer dezelfde hoogte zijn afgeslepen. Het is niet aannemelijk dat deze streng strak boven de wig is afgeslepen omdat dit tot slijpsporen op de wig zou leiden. Deze slijpsporen zijn niet waargenomen.

Voor dit anker betekent het dat er van een reductie van de houdkracht van het anker met 1/6^{de} deel moet worden uitgegaan. Het anker behoudt dus 5/6^{de} deel van zijn houdkracht.



Figuur 4.4 Anker A29, locatie XY.

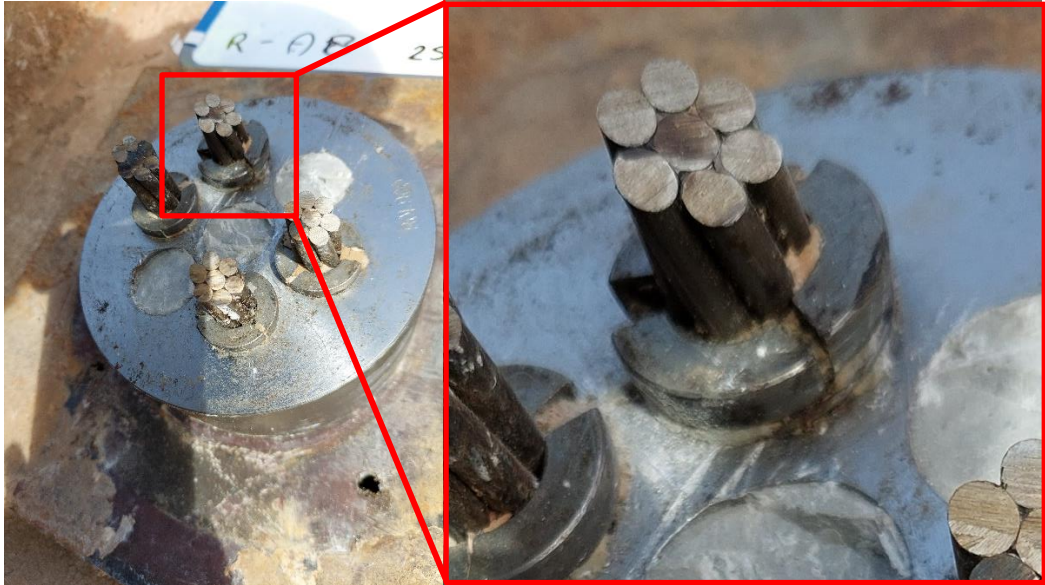
4.3.4 Sectie N (Lekdijk 17-19)

Sectie N is de derde locatie waar gegraven is. Op deze locatie zijn 12 van de 16 ankers opgegraven. Anker A08 en A21 tot A23 konden niet uitgegraven worden vanwege de opritten die dicht bij deze locaties lagen. Bij de inspectie is van 3 ankers de kop verwijderd.

Bij de inspectie van de ankers is geen teken van loszittende wiggen te zien en kan ervan uit worden gegaan dat deze vastzitten. Verder waren de wiggen schoon en was er geen roestvorming te zien. Wiggen op gelijkmatige hoogte (4 à 5mm boven ankerstoel), duidt erop dat deze goed zijn ingezakt en goed klemmen om de streng.

4.3.5 Sectie R (Boezem 3-3A)

Sectie R is de vierde locatie waar ankers zijn ontgraven, op deze locatie zijn 12 van de 14 ankerkoppen ontgraven. Anker A01 en A14 konden niet worden ontgraven omdat deze te dicht bij de oprit liggen. Van de ontgraven ankers zijn er 3 ontdaan van hun kap en zijn de wiggen geïnspecteerd. De geïnspecteerde ankers zijn A02, A08 en A13. Op deze locatie bestonden alle ankers uit 4 strenggen in een wiggenblok met zeven gaten. Bij geen van de drie ankers zaten de wiggen los. Alleen bij anker R-08 was 1 van de 4 wiggen minder ingezakt in de ankerstoel. Dit kan duiden op een vervuiling bij het plaatsen van de wig. De streng steekt nog boven de wig uit op ongeveer dezelfde hoogte als de andere 3. De wiggen zitten goed vast, er is geen reden om te twijfelen aan de werking van dit anker.



Figuur 4.5 Anker A08, locatie R.

4.3.6 Sectie L2 (Lekdijk 52)

Op locatie L2 zijn er 7 van de 9 ankers ontgraven waarvan er drie zijn geïnspecteerd. Ankers A41 en A42 konden niet bereikt worden. De ankers op deze locatie waren 11-strengs ankers die in een ankerstoel met 12 gaten zijn geplaatst. Bij alle 3 de ankers zitten de wiggen vast en is er geen indicatie voor foutieve wiggen. Bij anker A34 is geconstateerd dat er 1 wig is die 2 à 3 millimeter verder boven de stoel uitsteekt dan de rest. Dit kan duiden op niet goed vast vreten van de wig in de kabel, maar bij inspectie was hier geen indicatie voor (wiggen zaten vast).



Figuur 4.6 Anker A34, locatie L2.

4.4 Lekkage en grondwaterstanden

Op de verschillende locaties zijn handboringen verricht om de grondwaterstand te bepalen. Deze handboringen zijn verricht door Wiertsema en Partners. Bij de ontgravingen in september 2023 zijn geen indicaties van lekkage gevonden.

Uit de tabel met gegevens over de handboringen blijkt dat op alle locaties een grondwaterstand achter de gording wordt gevonden tussen de -0,3 en -0,52 m onder de onderkant gording. De onderkant van de gording ligt bij deze locaties op NAP 0,00 m (bij locatie F1-1 deels op NAP 0,00 m en deels op NAP -1,0 m) . Bij locatie R bij Boezem 3-3A zijn twee sleuven gegraven aan de rivierzijde van de gording omdat dit daar veilig kon. Deze 2 sleuven gaven geen indicatie voor lekkage. Bij locatie F2 ligt de onderkant gording op NAP -1 m en stond er bij de inspectie van maart 2023 water op 15 cm onder bovenkant gording. Dit was alleen het geval bij het lekkende anker. Er zijn bij deze locatie geen extra handboringen gedaan dus is er geen extra informatie over grondwaterstanden bij deze locatie.

Voor alle graafwerkzaamheden uit september geldt dat deze zijn uitgevoerd in een droge periode. Alleen bij de locatie PQ was de waterstand op de Lek tijdens het ontgraven rond de NAP + 1,0 m en daarmee hoger dan de bovenzijde van de deksloof. Het feit dat tijdens de ontgravingen geen vernattingen zijn geconstateerd wil niet zeggen dat er ook geen vernatting kan optreden. De monitoring van de grondwaterstand in de secties F1-1, F2-2 en H2 en de aanvullende geplaatste peilbuizen moeten hier uitsluitsel over geven, onderdeel A van het onderzoek.

Voor de resultaten van de boringen die tijdens de werkzaamheden zijn uitgevoerd wordt verwezen naar Wiertsema en Partners, (Wiertsema en Partners, 2023).

5 Conclusie

In voorliggend Hoofdstuk worden de conclusies samengevat met betrekking tot de kwaliteit van de boorpalenwand. De resultaten van dit subonderzoek worden meegenomen in onderdeel D van dit onderzoek, het duiden van de waterveiligheid van de boorpalenwand.

Om duidelijkheid te verkrijgen over de kwaliteit van de boorpalenwand is gestart met een expertsessie. Dit expertteam stelde vast dat er specifiek rondom het functioneren van de verankering, onderdeel van de boorpalenwand, onzekerheid bestaat. Aan de hand van deze bevindingen zijn subvragen geformuleerd met een focus op de installatie van de ankers, en is aanvullend onderzoek uitgevoerd. De bevindingen van dit onderzoek zijn meegenomen bij het beantwoorden van de onderzoeksvragen.

5.1 Kwaliteit (aanleg data) uitvoering en levensduur boorpalenwand

Onderzoeksvraag 1: Hoe wordt de kwaliteit van de uitvoering en verwachte levensduur van de boorpalenwand beoordeeld? Zijn de data van de installatie processtappen en oplevergegevens voldoende om de kwaliteit van de boorpalenwand aan te tonen?

De uitvoering van de aanleg van de boorpalenwand is over het algemeen van voldoende kwaliteit als het gaat over de boorpalen. Dit oordeel is gebaseerd op een analyse van de aanlegmethode, het stortproces van de boorpalen en de bevindingen van het expertteam. Bij de uitvoering van de installatie van de boorpalen zijn de volgende kanttekeningen te plaatsen:

- In verband met het ontbreken van informatie in het opleverdossier over de afstandhouders van de betonwapening van de boorpaal is de betondekking op de wapening niet goed te controleren. Onvoldoende betondekking van de wapening van de boorpaal is een risico voor de levensduur.
- De kwaliteit van het beton voor de boorpalen is onvoldoende frequent gecontroleerd tijdens de uitvoering.

Uit nadere analyses van de betonkwaliteit volgt dat de overbetonnering de verminderde sterkte als gevolg van de betonkwaliteit volledig compenseert en dat er geen sprake is van sterktereductie van de boorpaal over de volledige planperiode.

Over de kwaliteit van de installatie van de strengankers bestaat onzekerheid. Op basis van de uitgevoerde analyses en de bevindingen van het expertteam zijn de volgende risico's geïdentificeerd:

- De beschikbare data en oplevergegevens van de processtappen van de aanleg van de boorpalenwand zijn op het punt van de ankers onvoldoende gebleken om de kwaliteit met een hoge mate van zekerheid te kunnen aantonen.
- Er is twijfel over de installatiemethode en de afspanning van de verankering van de boorpalenwand. Het gaat hierbij om de resultaten van controle- en geschiktheidsproeven en het risico van uitspoelen van zand bij het anker.

Dit heeft geleid tot aanvullend onderzoek met een focus op de verankering, zie uitkomsten in Paragraaf 3.3.3.

5.2 Eindoordeel kwaliteit boorpalenwand

Onderzoeksvraag 2: Experts droegen risico's aan voor een eventueel verminderde kwaliteit van de boorpalenwand. Wat is het eindoordeel over de kwaliteit op basis van bestudering van het opleverdossier en het uitgevoerd (aanvullend) onderzoek?

Op basis van het onderzoek wordt geconcludeerd dat de boorpalenwand functioneert zoals beoogd. Er is geen reden gevonden om aan te nemen dat de boorpalenwand op dit moment minder sterk is dan bepaald tijdens het ontwerp.

Deze conclusie wordt onderbouwd met de conclusie over de uitvoering van de aanleg (Paragraaf 5.1) en de volgende uitkomsten van het aanvullend onderzoek:

- Na een herbeoordeling van de kruipmetingen van de controle- en geschiktheidsproeven is er geen reden gevonden aan de uitvoering van de groutankers te twijfelen (*antwoord op subvraag 4*).
- De uitgevoerde bureaustudie en berekening geven aan dat onder bepaalde omstandigheden de risico's op slecht werkende wiggen reëel kunnen zijn. Hierdoor kunnen de ankerstrengen los komen te zitten. Deze theoretische beschouwing kent echter een hoge mate van onzekerheid. Daarom is veldonderzoek uitgevoerd waarin 114 wiggen en strengen zijn geïnspecteerd. Hierbij is slechts 1 geval geconstateerd waaraan getwijfeld kan worden. Dit risico wordt daarom als verwaarloosbaar klein beoordeeld (*antwoord op subvraag 5*).
- Gegeven de gehanteerde werkwijze is er een kans op uitspoelen van zand bij de installatie van de verankering. Het risico op het uitspoelen van (tussen) zandlaag wordt echter als klein beoordeeld omdat de stijghoogte onder normcondities in het zand te laag is om bij een aanwezige lekweg langs het anker tot zandtransport te leiden (*antwoord op subvraag 6*). Dit wil overigens niet zeggen dat er geen risico op vernatting is.

5.3 Effect kwaliteit boorpalenwand op waterveiligheid

Onderzoeksvraag 3: Wat is het effect van een verminderde kwaliteit van de boorpalenwand op de waterveiligheid?

In deze paragraaf zijn de effecten op de waterveiligheid gepresenteerd die van belang kunnen zijn bij een verminderde kwaliteit van de boorpalenwand. De daadwerkelijke evaluatie en beoordeling van die effecten vindt plaats in andere delen van het onderzoek, namelijk onderdeel A (Oorzaken vernatting) en onderdeel D (Beoordeling waterveiligheid).

Verminderde sterkte van de boorpalen

Uit nadere analyses van de betonkwaliteit volgt dat er geen sprake is van sterktereductie van de boorpaal over de volledige planperiode.

Lekkage boorpalenwand

De kans op verminderde houdkracht van de ankers als gevolg van uitspoeling van zand is verwaarloosbaar klein gebleken. Wel kan mogelijk vernatting optreden langs de ankerstreng. In onderdeel A van het onderzoek wordt de stijghoogte geanalyseerd die kan optreden in de tussenzandlaag als gevolg van een kortsluiting met de Pleistocene zandlaag.

Ankeruitval

Uit het onderzoek volgt dat er geen redenen zijn om aan te nemen dat de ankeruitval groter is dan de uitval van 10%, waarmee in het ontwerp rekening is gehouden. Hiervoor is dus geen vervolgonderzoek nodig.

A Briefrapport Feitelijke beschouwing storten boorpalen KIS i.r.t. afwijking 00187

Naar aanleiding van vragen van de reviewcommissie voor het onderzoek naar de vernatting bij dijkversterking Kinderdijk Schoonhovenseveer die zijn samengevat in een memo van waterschap Rivierenland met als titel “Beantwoording van vragen n.a.v. eerste bijeenkomst reviewcommissie” doen wij u hierbij een korte briefnotitie toekomen ten aanzien van het storten van de boorpalenwand in relatie tot de kwaliteit van de boorpalenwand.

Omdat wij de discussie over de constructieve veiligheid feitelijk willen houden, m.a.w. gevoerd op basis van alle beschikbare informatie, verzoeken wij u de informatie uit deze brief bij de stukken te voegen die naar de reviewcommissie worden gestuurd.

A.1 Aanleiding

In het fase 2 rapport van Deltares (Deltares, 2022) is in Bijlage A, Tabel 2.13 opgenomen met daarin een afwijkingenlijst die betrekking heeft op de uitvoeringsfase van de boorpalenwand.

In deze Tabel 2.13 staat de volgende regel:

AW-00187	Storten boorpalen rechtstreeks via de stortgoot van de betonmixer	M-01308	Aanpassen Werkplan boorpalen
-----------------	---	----------------	------------------------------

In het fase 2 rapport is deze afwijking verder niet besproken of toegelicht en was deze als een opsomming bedoeld voor de wijzigingen met betrekking tot de uitvoeringsfase van de boorpalenwand.

Naar aanleiding van de rapportage van Deltares (Deltares, 2021) en van de heer Van Baars (Van Baars, 2021) heeft waterschap Rivierenland een advies aan het Expertise Netwerk Waterveiligheid (ENW) gevraagd. Tijdens het tot stand komen van dit advies is in een vragenronde een vraag gesteld naar aanleiding van deze afwijking 00187 en de kwaliteit van de boorpalenwand. Gevraagd is toen of de boorpalen in zijn geheel rechtstreeks vanaf de stortgoot van de betonmixer zijn gestort. Deze vraag is door Deltares beantwoord middels een e-mail van 6 januari 2021. In deze e-mail is de genoemde afwijking AW-00187 in de context van het stortproces toegelicht, waarbij Deltares heeft weergegeven dat het hier alleen een afwijking op het werkplan betreft voor de bovenste meter van het storten van de boorpaal. De gehele boorpaal is gevuld met behulp van een plunjerbuis welke van onderaf de boorpaal naar boven toe wordt opgetrokken waarbij de stortmond zich altijd onder het natte betonoppervlakte bevindt. Deze e-mail is niet opgenomen in het ENW advies.

Bij het ENW advies zat een bijlage van CRUX (CRUX, 2022) waarin wordt ingegaan op de afwijking 00187. Hierin staat dat het niet duidelijk is of door de genoemde wijziging geen gebruik meer is gemaakt van de plunjerbuis. Opgemerkt wordt in die bijlage dat als dit zo is, dit een sterke afwijking is van het uitvoeringsplan en dat het storten van het beton van bovenaf een groot risico op ontmenging geeft van het beton en de palen dus afgekeurd hadden moeten worden. Verderop in de bijlage van CRUX wordt ook een relatie gelegd met de onjuiste uitvoering van de boorpalen in relatie tot de wateroverlast die ter plaatse is waargenomen.

Omdat deze memo van CRUX is opgestuurd naar de reviewcommissie en er vragen zijn gesteld vanuit deze commissie naar een verminderde kwaliteit van de boorpalen als gevolg

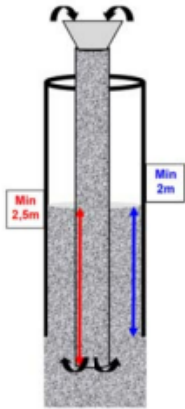
van het stortproces hechten wij er belang aan dat de informatie voor het review proces compleet is met betrekking tot dit onderwerp. Met voorliggende brief willen ervoor zorgen dat de informatie die wij in het e-mail van 6 januari 2021 hebben gedeeld ook beschikbaar is voor de reviewcommissie .

A.2 Stortproces van de boorpalen

Het stortproces van de boorpalenwand is weergegeven in het werkplan boorpalenwand van de Combinatie Dijkverbetering Molenwaard (Combinatie Dijkverbetering Molenwaard, 2015). Dit rapport betreft een definitief werkplan waarin de eerder genoemde afwijking 00187 is verwerkt. Zoals aangegeven is de uitvoeringswijze conform de voorschriften van EN 1536. In Figuur A.1 is het storten van de beton in de boorpaal bulletsgewijs weergegeven (overgenomen uit (Combinatie Dijkverbetering Molenwaard, 2015).

Stap 6: Storten van beton van de paal

- Het storten van beton gebeurt met behulp van een plunjerbuis van ongeveer 0.30m diameter volgens de contractor-methode. De verschillende elementen van de plunjerbuis worden mits waterdichte koppeling (O-ring en vet) aan elkaar bevestigd. De verbinding wordt verzekerd bij middel van stalen kabeltjes (cabletten).
- De plunjerbuis wordt neergelaten tot op de bodem van de boring,
- Een afscheiding tussen steunvloeistof en vers beton wordt gerealiseerd door het gebruik van een betonneerbal of vermiculitekorrels
- de plunjerbuis wordt gevuld met beton waarna ze 15 cm wordt opgetrokken.
- Continu wordt het beton via de stortgoot, in de opvangbak van de plunjerbuis toegevoerd, gelijktijdig wordt het boorwater afgepompt
- Regelmatig en minstens na iedere betonmixer wordt het niveau van het vers beton in de boorbuis opgemeten
- De plunjerbuis kan stelselmatig ingekort worden naarmate het betonpeil stijgt. Ingeval van stremming van de betonstroming kan de plunjerbuis alternerend omhoog en omlaag getild worden. In beide situaties bewaart men op elk moment minimaal 2,5m plunjerbuis in het verse beton
- de tijdelijke boorbuizen worden stapsgewijs opgetrokken, waarbij het verse beton de plaats inneemt van de voerbuis.
- Bij het inkorten van de boorbuizen wordt er gecontroleerd of het niveau van het beton minimaal 2m boven de boorkroon blijft
- De ontkoppelde plunjer- en boorbuizen worden zuiver gespoten en van alle cementmelk ontdaan.
- Nadat er zuivere beton is overgelopen over de rand van de boorbuis mag er overgestapt worden op het rechtstreeks storten van de beton via de goot van de betonmixer in de boorbuis (zonder gebruik van plunjerbuis). Enkel als aan de onderstaande voorwaarden is voldaan:
 - Er zuivere beton is overgelopen.
 - De valhoogte van de beton kleiner is dan 1m.
- Na het verwijderen van de laatste boorbuis wordt het eindniveau van het beton genoteerd.
- elke afwijking zal door Franki gemeld worden aan de technisch manager voor verdere stappen.
- Er wordt steeds nagekeken dat het niveau van een pas gestorte paal niet beïnvloed wordt bij de uitvoering van de naburige paal. In voorkomend geval wordt de tussenafstand naar de volgende paal vergroot.



Figuur A.1 Stortproces boorpalen volgens (Combinatie Dijkverbetering Molenwaard, 2015).

De wijziging betreft de eerst ingesprongen bullet, startent met “Nadat er zuivere.....”.

De wijziging 00187 in het stortproces is alleen toelaatbaar geacht nadat er zuivere beton is overgelopen over de rand van de boorbuis en de val hoogte kleiner is dan 1 m. Daarbij wordt het boorwater in de boorbuis verdrongen. De wijziging in het boorproces betreft dus alleen het (bij)storten van het bovenste deel van de paal nadat de boorcasing al helemaal gevuld is (geweest).

Door het verder trekken zal het betonoppervlak als gevolg van de wanddikte van de casing en de oversnijding door de boorkroon en als gevolg van grondverdringing zakken en moet

worden bijgestort. Er staat dan dus geen water meer in de casing. Dit volgt ook uit de betoneergrafieken, zie (Deltares, 2022).

Dit bijstorten gebeurt met een stortgoot (dus niet meer met de plunjerbuis, zoals in een concept versie van werkplan was aangegeven, zie documenten beheer (Combinatie Dijkverbetering Molenwaard, 2015) waarbij de valhoogte kleiner moet zijn dan 1 m. De schacht van de paal wordt, zoals voorgeschreven bijna volledig met een plunjerbuis gestort, zodanig dat de plunjerbuis zich altijd 2,5 m in de verse beton bevindt.

In het kader van het verdiepend onderzoek wordt gekeken naar de constructieve integriteit van de boorpalenwand, waarbij bovenstaand stortproces uitgangspunt is.

B Verslag expertsessie boorpalenwand

B.1 Inleiding

In Delft is een panelsessie met het expertteam georganiseerd die bestaat uit twee delen, een Electronic Board Room (EBR) sessie en een discussie. Het eerste deel is gericht op het in kaart brengen en kwantificeren van risico's die de kwaliteit van de boorpalenwand² kunnen beïnvloeden:

- Risico inventarisatie: Wat zijn de risico's gegeven de werkprocedure voor de installatie van boorpalen en verankering? Hoe verhouden deze risico's zich ten opzichte van de opbouw van de ondergrond en de wisselende waterdruk in de zandlaag als gevolg van getijdewerking.
- Risico bepaling: Per risico: wat is de waarschijnlijkheid van optreden en wat zijn de potentiële gevolgen van het optreden van een bepaald risico?

Bij het beoordelen van de risico's wordt een schaal van 1 tot 4 aangehouden, waarbij ten aanzien van de waarschijnlijkheid van optreden van het risico, 1 staat voor onwaarschijnlijk en 4 voor waarschijnlijk. Bij gevolg van optreden van het risico staat 1 voor een klein gevolg en 4 voor een groot gevolg.

In het tweede deel van de expertsessie is een terugkoppeling gegeven van de EBR-sessie en wordt het team gevraagd om, naar aanleiding van de volgende vragen, een expertise oordeel te geven:

1. Zijn de verstrekte oplevergegevens en de data uit de processtappen van de boorpalenwand voldoende om de kwaliteit van de boorpalenwand aan te tonen?
2. Hoe beoordeelt het expertteam de uitvoering van de aanleg van de boorpalenwand, inclusief verankering?
3. Hoe beoordeelt het expert team de levensduur van de boorpalenwand, inclusief verankering?
4. Hoe waarschijnlijk acht het expertteam dat er door de aangelegde constructie een hydraulische lekweg met de aanwezige zandlagen in de ondergrond is ontstaan, of in de toekomst kan ontstaan?
5. Hoe groot is de kans dat een boorpaal minder sterk is, wat is daar de reden van (structureel of incidenteel) en wat zijn de gevolgen voor de boorpalenwand? Is een inschatting te geven van de eventuele sterktereductie van een paal of een groep palen?

B.2 Conclusie expertsessie

Op basis van de resultaten van de EBR-sessie en de discussie die daarna gevoerd is, zijn de volgende hoofdconclusies geformuleerd:

- De beschikbare data en oplevergegevens uit de processtappen van de aanleg van de boorpalenwand zijn op het punt van de ankers onvoldoende om de kwaliteit met een hoge mate van zekerheid te kunnen aantonen.
- De installatie van de boorpalen is met voldoende kwaliteit uitgevoerd. Het expertteam heeft twijfels over de werking van de ankers. Dit komt omdat de ankers met een relatief kleine kracht zijn voorgespannen en er onduidelijke informatie beschikbaar is over de uitgevoerde afspanprocedure en controle- en geschiktheidstesten.
- Bij het installeren van de ankers is het mogelijk dat er een hydraulische lekweg is ontstaan door onvoldoende grouten boven de zandlaag en het schoonspoelen van het

² De boorpalenwand bestaat uit gewapende betonnen palen met verankering. Tijdens de installatie worden de ankers aangetrokken met een bepaalde afspankracht. Het ontwerp gaat uit van een bepaalde houdkracht van een anker (of ankerkracht) tijdens een hoogwater situatie.

boorgat met water. Dit draagt bij aan de vernatting en kan mogelijk nadelig zijn voor de lange termijn houdkracht van de ankers.

B.3 Expertsessie

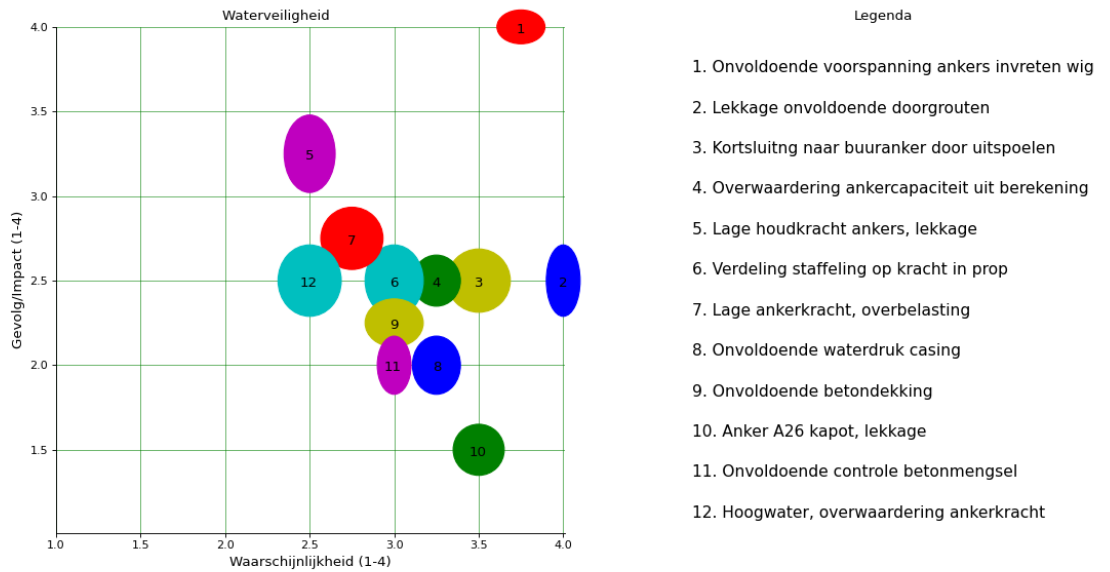
B.3.1 Electronic Boardroom Sessie

In de EBR-sessie worden door de aanwezige vier experts risico's aangedragen met betrekking tot de uitvoering en constructie van de boorpalenwand. Na het aandragen van de risico's worden deze door de experts beoordeeld op waarschijnlijkheid en het potentiële gevolg op een schaal van 1 tot 4. In eerste instantie zou deze beoordeling alleen gaan over de waterveiligheid van de boorpalenwand maar op aandringen van de experts is besloten de risico's ook te beoordelen met het oog op vernatting. Na het beoordelen van de risico's brengt de moderator de resultaten samen waarna de belangrijkste risico's verder in detail worden besproken.

De resultaten worden gepresenteerd in de vorm van figuren en tabellen. In de figuren wordt een risico weergegeven in de vorm van een ellips waarbij de breedte en hoogte van de ellips aangeeft of er veel of weinig consensus was onder de experts. Veel consensus resulteert in een kleine ellips en weinig consensus in een grote ellips. In de breedte gaat het om de waarschijnlijkheid en in de hoogte om het potentiële gevolg. In dit stadium is gekozen om de risico's te behandelen met een gemiddelde beoordeling hoger dan 2,5 van de waarschijnlijkheid en gevolg. Voor de waterveiligheid komt dit neer op 12 risico's en voor de vernatting op 16 risico's. In Bijlage B.4 en B.5 zijn de resultaten te vinden van alle risico's in de vorm van tabellen en figuren.

B.3.2 EBR-sessie Waterveiligheid

De relatie tussen waarschijnlijkheid en gevolg voor de waterveiligheid is gevisualiseerd in Figuur B.1. Uit de resultaten blijkt dat het hoogste risico voor waterveiligheid wordt toegekend aan de ankers (risico's 1-7, 10 en 12). Hierbij wordt het hoogste risico aan de afspanning van de ankers toegekend. Deze zou onvoldoende kunnen zijn voor het zich vast zetten van de wiggen. Als dit risico zich voordoet zijn de gevolgen voor waterveiligheid groot. Risico's 2, 3, en 10 hebben betrekking op de waarschijnlijkheid van een lekweg langs de ankers. Deze worden waarschijnlijk geacht maar hebben een relatief lage waarde voor gevolg ten opzichte van risico 1. Daarnaast is er over risico 3 minder consensus onder de experts. Verminderde houdkracht door uitspoeling ankers (risico 5) heeft een relatief lage waarschijnlijkheid maar indien aanwezig wel aanzienlijke gevolgen. Risico's 4, 6, 7 en 12 hebben betrekking op een lagere houdkracht van het anker dan bepaald in het ontwerp.



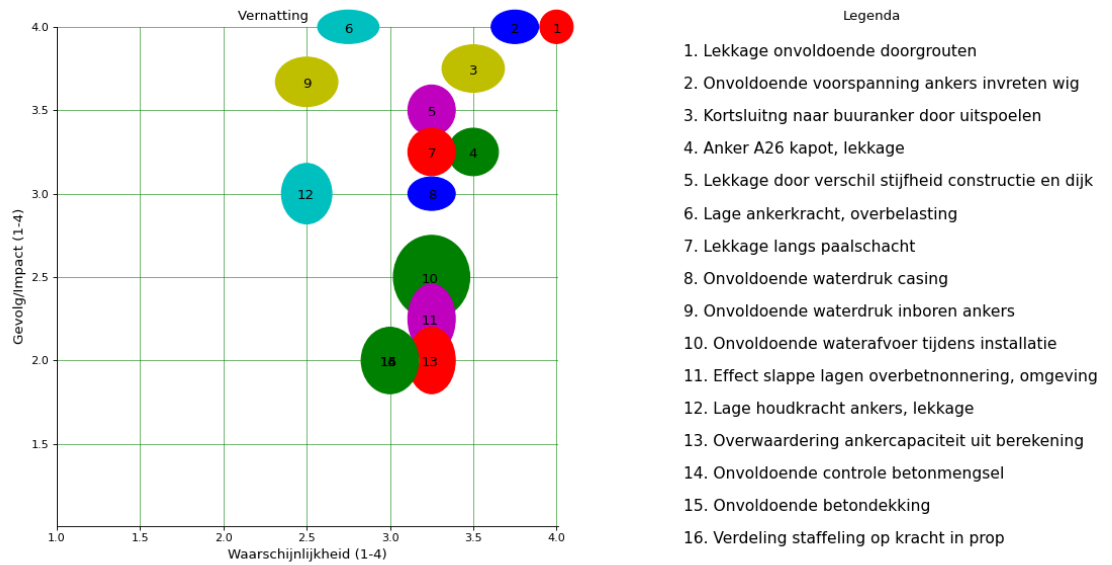
Figuur B.1 Relatie tussen de waarschijnlijkheid en gevolg van de 12 hoogst gescoorde risico's met betrekking tot de waterveiligheid.

De risico's 5, 8, 9 en 11 hebben betrekking op de boorpalen. De afname van de houdkracht van het anker kan leiden tot verplaatsing van de paal waardoor op termijn, als gevolg van kiervorming, een mogelijke lekweg ontstaat (risico 5). De waterdruk in de casing (risico 8) was waarschijnlijk onvoldoende maar de gevolgen zijn beperkt. De betondekking is mogelijk onvoldoende door niet goed gecentreerde wapening met een verkortend effect op de levensduur (risico 9). Door onvoldoende controle op het betonmengsel kan de kwaliteit van de boorpaal minder zijn (risico 11). Over risico 10 is weinig consensus onder de experts voor het gevolg op de waterveiligheid.

B.3.3 EBR-sessie Vernatting

Naast de toetsing voor waarschijnlijkheid en gevolg op waterveiligheid is de vernatting op eenzelfde manier beoordeeld. Deze gegevens zijn gevisualiseerd in Figuur B.2. Een directe observatie is dat risico's op vernatting hoger worden ingeschat op waarschijnlijkheid en gevolg dan geldt voor de waterveiligheid. Hier komt duidelijk naar voren dat er een grote kans is op lekkage bij de ankers door onvoldoende doorgroten boven de zandlaag en met water leegspoelen van de boorbuis boven het groutlichaam. Naast risico 1 hebben risico's 2, 3, 4, 6, 12, 13 en 16 ook betrekking op de ankers. Risico's 2 en 6 hebben betrekking op een lagere houdkracht waardoor risico 12 waarschijnlijker wordt welke tot kiervorming langs de paal zou kunnen leiden. Naast risico 12 zijn risico 5 en risico 7 ook gerelateerd aan een lekweg langs de palenwand. Hierbij gaat het om de hoge stijfheid van de constructie ten opzichte van de slappe lagen dat tot een lekweg kan leiden. De risico's 8, 9 en 10 hebben betrekking op wateroverlast tijdens de plaatsing van de boorpalen en zijn tijdelijk van aard. Bij risico's 14 en 15 gaat het over de kwaliteit van de boorpalenwand en niet over de vernatting

en zijn dus irrelevant. Hetzelfde geldt voor risico 16, dat over de houdkracht van de groutprop aan de ankers gaat.



Figuur B.2 Relatie tussen de waarschijnlijkheid en gevolg/impact van de hoogst gescoorde risico's met betrekking tot de vernatting.

B.3.4 Conclusie EBR

Uit de resultaten van de EBR-sessie blijkt dat waarschijnlijkheid en gevolg van de benoemde risico's voornamelijk bij de ankers ligt. Dit geldt voor zowel waterveiligheid als vernatting. Voor de waterveiligheid hebben deze aspecten een kleiner gevolg dan voor de vernatting.

B.4 Tabel risico's waterveiligheid

	Risico	Waarschijnlijkheid (1-4)		Gevolg/Impact (1-4)	
		Gemiddelde score	Standaard-deviatie	Gemiddelde score	Standaard-deviatie
1	afspanning ankers is 120kN per anker, 7 strengs ankers is dit slechts 17kN, onvoldoende om wig in te laten vreten in streng	3.75	0.14	4	0
2	kans op lekkage langs ankerstang is reëel omdat doorgrouten boven de zandlaag beperkt is uitgevoerd en het boorgat verder met water is gevuld	4	0	2.5	0.37
3	aanbrengen groutprop over laatste 2m van de verankeringslengte; n.a.v. grondonderzoek geeft dit kortsluiting, uitspoelen met water geeft kortsluiting naar buuranker	3.5	0.29	2.5	0.29
4	berekening ankers volgens Si methode, wijkt af van CUR 166 -> overwaardering ankers, capaciteit nadelig v.d. wand	3.25	0.14	2.5	0.17
5	afname houdkracht ankers door uitspoeling zand uit draagkrachtige laag (als gevolg van ontstane lekweg, zie 13/14), waardoor de boorpalenwand richting achterland kan	2.5	0.17	3.25	0.43

	Risico	Waarschijnlijkheid (1-4)		Gevolg/Impact (1-4)	
		Gemiddelde score	Standaard-deviatie	Gemiddelde score	Standaard-deviatie
	verplaatsen met mogelijk kiervorming langs palen/extra lekkage.				
6	verdeling staffeling strengen geeft vraagtekens, voorin de prop zitten de meeste strengen, geeft hogere kracht in groutprop	3	0.24	2.5	0.37
7	ankerkracht is mager 112kN/m horizontaal (ontwerp/PLAXIS) -> overbelasting van de constructie	2.75	0.28	2.75	0.28
8	geen peilbuismeting tijdens uitvoering palen, mogelijk onvoldoende waterdruk in casing	3.25	0.14	2	0.24
9	betondekking mogelijk onvoldoende	3	0.24	2.25	0.14
10	kapot trekken anker A26, geeft mogelijk lokaal lekkage	3.5	0.17	1.5	0.17
11	onvoldoende controle op betonmengsel -> nadelig kwaliteit boorpaal	3	0	2	0.24
12	volgens POVM qc reductie hoogwater -> overwaardering ankerkracht	2.5	0.29	2.5	0.37
13	het effect in de slappe lagen van overconsumptie van beton tijdens het betonneren -> nadelig voor omgeving	3.25	0.14	1.5	0.29
14	kwel langs de boorpalen uit de dieper gelegen zandlaag door ruimte die langs de paalschacht ontstaat als gevolg van vervorming van de constructie	3.25	0.14	1.5	0.17
15	stijfheid constructie veel groter dan de gewone dijk, waardoor (als gevolg van vervormingen in de tijd) er toch ruimte rond de constructieve elementen kan ontstaan met meer lekkage als gevolg.	3.25	0.14	1.5	0.17
16	uitvoeringsrapport, ontbreekt tijdens begin graven, begin betonstort einde betonstort ->nadelig kwaliteit palen	3	0	1.75	0.28
17	geen rekening gehouden met excentriciteit paalwapening nadelig voor paalsterkte	2.75	0.14	2	0.24
18	mogelijke afwijking in paalschacht niet zichtbaar in akoestische metingen	2.75	0.36	2	0.24
19	kans op minder sterkte van de paal dan volgens ontwerp is verwaarloosbaar	3.33	0.31	1	0
20	tijdens uitvoering is wateroverlast opgetreden (is een feit) doordat tijdens het betonneren in meerdere gevallen onvoldoende water, dat door de beton werd verdrongen, is afgevoerd. Maar dit veroorzaakt alleen een tijdelijke wateroverlast.	3.25	0.43	1	0
21	peilbuismetingen ontbreken tijdens maken ankers, insteekniveau op NAP+0,85m kan onvoldoende zijn inw tegen de waterdruk inboren van de ankers	2.5	0.29	1.75	0.28
22	onverwachte waterdrukken in (tussen) zandlaag, door overgang tussen verschillende oplossingen (boorpalenwand, barettenwand), gevolg: lokaal mogelijk meer kwel	2	0	1.75	0.28

	Risico	Waarschijnlijkheid (1-4)		Gevolg/Impact (1-4)	
		Gemiddelde score	Standaard-deviatie	Gemiddelde score	Standaard-deviatie
23	plunjerbuis in beton, is deze afgekoppeld tijdens betonstort? -> nadelig kwaliteit paal	2	0.24	1.75	0.28
24	beïnvloeding van de (onverharde) schacht van de boorpaal als gevolg van opwaarts stromend grondwater tijdens of direct na het vervaardigen van de palen	1.75	0.28	2	0.24
25	grotere vervorming van de boorpalen als gevolg van een mogelijk aangetaste schacht	1.75	0.14	1.75	0.28
26	het effect in de slappe lagen van overconsumptie van beton tijdens het betonneren -> nadelig voor paalkwaliteit	2	0.24	1.25	0.14

B.5 Tabel risico's vernetting

	Risico	Waarschijnlijkheid (1-4)		Gevolg/Impact (1-4)	
		Gemiddelde score	Standaard-deviatie	Gemiddelde score	Standaard-deviatie
1	kans op lekkage langs ankerstang is reëel omdat doorgroten boven de zandlaag beperkt is uitgevoerd en het boorgat verder met water is gevuld	4	0	4	0
2	afspanning ankers is 120kN per anker, 7 strengs ankers is dit slechts 17kN, onvoldoende om wig in te laten vreten in streng	3.75	0.14	4	0
3	aanbrengen groutprop over laatste 2m van de verankeringslengte; n.a.v. grondonderzoek geeft dit kortsluiting, uitspoelen met water geeft kortsluiting naar buuranker	3.5	0.29	3.75	0.14
4	kapot trekken anker A26, geeft mogelijk lokaal lekkage	3.5	0.17	3.25	0.14
5	stijfheid constructie veel groter dan de gewone dijk, waardoor (als gevolg van vervormingen in de tijd) er toch ruimte rond de constructieve elementen kan ontstaan met meer lekkage als gevolg.	3.25	0.14	3.5	0.17
6	ankerkracht is mager 112kN/m horizontaal (ontwerp/PLAXIS) -> overbelasting van de constructie	2.75	0.28	4	0
7	kwel langs de boorpalen uit de dieper gelegen zandlaag door ruimte die langs de paalschacht ontstaat als gevolg van vervorming van de constructie	3.25	0.14	3.25	0.14
8	geen peilbuismeting tijdens uitvoering palen, mogelijk onvoldoende waterdruk in casing	3.25	0.14	3	0
9	peilbuismetingen ontbreken tijdens maken ankers, insteekniveau op NAP+0,85m kan onvoldoende zijn inw tegen de waterdruk inboren van de ankers	2.5	0.29	3.67	0.16

	Risico	Waarschijnlijkheid (1-4)		Gevolg/Impact (1-4)	
		Gemiddelde score	Standaard-deviatie	Gemiddelde score	Standaard-deviatie
10	tijdens uitvoering is wateroverlast opgetreden (is een feit) doordat tijdens het betonneren in meerdere gevallen onvoldoende water, dat door de beton werd verdrongen, is afgevoerd. Maar dit veroorzaakt alleen een tijdelijke wateroverlast.	3.25	0.43	2.5	0.5
11	het effect in de slappe lagen van overconsumptie van beton tijdens het betonneren -> nadelig voor omgeving	3.25	0.14	2.25	0.36
12	afname houdkracht ankers door uitspoeling zand uit draagkrachtige laag (als gevolg van ontstane lekweg, zie 13/14), waardoor de boorpalenwand richting achterland kan verplaatsen met mogelijk kiervorming langs palen/extra lekkage.	2.5	0.17	3	0.27
13	berekening ankers volgens Si methode, wijkt af van CUR 166 -> overwaardering ankers, capaciteit nadelig van de wand	3.25	0.14	2	0.33
14	onvoldoende controle op betonmengsel -> nadelig kwaliteit boorpaal	3	0	2	0
15	betondekking mogelijk onvoldoende	3	0.24	2	0
16	verdeling staffeling strengen geeft vraagtekens, voorin de prop zitten de meeste strengen, geeft hogere kracht in groutprop	3	0.24	2	0.33
17	geen rekening gehouden met excentriciteit paalwapening nadelig voor paalsterkte	2.75	0.14	2	0
18	volgens POVM qc reductie hoogwater -> overwaardering ankerkracht	2.5	0.29	2	0.33
19	onverwachte waterdrukken in (tussen) zandlaag, door overgang tussen verschillende oplossingen (boorpalenwand, barettenwand), gevolg: lokaal mogelijk meer kwel	2	0	2.5	0.17
20	uitvoeringsrapport, ontbreekt tijdens begin graven, begin betonstort einde betonstort ->nadelig kwaliteit palen	3	0	1	0
21	het effect in de slappe lagen van overconsumptie van beton tijdens het betonneren -> nadelig voor paalkwaliteit	2	0.24	2	0
22	mogelijke afwijking in paalschacht niet zichtbaar in akoestische metingen	2.75	0.36	1	0
23	kans op minder sterkte van de paal dan volgens ontwerp is verwaarloosbaar	3.33	0.31	0	0
24	beïnvloeding van de (onverharde) schacht van de boorpaal als gevolg van opwaarts stromend grondwater tijdens of direct na het vervaardigen van de palen	1.75	0.28	1.5	0.17
25	grotere vervorming van de boorpalen als gevolg van een mogelijk aangetaste schacht	1.75	0.14	1.33	0.16

	Risico	Waarschijnlijkheid (1-4)		Gevolg/Impact (1-4)	
		Gemiddelde score	Standaard-deviatie	Gemiddelde score	Standaard-deviatie
26	plunjerbuis in beton, is deze afgekoppeld tijdens betonstort? -> nadelig kwaliteit paal	2	0.24	1	0

C Indraaigegevens ankers paneel H2

De Vries Titan® Verankeringen & Funderingstechnieken b.v. INDRAAIGEGEVENS									
Boormeester: A. van Maasticht									
Projectgegevens					Vaste gegevens:				
Type anker					Type Mengers				
: Strenganker					: STS MPS 100				
Ø boorbuis					Cementsoort				
: 152 / 89 mm					: CEM II/B-V 42.5 N (Portland/liegascement)				
Hellingshoek					wcf				
: 50 graden					: 0,5				
Schoonhoven					Doorzetten grouwkolom tot				
H2					: 2m1 boven eerste zandlaag. Daarna vrijspoeien met water				
Nummer	Datum	Zand vanaf	Vrije ankerlengte	Grouwlichaam	aantal strengen	Injectiedruk tijdens vormen grouwlichaam	Hoewelheid cement	Opmerkingen	
1	19-05-16	20 m	22,00 m	11,50 m	10-S	10-2 bar	850 kg	water komt uit anker 2	
2	19-05-16	20 m	22,00 m	11,50 m	10-S	10-2 bar	850 kg	water komt uit anker 3	
3	19-05-16	20 m	22,00 m	11,50 m	10-S	10-2 bar	850 kg	water komt uit anker 4	
4	18-05-16	20 m	22,00 m	11,50 m	10-S	10-3 bar	850 kg	water komt uit anker 5	
5	18-05-16	20 m	22,00 m	11,50 m	10-S	10-3 bar	850 kg	water komt uit anker 6	
6	18-05-16	20 m	22,00 m	11,50 m	10-S	10-2 bar	850 kg	water komt uit anker 7	
7	18-05-16	20 m	22,00 m	11,50 m	10-S	10-2 bar	850 kg	water komt uit anker 8	
8	18-05-16	20 m	22,00 m	11,50 m	10-S	10-2 bar	850 kg	water komt uit anker 9	
9	17-05-16	19 m	22,00 m	11,50 m	10-S	12-2 bar	850 kg	water komt uit anker 10	
10	17-05-16	19 m	22,00 m	11,50 m	10-S	12-3 bar	850 kg		

D Beschouwing non-destructieve monitoringstechnieken

D.1 Radar

Beschrijving: Een 1 à 2 GHz radar antenne die rondom de ontgraven betonnen mantel kan meten. Er is een onderscheidend signaal waar wel/niet een staalkabel zit.

Aanname: Al dan niet voorgespannen kabel zou dan kunnen worden gedetecteerd uit het feit dat de kabel is teruggeschoten uit de ankerstoel (lengte van de kabel boven de wig en mogelijk kan de ruimte die ontstaan is doordat kabel is losgeschoten worden gedetecteerd.

Uitdagingen/beperking:

1. Lastig meten omdat het een rond oppervlak betreft (zijkant rondom).
2. Lastig meten, het is in nabijheid ijzer.
3. Gesnelde draadeinden zijn kort en steken maar paar centimeter boven de wiggen uit.

Conclusie: Radar lijkt op dit moment geen haalbare techniek. Eerst testen in lab of het haalbaar is, geen garantie op resultaat

D.2 Rekmetingen strengen

Beschrijving: Met rekstrookjes op de strengen kun je de veranderingen (rek) in kabels meten (indien er verkorting/verlenging optreedt).

Aanname: Als er verlenging optreedt in de tijd zit de streng nog vast, als er niks wordt gemeten kan niet met zekerheid worden gezegd dat de streng vast zit.

Uitdaging/beperkingen:

1. Vrijgraven kabels is een aanzienlijke klus en moet tot ruim 3 m vanaf de bovenzijde van de gording worden ontgraven.
2. Alle veranderingen van spanning ten opzichte van installatie worden gemeten dus conclusies niet eenduidig, bovendien duurt het mogelijk jaren voor wat te zien is.
3. Anker wordt beschadigd doordat de bescherming rondom de strengen wordt verwijderd.

Conclusie: Indien rek/krimp op treedt dan kan het werken, maar geen garantie omdat geen rek niet zegt dat de streng los zit.

Beschrijving: Rekstrookjes om, de met grout omhulde strenganker kop, bevestigen en dan de bewegingen van de kop meten .

Aanname: De kop zou mee/anders kunnen bewegen indien een of meer kabels niet goed zijn voorgespannen

Conclusie: werkt niet onderscheidend en alleen als beweging in paal optreedt a.g.v. minder strengen op spanning. De vraag is of dat zo is.

D.3 Akoestische metingen

Algemene hypothese. Een voorgespannen kabel heeft een hogere frequentie dan een niet gespannen kabel wanneer deze akoestische wordt belast. Lijkt kansrijk omdat bekend is dat een streng is kapotgetrokken (a 26) bij paneel F1 dus kunnen deze als referentie gebruiken.

Beschrijving van technieken

Beschrijving: kabelboommeting op ankerkop Tomograaf van PICUS3, van het Duitse Argus Electronics:

Uitdagingen:

- Contact met kabelboom is cruciaal? Ja en is te slecht bij beton.
- Welke frequentie te meten is nog onbekend.
- Minimale dikte boom (bij beton is ca 25 cm).

Conclusie: werkt onvoldoende: diameter is te klein en slecht sensorcontact met het beton

Beschrijving: Seismische conus op diepte bij anker plaatsen en dan 'Hamertje tik' of ander signaal op ankerpaalkop. Signalen moeten tegelijk aankomen indien alles op afspanning staat. Indien niet op spanning zou signaal later aankomen (reist langer door beton)

Uitdaging

- Moeilijk meetbaar.
- tijdsverschillen naar verwachting klein.
- Positie conus erg belangrijk.

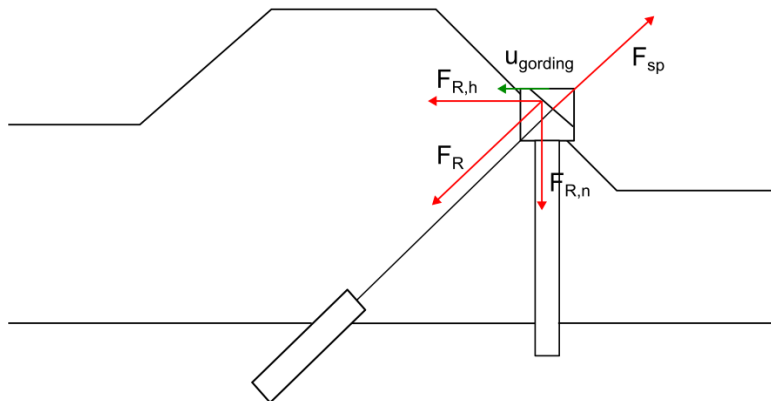
Conclusie: niet kansrijk en geen eensluidende conclusie

E Gording berekeningen

E.1 Stap 1 Handsom 2D controleproef en afspannen:

Tijdens het afspannen van het anker wordt er een kracht van $F_{sp} = 1400kN$ op het anker uitgeoefend als controleproef. Dit resulteert in een reactiekracht op de gording van $F_R = 1400kN$ die bij een hoek van 50 graden met de verticaal is uit te splitsen in een horizontale en verticale kracht. De horizontale kracht op de gording $F_{R,h} = \frac{1400}{\cos(40)} = 1072,5kN$ zorgt voor een verplaatsing van de gording. De situatie is geschetst in Figuur E.1.

Om een inschatting te maken van de verplaatsing van de gording wordt in dit rekenvoorbeeld alleen uitgegaan van de stijfheid van de constructie en wordt de horizontale gronddruk buiten beschouwing gelaten. Deze horizontale gronddruk zou een tegengestelde kracht leveren aan de horizontale kracht tijdens het afspannen en dus tot een lagere verplaatsing van de gording leiden. Voor de constructie wordt uitgegaan van een oneindig stijve gording, zodat de afspankracht wordt verdeeld over twintig palen, 10 links en 10 rechts van het anker. Verder wordt ervanuit gegaan dat de palen hun volledige inklemming bereiken in het zand (en er dus geen hoekverdraaiing optreedt). Dit is op basis van Figuur 3.8 waarin er ongeveer 20 palen in een ononderbroken stuk gording zitten.



Figuur E.1 Schematische tekening van de boorpalenwand.

Om de verplaatsing van de gording te bepalen worden de formule voor de doorbuiging van een loodrecht belaste balk gebruikt:

$$u_{gording} = \frac{F}{n} \frac{L^3}{3EI}$$

Hierbij is F de horizontale kracht op de gording,

$$F = 1072,5kN$$

De lengte van de boorpaal plus gording, L is,

$$L = 16,09m$$

De elasticiteitsmodulus E die we gebruiken is de waarde conform het ontwerprapport ,

$$E = 18,1 \times 10^9 Pa$$

Het traagheidsmoment I van een enkele paal met cirkelvorm wordt als volgt berekend,

$$I_{cirkel} = \frac{\pi}{64} d^4 = \frac{\pi}{64} 1,07^4 = 0,0643$$

Het aantal palen wordt gedefinieerd als n en dit zijn er in dit geval 20.

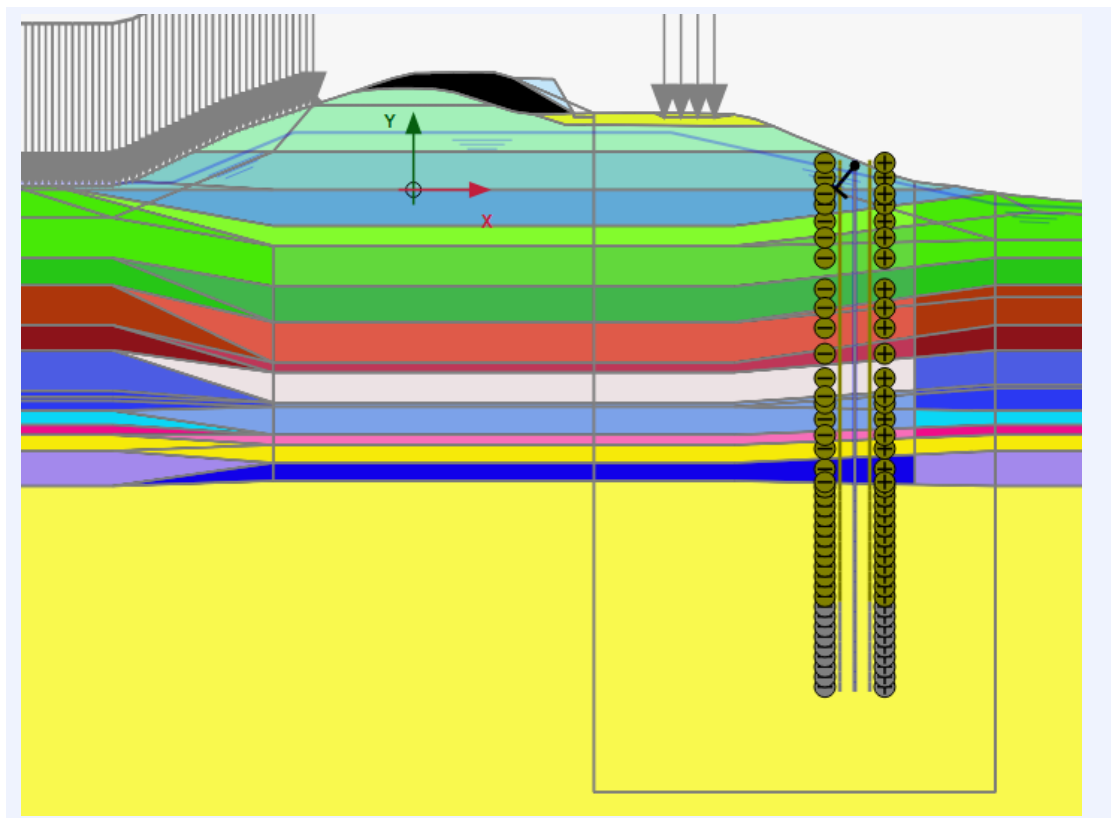
In dit geval zou de verplaatsing van de gording 64,0 mm bedragen wat een significante verplaatsing is. Deze verplaatsing van de gording zorgt voor een verkorting van de ankerstreng over de vrije ankerlengte die gelijk is aan 41,1 mm.

Voor de uiteindelijke afspankracht van 120 kN wordt dezelfde som gemaakt als voor de belasting bij de controle- of geschiktheidsproef. Dit leidt tot een vervorming van de vrije ankerlengte van 3,5 mm. Bij beide berekeningen is uitgegaan van een verticale verplaatsing van de paalkop gelijk aan nul. Uit deze handberekening volgt dat bij een belasting van 1400 kN op het anker, de gording meer verplaatst de rek in het anker groot is waardoor de spanning in het anker tot 0 reduceert. In deze berekening is de gronddruk niet mee beschouwd waardoor de deformatie van de constructie nu wordt overschat. Om deze reden is er een 2D Plaxis som gemaakt waarin de gronddruk wel kan worden meegenomen.

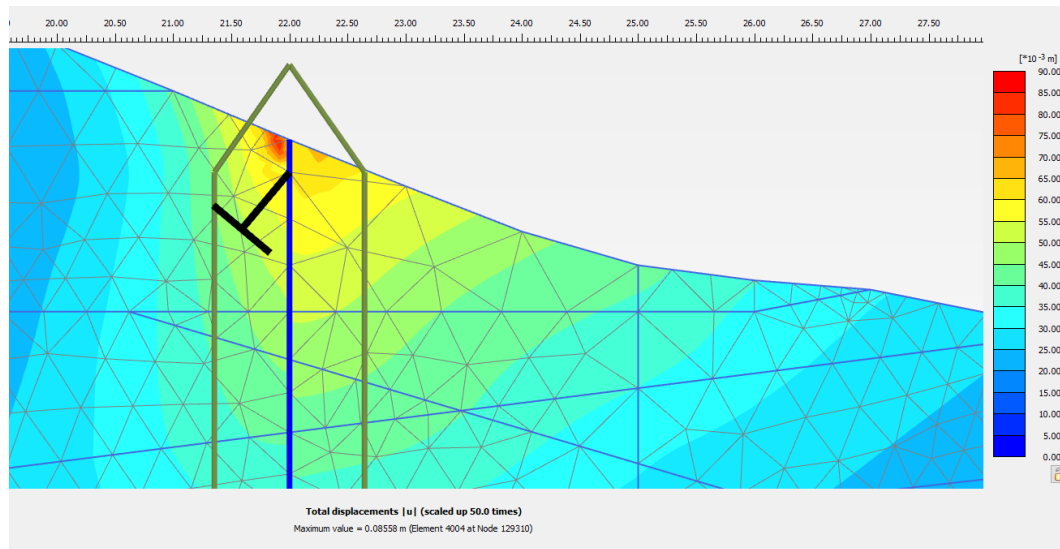
E.2 Stap 2 PLAXIS som boven en ondergrens:

Op basis van de PLAXIS sommen gemaakt tijdens de ontwerpfase van de constructie is er een nieuwe som gemaakt waarbij de spankracht van het anker verhoogd is van 120 naar 1400 kN. Dit is gelijk aan de belasting van het anker tijdens de controle- of geschiktheidsproef en geeft een goede inschatting van de verplaatsing van de gording.

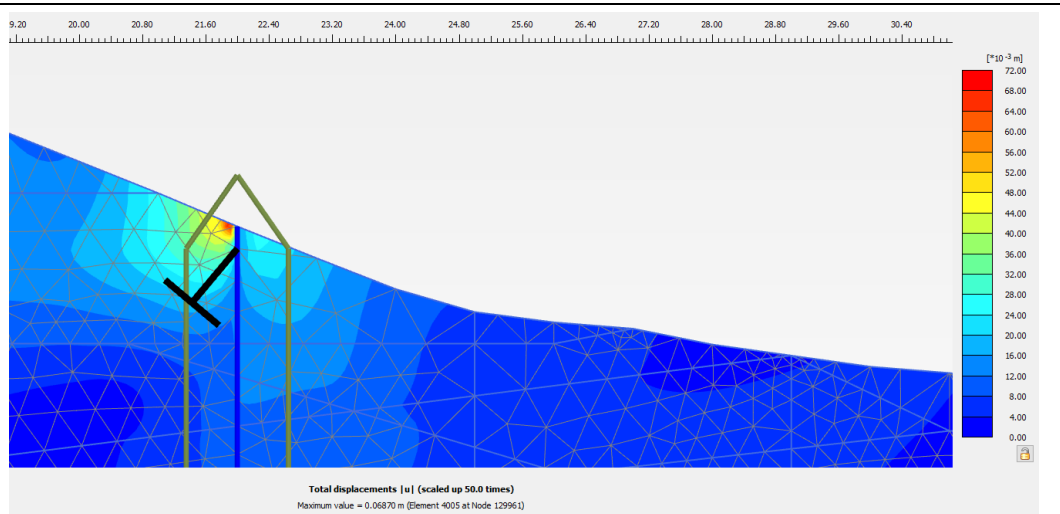
Uit deze sommen komt naar voren dat de verplaatsing van de gording bij 1400 kN belasting gelijk is aan 68,68 mm in de horizontale richting en 51,06mm in de verticale richting. Dit leidt tot een verkorting van de streng van 85,4 mm. Voor de belasting met 120 kN komen de verplaatsingen neer op 3,9 en 2,9 mm voor respectievelijk de horizontale en verticale richting. De ankerstrengverkorting is in dit geval gelijk aan 4 mm.



(a) Overzicht van Plaxis model



(b) Verplaatsing gording (magnitude) bij controleproef (1400kN)



(c) Verplaatsing gording (magnitude) bij afspannen 120kN (zes-strengs anker)

Figuur E.2 Plaxis resultaten.

Vanuit de PLAXIS sommen komt naar voren dat er een significant effect van de gronddruk op de verplaatsing is. In de 2D situatie is uitgegaan van een oneindig belaste gording en palenwand terwijl de werkelijke situatie een puntlast betreft. Om een eerlijke vergelijking te maken is een extra handberekening gemaakt waarin een puntlast met een uniforme verdeelde last wordt vergeleken. De uitwerking wordt in stap 3 uitgelegd.

E.3 Step 3 2D som puntlast grondondersteuning:

Voor een vergelijk tussen puntlast en uniforme last is de verplaatsing van de gording uit het PLAXIS model gebruikt om de stijfheid van de grond te bepalen.

$$k_{og,bg} = \frac{F}{u_{plaxis}}$$

Voor de controleproef is een veerstijfheid berekend van 7,3 MPa en voor de situatie van afspanning een veerstijfheid van 14,5 MPa.

Om uniform met puntlast te vergelijken wordt gebruik gemaakt van basisgeval A uit sectie 11.6 (Bouma, 1989). De vergelijking voor de verplaatsing van de gording onder een puntlast P is,

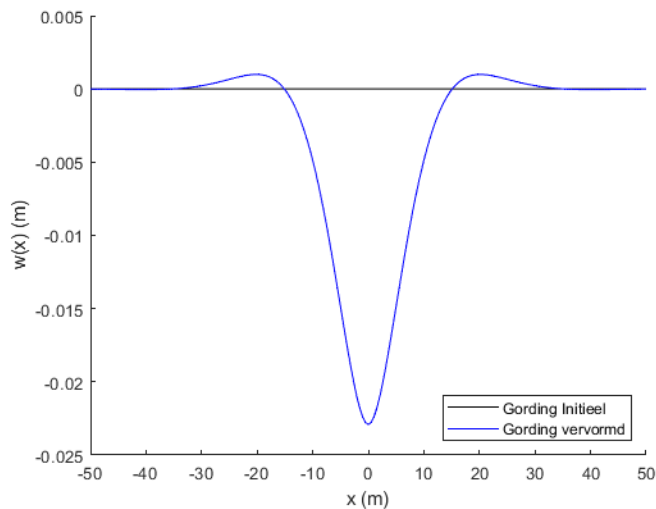
$$w_c = -\left(\frac{P\beta\sqrt{2}}{k}\right)e^{-\beta x} \sin\left(\beta x + \frac{\pi}{4}\right)$$

Waarbij $\beta = \left(\frac{k}{4EI}\right)^{\frac{1}{4}}$ met EI voor de doorsnede van de gording en k de stijfheid van de grond.

Het verloop van de functie w_c voor de gording met een EI van $3,09 \times 10^9 \left(\frac{N}{m^2}\right)$ is

weergegeven in Figuur F3.

Uit de gemaakte som komt naar voren dat de horizontale verplaatsing bij de controleproefbelasting van 1400 kN op de locatie van de puntlast gelijk is aan 22,9 mm en dat bij een verticale verplaatsing met dezelfde verhouding als in de PLAXIS som een verkorting van de streng van 27,7 mm wordt bereikt. Voor de afspanbelasting is een verkorting van de streng van 25,3 mm berekend. Dit is hoger dan de 13,7 mm rek die aanwezig is in het anker bij een afspanning van 20 kN, zodat de afspanning afneemt en tot 0 reduceert.



Figuur E.3 Gordingverplaatsing bij puntlast in midden.

F Resultaat controleproeven sectie F

De Vries Titan® Verankeringen & Funderingstechnieken b.v. CONTROLEPROEVEN CONFORM CUR 166 6e DRUK																		
Projectgegevens		Criteria																
Projectnummer	: V.14.962	Afzapper	: J. Sloop															
Project	: Dijkversterking KS	Gecontroleerd	: M. van Veen															
Opdrachtgever	: CVDM																	
Onderdeel	: Vak F1-1																	
Max. verpl. Tussen 2e en 5e minuut: 0,40 mm. Indien hieraan niet voldaan wordt: Doorreizen tot voldaan wordt aan één van onderstaande criteria: Max. verpl. Tussen 5e en 15e minuut: 0,48 mm. Max. verpl. Tussen 15e en 30e minuut: 0,30 mm. Max. verpl. Tussen 30e en 40e minuut: 0,12 mm. Indien geen stabilisatie optreedt: contact met bedrijfsbureau opnemen																		
Ankergegevens																		
Ankerstype	: 6-S	Pa _{max}	: 1074 kN															
Ankerhelling	: 50°	Pd/F test d	: 1181 kN															
		P _{vsp}	: 120 kN															
Testresultaten																		
Belasting	0,1 Pd 118 kN	0,4 Pd 472 kN	0,55 Pd 650 kN	0,7 Pd 827 kN	0,85 Pd 1004 kN	1,0 Pd / F test d 1181 kN								0,1 Pd 118 kN	P _{vsp} 120 kN	Toets k [≤1,0 mm]		
						Gemeten verplaatsingen											Kruipmaat K _{15,30 min} [mm]	K _{15 min} [mm]
Ankernr.	Datum	Verplaatsing na 1 min.					1 min.	2 min.	3 min.	4 min.	5 min.	15 min.	30 min.	40 min.	1 min.			
F1-1-12	07-07-16	0,00	45,61	70,87	96,66	123,06	147,62	147,76	147,89	148,02	148,13				10,98	11,00		OKI
F1-1-13	07-07-16	0,00	36,25	60,39	85,21	111,24	134,74	134,89	135,02	135,13	135,24				5,75	5,77		OKI
F1-1-14	07-07-16	0,00	46,59	72,57	99,25	126,72	152,66	152,80	152,93	153,05	153,17				11,70	11,72		OKI
F1-1-15	07-07-16	0,00	42,58	65,98	91,22	116,28	140,21	140,34	140,46	140,58	140,69				7,00	7,02		OKI
F1-1-16	07-07-16	0,00	40,33	65,66	91,46	117,90	142,87	143,01	143,14	143,27	143,39				9,21	9,23		OKI
F1-1-17	07-07-16	0,00	41,26	66,52	92,41	118,54	143,16	143,30	143,43	143,54	143,65				6,55	6,57		OKI
F1-1-18	07-07-16	0,00	45,83	71,48	97,38	124,36	149,11	149,25	149,37	149,49	149,60				10,30	10,31		OKI
F1-1-19	07-07-16	0,00	39,53	63,35	89,00	115,81	141,35	141,49	141,62	141,74	141,86				10,11	10,13		OKI
F1-1-20	06-07-16	geschiktheidsproef																
F1-1-21	07-07-16	0,00	37,83	62,43	87,09	111,65	135,67	135,81	135,94	136,06	136,17				11,23	11,25		OKI
F1-1-22	06-07-16	0,00	38,47	61,90	84,96	109,40	134,60	134,75	134,88	135,01	135,12				17,06	17,08		OKI
Opmerkingen																		

De Vries Titan® Verankeringen & Funderingstechnieken b.v. CONTROLEPROEVEN CONFORM CUR 166 6e DRUK																
Projectgegevens					Criteria											
Projectnummer : V.14.962 Project : Dijkverbetering KIS Opdrachtgever : CVDM Onderdeel : Vak AC					Afspanner : W.H. Versluis Gecontroleerd : M. van Veen					Max. verpl. Tussen 2e en 5e minuut: 0,40 mm. Indien hieraan niet voldaan wordt: Doortesten tot voldaan wordt aan één van onderstaande criteria: Max. verpl. Tussen 5e en 15e minuut: 0,48 mm. Max. verpl. Tussen 15e en 30e minuut: 0,30 mm. Max. verpl. Tussen 30e en 40e minuut: 0,12 mm. Indien geen stabilisatie optreedt: contact met bedrijfsbureau opnemen						
Ankergegevens Ankerstype : 6-s Ankerhelling : 45°										P _{amax} : 1048 kN P _{d/F} test d : 1153 kN P _{vsp} : 120 kN						
Testresultaten																
		1,0 Pd / F test d 1153 kN														
Belasting>		0,1 Pd	0,4 Pd	0,55 Pd	0,7 Pd	0,85 Pd									0,1 Pd	Pvsp
		115 kN	461 kN	634 kN	807 kN	980 kN									115 kN	120 kN
Ankernr.		Gemeten verplaatsingen														
Datum		Verplaatsing na 1 min.														
		1 min.	2 min.	3 min.	4 min.	5 min.	15 min.	30 min.	40 min.	1 min.	1 min.	1 min.	1 min.	1 min.		
AC1	23-11-15	0,00	43,51	66,70	92,98	121,36	151,52	151,75	151,90	152,03	152,14				9,63	10,66
AC2	23-11-15	0,00	45,56	68,75	93,29	119,81	147,57	147,68	147,79	147,87	147,94				6,77	7,11
AC3	23-11-15	0,00	41,25	64,48	88,20	115,84	144,57	144,97	145,15	145,27	145,42	146,37	146,92	147,26	10,25	10,68
AC4	23-11-15	0,00	47,97	69,92	94,67	121,22	150,20	150,30	150,39	150,48	150,58				12,65	13,21
AC5	23-11-15	0,00	40,54	84,68	90,48	117,56	146,22	146,49	146,72	146,87	146,99	147,94	148,74	148,98	10,16	10,69
AC6	23-11-15	0,00	46,26	70,98	96,34	123,11	151,74	151,86	151,98	152,02	152,11				12,56	13,23
AC7	23-11-15	0,00	44,69	68,35	94,05	120,64	149,00	149,17	149,30	149,45	149,59	150,25	150,76	150,98	9,95	10,48
AC8	27-11-15	0,00	39,22	60,40	84,22	110,97	139,87	140,08	140,19	140,37	140,53	141,21	141,78	141,95	6,82	7,21
AC9	27-11-15	0,00	41,36	61,99	86,09	112,76	141,63	141,76	141,87	141,99	142,08				13,41	13,89
AC10	30-11-15	0,00	39,43	61,36	86,59	113,44	142,75	142,92	143,04	143,18	143,26				11,72	12,16
AC11	30-11-15	0,00	41,12	62,66	86,73	111,95	139,27	139,62	140,33	140,51	141,57	142,36	142,71	142,71	15,74	16,35
Opmerkingen																
		60 min														
		AC3												ACB	60 min	
		AC5												AC11	142,34	
		AC7												AC11	143,21	
		AC11												AC7	151,40	

H Fotoverslag vervanging paneel F2-2

Op donderdag 30 maart is de ankerkop bij paneel F2-2 verwijderd en vervangen door een nieuwe ankerkop die opnieuw afgevuld is met grout. Hieronder een fotoverslag van deze werkzaamheden.



Figuur H.1 Ankerkop zoals aangetroffen met rode markering waar het lek langs het anker zit.

De ankerkop bevestigd op de ankerplaat. De vuldop is hier open. Met een schroevendraaier is de diepte van het gat afgeschat op 10 cm. De rode cirkel is de locatie waar water lekt tussen de ankerplaat en de deksloof in met een debiet van circa 12 l/uur.



Figuur H.2 Ankerstoel met wiggen en strengen na verwijderen ankerkop.

Na het verwijderen van de ankerkop is de ankerstoel zichtbaar. Deze is nog goed en corrosievrij.



Figuur H.3 Schoongemaakte ankerstoel met wiggen.

Na het ontdoen van grout of uitgehard cementwater ziet de ankerstoel er schoon uit. Het betreft een stoel voor 12 strengen, terwijl het een 8 strengs anker is. 4 gaten zijn ongebruikt en eveneens ontdaan van grout. 3 Gaten lijken open, het vierde meest rechtse gat op de foto is aan de onderzijde dicht.

Nu het anker schoon is, kan worden geconstateerd dat de wiggen en de strengen goed vastzitten en niet zijn gaan slippen. Onderstaande foto geeft dat nogmaals weer in zijaanzicht.



Figuur H.4 Close-up van de ankerstoel.

Hierna is de ankerstoel weer vol gegroot met cementwater. Dit is gedaan door het bovenste gat vol te gieten.



Figuur H.5 Grouten van de ankerstoel.

Als het cementwater in de onderste gaten blijft staan is dit deel van het proces klaar en wordt de ankerkop weer geplaatste en volgegooten met cementwater. Een rubberring tussen de ankerplaat en ankerkop zorgt ervoor dat het cementwater niet wegloopt.

I Literatuurstudie minimale afspankracht strengankers

I.1 Literatuurstudie naar minimale afspankracht en krachtenwerking wig/wigstoel

Naar aanleiding van de problematiek zijn literatuurbronnen geraadpleegd om ervaringen elders in te brengen in dit onderzoek. Van de 3 belangrijkste resultaten wordt hier kort verslag gedaan.

1. Versagen von Litzenverankerung

Uit Versagen von Litzenverankerung (Wichter, 2020) worden de verschillende faalgronden van strengverankerungen gepresenteerd. Eén van de redenen van falen is onvoldoende afspanning, zie onderstaand citaat:

Wenn die Anker ungenügend vorgespannt werden, beißen die Keile nicht genügend in die Litzendrähte. Die Vertiefungen in den Litzen [1]oberflächen reichen nicht aus, um die Kraft zu übertragen, die zum Einziehen der Keile in die Konusse bei Lasterhöhung notwendig ist. Diese Ursache resultiert aus der Annahme, dass sich der Keilbiss von selbst ausbildet. Das ist leider nicht der Fall. Die Keile müssen mit einer gewissen Anfangskraft eingepresst werden, damit sie in die harte Litzenoberfläche beißen.

Für ein einwandfreies Funktionieren müssen die Litzen daher mit einer Mindestkraft von ca. dem 0,5-fachen der Streckgrenzenlast vorgespannt werden. Bei Litzen Ø 0,6" aus Stahl St 1570/1770 sind das 100 bis 120 kN. Sollte baustellenbedingt diese Vorspannkraft nicht aufgebracht werden können, ist eine Lösung mittels hydraulischem Einpressen jedes einzelnen Keiles nach dem Spannen der Anker möglich.

De in dit stuk genoemde strengen van 0,6" zijn de 15,2 mm dikke strengen die ook bij KIS zijn gebruikt. Voldoende afspanning is volgens dit document een afspanning die de helft is van de vloeispanning van het staal wat voor de gebruikte strengen neerkomt op 100 tot 120 kN per streng zou moeten zijn. Dit is duidelijk hoger dan de 20 kN die bij KIS is toegepast.

2. Werkplan Pullout

In de werkprocedure van Pullout (PullOut test en spanproeven, 2020) staat dat de wiggen in de ankerschijf worden gehamerd of aangedrukt maar niet met welke kracht. Dit hameren en aandrukken is de methode om de wiggen zich vast te laten vreten in de streng. Het achterliggende principe is dat wanneer een wig goed is ingevreten in een streng de wrijving tussen streng en wig hoog genoeg is om een toenemende belasting van het anker op te kunnen vangen. Bij een schoon oppervlak tussen wig en ankerschoen zou de wrijvingskracht tussen wig en ankerschoen lager moeten zijn dan tussen wig en streng waardoor bij toenemende belasting de wig zich verder zal vastzetten. Concreet wordt de volgende werkwijze gepresenteerd:

1. De strengen worden voorgespannen met een afspankracht F_{sp} .
2. Nadat de strengen een constant rekniveau bereiken worden de wiggen in de wigstoel gedrukt met een kracht P , deze kracht is maximaal gelijk aan F_{sp} .
3. Bij het indrukken van de wiggen in de wigstoel is weinig frictie tussen wig en wigstoel wenselijk zodat de kracht maximaal wordt benut om de tanden van de wig in de streng te drukken. Dit is het "invreten" van de wig.
4. Na het afspannen van de streng en indrukken van de wig worden de strengen losgelaten door de vijzel. Hierbij wordt de kracht in de streng overgenomen door de wrijvingskracht tussen wig en streng en overgebracht op de ankerschoen.

Het principe achter het met wiggen vastgezette strenganker is dat bij toenemende belasting de wiggen meer in de streng dringen waardoor de verbinding sterker wordt. Bij toenemende belasting door zakkende grond zal er meer kracht op de wig komen te staan. Bij geleidelijke toename van de ankerkracht zal, wanneer de wrijvingskracht tussen wig en wigstoel kleiner is dan tussen wig en streng, een toename van de wrijvingskracht van de wig op de streng plaatsvinden. Wanneer de wig goed gesmeerd is zal deze een grotere kracht op de streng ontwikkelen waardoor de wrijvingskracht tussen streng en wig steeds groter wordt.

Vanwege bovenstaande hanteert pullout een minimaal afspankracht van 50 kN per streng (mondeling toegelicht tijdens expertsessie).

3. Onderzoek: Performance of Cable Bolt Anchors

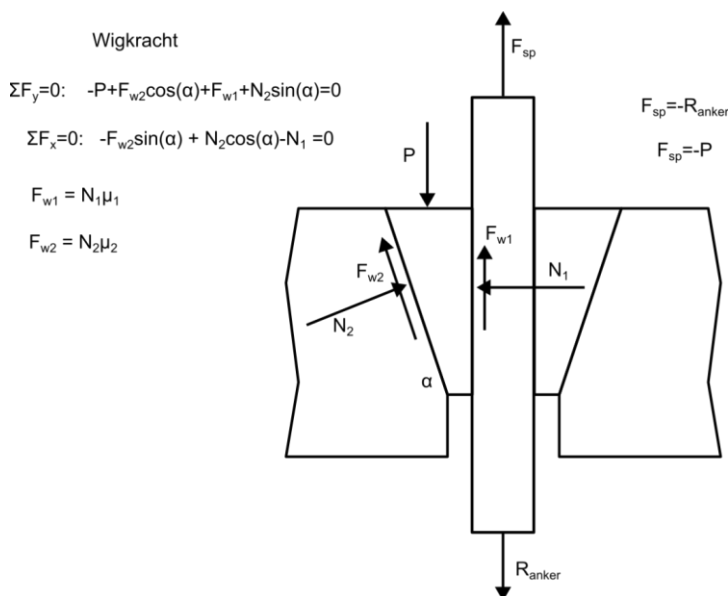
In dit paper (Thompson, 1995) wordt de krachtwerking en de problematiek van het invreten van de wiggen goed uitgelegd. Hieruit volgt dat de kracht waarmee de wig in de streng wordt gedrukt voldoende moet zijn om de tanden van de wig in de streng te zetten en daarmee een goed krachtoverbrengend contact te realiseren. Aangegeven is dat hiervoor de wrijvingshoek tussen de wig en de ankerstoel belangrijk is.

Tabel I.1 Overzicht van wrijvingshoeken tussen wig en wigstoel.

		Chacos 1993	Thompson 1992
1	Droog, putten, roest, oud	45 graden	30 tot 40 graden
2	Droog, lichte roest, nieuw	22 graden	25 graden
3	Licht geolied, schoon, nieuw	17 graden	15 graden
4	Zwaar gesmeerd, schoon, nieuw	6 graden	10 graden

I.2 Verdere analyse op basis van Thompson

Op basis van (Thompson, 1995) is geanalyseerd wat de invreetkracht is in de kabel bij een wig met hoeken van 17 graden. Hiervoor is een aanname gedaan voor de wig/wigstoel frictie. Voor de prestatie bij krachtoverdracht van wig naar streng is het meest ideaal dat de frictiehoek zo laag mogelijk is. Op basis van de installatie is uitgegaan van categorie drie uit Tabel I 1 en is voor de wrijvingshoek 17 graden aanhouden.

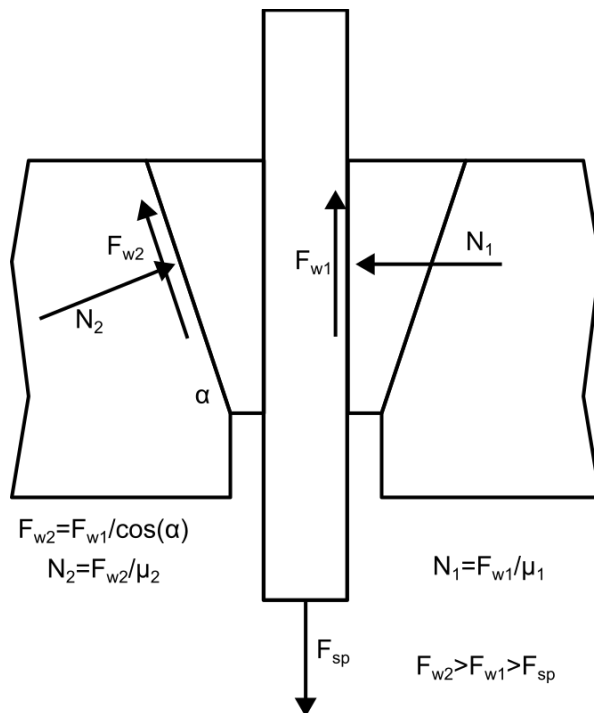


Figuur I.1 Krachtenwerking anker en wig tijdens installatie.

In Figuur I.1 is het krachterevenwicht tussen de wig en wigstoel tijdens plaatsing van de wig schematisch weergegeven. De streng wordt op spanning getrokken door de afspankracht F_{sp} . Deze wordt opgevangen door de reactiekracht in het anker, R_{anker} . Om de wiggen vast te zetten wordt met een kracht P op de wiggen gedrukt of worden de wiggen in de schoen gehamerd. Hierbij wordt doorgedrukt tot het evenwicht met de wrijvingskrachten en de normaalkrachten is bereikt. Bij het aandrukken van de wig worden de ribbels van de wiggen in de strengen geduwd waarbij de (plastische) vervormingen leiden tot een hoger wordende wrijvingscoëfficiënt tussen streng en wig. Hierdoor kan deze een hogere wrijvingskracht opvangen na de installatie. Deze vervormingen in het contact tussen wig en streng zijn afwezig in het deel van de streng boven de wig. Deze kleine uitstulping boven wig zal leiden tot een verbeterde weerstand tegen slippen.

In Figuur I.2 is de werking van de wig weergegeven na installatie. De ankerstreng heeft een afspanningskracht van $F_{sp} = 20kN$. De locatie waar de wig de streng omklemt moet minimaal een wrijvingskracht F_{w1} in tegengestelde richting hebben zodat er geen mogelijkheid is tot slippen. Om deze wrijvingskracht te genereren moet er een klemkracht N_1 uitgeoefend worden die gelijk staat aan de wrijvingskracht F_{w1} gedeeld door de wrijvingscoëfficiënt μ_1 tussen streng en wig.

Voor een goede werking van de wig is het nodig dat op het schuine vlak van de wig een wrijvingskracht F_{w2} wordt gegenereerd die kleiner of gelijk is aan $\frac{F_{w1}}{\cos(\alpha)}$. Bij een gelijke wrijvingskracht is er evenwicht en blijft de wig zitten. Wanneer deze kleiner is zal de wig dieper in de schoen getrokken worden totdat de normaalkrachten een nieuw evenwicht hebben gevonden. Bij een graduele toename van de belasting van de streng en dus de wig zal de wigverbinding sterker worden. Bij te hoge belasting zal de wig alsnog gaan slippen of de strengen zullen knappen. Het laatste is minder waarschijnlijk dan het slippen van de wig.



Figuur I.2 Krachtwerking streng, wig en ankerstoel na installatie.

I.3 Uitkomsten

De analyse van het krachterspel heeft inzichten opgeleverd die van belang zijn voor een goed begrip van de werking van de verankering van de boorpalenwand. Indien het systeem

na installatie goed functioneert zal er door de zakkende grond via de strengen geleidelijk een hogere belasting op het anker worden uitgeoefend. Hierdoor neemt de spanning in de ankers toe en zullen de wiggen verder de ankerschoen in worden getrokken.

Zoals aangegeven in scenario 3 (Paragraaf 3.1.8) kunnen wiggen los raken door een controleproef op het naastgelegen anker. In een dergelijk scenario zal de afspankracht weg moeten vallen. Bovendien moet ook de aanwezige wrijving tussen wig en schoen en wig en streng opgeheven worden om tot een situatie van losraken van de wiggen te komen.

Na installatie is een ankerkop over de ankerschoen geplaatst en de ruimte tussen de kap en ankerplaat met wiggen is afgevuld met grout. Dit heeft geen noemenswaardige invloed op de krachtwerking.

J Consistentie van de gebruikte beton

Naar aanleiding van de presentatie van het Deltares rapport van wp 3 is er vanuit de reviewcommissie een vraag blijven staan over de kwaliteit van de boorpalen.

De opmerking vanuit de reviewcommissie luidt:

Vanuit de reviewcommissie wordt opgemerkt dat voor de uitvoering van de boorpalenwand een werkplan werd gehanteerd dat niet aan de norm voldoet en dat bij de uitvoering van de boorpalenwand niet conform het werkplan is gewerkt. Met name de zetmaat van de toegepaste beton is te laag waardoor de beton relatief stug reageert en er kans bestaat dat beton niet geheel om de wapening heen is gestroomd met verticale kanaaltjes langs de buitenzijde van de paal en een verminderde sterkte tot gevolg. Deze gereduceerde sterkte dient vervolgens gehanteerd te worden binnen WP4. Dit advies wordt ter harte genomen.

Naar aanleiding hiervan heeft Deltares op basis van het opleverdossier samengevat hoe met de consistentie tijdens de uitvoering is omgegaan. In Paragraaf 3.1 is aangegeven wat de consequenties van de afwijkende betonkwaliteit op de sterkte en levensduur van de boorpaal is.

J.1 Probleemstelling

Bij het volstorten van de boorpalen met beton is het belangrijk dat de beton de juiste consistentie (hoe hoger de consistentie hoe vloeibaarder de beton) heeft op het moment van storten. De juiste consistentie is nodig vanwege de volgende redenen:

- De beton moet een voldoende hoge consistentie hebben om uit te zakken zodat na het trekken van de casing de ruimte die de casing achterlaat wordt gevuld. Als de beton te laag van consistentie is vloeit deze onvoldoende om de wapeningskorven heen waardoor de beton dekking onvoldoende kan zijn.
- De beton moet niet een dermate hoge consistentie hebben dat de nog natte beton tijdens of net na het trekken van de casing leidt tot enerzijds grote horizontale vervormingen en anderzijds tot verjonging door het weglopen van de beton in slappe grondlagen.

Een maat die wordt gebruikt om de consistentie van natte beton uit te drukken is de zetmaat en de schudmaat. De zetmaat wordt gevonden door een (genormaliseerde) proef uit te voeren waarbij een kegel met vaste afmetingen (kegel van Abrahms met een hoogte van 300 mm) laagsgewijs wordt gevuld en verdicht met beton uit de mixer. De kegel wordt omgekeerd op een schudtafel en omhooggetrokken. De hoogtevermindering van de ongesteunde kegel is de zetmaat.

De schudmaat wordt bepaald door dezelfde beton nog extra te “schudden” door een genormeerde schudtafel 15 “klappen” te geven (een klap is een vastgestelde valhoogte van de tafel). De mate waarin de betonkegel uitvloeit op de tafel is de schudmaat. Deze wordt kruislinks gemeten en het gemiddelde van de twee is de schudmaat. Hoe hoger de schudmaat hoe hoger de consistentie van de beton is.

Om een uitspraak te doen of tijdens de installatie van de boorpalen de consistentie van de beton goed is beoordeeld is het opleverdossier doorgenomen. Er wordt eerst gekeken naar de eisen die hierover in het werkplan (Combinatie Dijkverbetering Molenwaard, 2015) zijn opgenomen. Daarna wordt de NEN 1536 (NEN, 1999) aangehaald. Tot slot wordt

steeksproefsgewijs vanuit het opleverdossier gecontroleerd hoe dit is toegepast en hoe hierop is gehandhaafd. Vervolgens wordt een conclusie over de betonkwaliteit getrokken.

J.2 Analyse vanuit opleverdossier

J.2.1 Het werkplan.

In het werkplan (Combinatie Dijkverbetering Molenwaard, 2015) voor de realisatie van de boorpalen zijn de onderliggende eisen met betrekking tot de consistentie van de beton weergegeven:

In Sub paragraaf 7.4.1 wordt de schud- en zetmaat weergegeven.

Tabel J.1 Schudmaat volgens werkplan.

7.4.1 Beton

Beton wordt aangeleverd door de Combinatie Dijkverbetering Molenwaard volgens onderstaande specificaties: Er kunnen twee verschillende betonsoorten worden afgeroepen in functie van de wapeningsconfiguratie van de verschillende elementen.

Mengsels kunnen worden aangepast naargelang de behoefte ivm verwerkbaarheid e.d.

Korrelgrootte	Dmax 16	Dmax 32
Sterkteklasse	C30/37	C30/37
Exposure class	XA2	XA2
Consistentie	S4	S4
Target zetmaat	180 – 210 mm	180 – 210 mm
Schudmaat	F5	F5
Target schudmaat	550- 600 mm	550- 600 mm
Minimale poederhoeveelheid	400 kg/m ³	350 kg/m ³

Bij het revisiebeheer van het document wordt het volgende gesteld met betrekking tot de aansluiting bij de NEN1536 dat niet elke mixer wordt gecontroleerd omdat op de betoncentrale al een controle is uitgevoerd. Onduidelijk is waarom gesteld wordt dit conform de NEN1536 is (zie verderop bij de NEN).

- 7.8 procesbeheersing "schudmaat/zetmaat"
 - o Betonkwaliteit wordt in het ontwerp afgestemd op de wapeningsconfiguratie. Voor sectie AB (en met hoge waarschijnlijkheid voor alle komende secties) is dit met korreldiameter 16mm. Op dit beton is ook een proef gedaan op de betoncentrale samen met de uitvoering van Franki ten behoeve van het vaststellen van de uitvoerbaarheid/verwerkbaarheid.
 - o Consistentieklasse en schudmaat zal gecontroleerd worden op basis van visuele controle. Er zal op het werk ook een schudtafel en Abramsconus aanwezig zijn voor in het geval van twijfel de schudmaat (en daarmee de consistentie) vast te stellen. Echter wordt dit niet standaard bij elke mixer getest. Eveneens conform de norm **NEN1536**.
 - o Akoestisch doormeten: zie boven

Tabel J.2 Controles tijdens uitvoering uit het werkplan.

7.8.1.3.4 Controles tijdens de uitvoering

Aard	frequentie	meetwijze	Tolerantie
Door ploegbaas permanent			
Inplanting	continu	Visueel onaangeroerd, overeenstemmend met geldig uitvoeringsplan	Zie inplanting landmeter (+/- 10cm)
Defecten aan componenten van de digitale parameters	continue	Bij foutmelding wordt overgeschakeld op manuele registratie	Herstelling zo snel mogelijk na vaststelling defect: AANDACHTSPUNT + noteren in rapport
Beton - kwaliteit/specificatie	elke mixer	Visuele controle en nazicht leveringsbon	Afwijkingen melden aan SM en LEV (opmerking op bon noteren) STOPPUNT
Beton - Vloeibaarheid/verwerkbaarheid	elke mixer	Visueel of Abramsconus	ervaring
Beton hoeveelheid / paaldiameter	Elke paal	Via peillood	beton neercurve
Wapeningen -- aantal en specificatie	bij elke levering	Visuele controle en nazicht leveringsbon	Afwijkingen melden aan SM en LEV
Wapeningen – vormvastheid	bij elke levering	Visuele controle	Niet aanvaardbaar indien spiraal loskomt van de langsstaven STOPPUNT , beschadigde korven worden afzonderlijk gelegd voor herstelling of vervanging
Wapeningen – hijspunten / versterkte beugel	Elke korf	Degelijk gelast, geen breuk	STOPPUNT , tot herstelling of vervanging
Nazorg – wegzakken van beton /opstuwen beton	uitgevoerde palen	Visuele tekenen, van beïnvloeding t.g.v. ondergrond of verdringing door naastliggende palen	Melding aan SM, die beslist over bijkomende maatregelen
Nazorg - Bleeding	uitgevoerde palen	Visuele tekenen, van beïnvloeding t.g.v. ondergrond of verdringing door naastliggende palen	Melding aan SM, die beslist over bijkomende maatregelen

Eisen met betrekking tot de schud- en zetmaat vanuit het werkplan

In het werkplan wordt als eis voor de schudmaat vermeld dat deze tussen de 550 en 600 mm moet liggen. Voor het aantal keuringen geldt dat de leveringsbonnen dienen te worden gecontroleerd (lijkt meer te gelden voor de kwaliteit van de beton), en het beton visueel en met Abramsconus waar te nemen.

J.2.2 NEN 1536

De NEN 1536 (NEN, 1999) zegt over de zetmaat en de schudmaat het volgende.

Tabel J.3 Schudmaat conform de NEN1536.

Flow diameter range mm	Slump range mm	Typical conditions of use (examples)
$460 \leq \varnothing \leq 530$	$130 \leq H \leq 180$	– concrete placed in dry conditions
$530 \leq \varnothing \leq 600$	$H \geq 160$	– placed by pumping or – concrete placed in submerged conditions under water by tremie
$570 \leq \varnothing \leq 630$	$H \geq 180$	– concrete placed by tremie in submerged conditions under a stabilizing fluid.
Note: The measured slump (H) or flow diameter (\varnothing) is to be rounded off to the nearest 10 mm.		

Voor de boorpalen bij KIS geldt de tweede regel uit de tabel. Uit deze tabel volgt dat wanneer de beton met een plunjier (tremie pipe) wordt gestort onder water de schudmaat (flow diameter) tussen 530 en 600 mm te liggen en de zetmaat groter dan 160 mm dient te zijn.

De frequentie van testen is hieronder aangegeven.

Tabel J.4 Controle testen uit de NEN1536.

	Subject	Control	Purpose	Frequency	Remarks
1	continuity of supply	check	continuity of placement	before placement	
2	concrete – grade – composition	delivery document	conformity	each truck	
3	consistence	– slump or – flow table	– conformity – workability	– each truck (truck delivery) or – every 10 m ³	
4	ambient temperature	thermometer	protection of newly cast piles	when required	
5	concrete temperature	thermometer	– conformity – workability	when required	frequency to be increased when in doubt
6	workability time	workability check on fresh concrete	check of duration of workability	– when required or – in doubt	test is carried out in parallel to concrete placement

Uit deze tabel volgt dat de consistentie van elke vracht of elke 10 m³ moet worden gecontroleerd.

In het werkplan wordt gesteld dat de kwaliteit van elke mixer vanaf de betoncentrale wordt gekeurd en dat op het werk alleen een soort van steekproef (visueel en Kegel van Abram). In hoeverre bij de betoncentrale elke vracht is beoordeeld is niet uit het opleverdossier te beoordelen.

J.2.3 Conclusie Werkplan vs NEN 1536

De opmerking dat de zet- en de schudmaat zoals aangegeven in het werkplan staat niet in overeenstemming is met de NEN1536 klopt, maar valt wel binnen de bandbreedte van de NEN. De NEN1536 schrijft een schudmaat van 530-600 mm voor, terwijl het werkplan een nauwere band voor de schudmaat voorschrijft van 550-600 mm voorschrijft, maar daarbij dus wel binnen de NEN valt. De zetmaat die voorgeschreven wordt in het werkplan 180-210 mm is eveneens “strenger” dan de NEN1536 die een minimale zetmaat van 160 mm voorschrijft.

De frequentie van keuren wijkt af van de NEN. Niet elke vracht is op het werk gecontroleerd, maar visueel beoordeeld en steekproefsgewijs is de beton beproefd. Wel wordt gesteld dat de beton op de centrale is gekeurd, maar hiervan is geen documentatie.

J.3 Toepassing van de eisen

J.3.1 Steekproef vanuit opleverdossier

Hieronder is een steekproef van een aantal boorpalenwand secties weergegeven met daarin de zetmaat bepaling, het aantal zetmaten en de hoeveelheid palen.

Tabel J.5 Steekproef schudmaatbepalingen vanuit de keuringsrapporten.

Sectie	Aantal palen	Ca m3	Zetmaat [mm]	Schudmaat [mm]	Conclusie
F1-1	28	560	275	605	lets te hoog; weinig proeven gegeven aantal mixers
F2	23	460	280	570	Oke; weinig proeven gegeven aantal mixers
F3G-GH	170	3400	278; 260 255	600; 500; 590	Deels Oke deels niet Oke, weinig proeven
H2	21	420	250; 255 270; 260	530; 525; 610; 465	Deels te laag, te hoog en weinig proeven
H3i	130	2600	260; 255 278; 260 260;270	570; 590; 630; 500; 488; 545;	2 proeven oke, rest te hoog of te laag. 6 bepalingen op 130 mixers?
L2	41	800	280; 260 270; 265	660; 560; 567; 530	Een te hoog de rest Oke
N	45	900	250	500	
PQ1					

Tabel J.6 Voorbeeld schudmaat bepaling Sectie N vanuit het opleverdossier van de combinatie: resultaat 500 mm.

Shake size F (NEN-EN 12350-5)

1. Place the cone on the testing table
2. Fill the cone in two layers, by every layer use the wooden push rod. Make sure the push rod will not penetrate the previous layer.
3. Wait for 30 seconds.
4. Pull up the cone carefully
5. Pull up the table and drop it 15 times.
6. Measure the diameter in 2 directions, calculate the average length of the diameter.

#	Diameter [mm]	Diameter (perpendicular on the previous) [mm]	Average [mm]	Shake size class (from table)	Quality
1	500	500	500	F4	Oké / not oké
2					Oké / not oké

Necessary items:
Push rod wood
German cone
Testing table



Consistency classes	Densification size C		Slump S		Shake size F	
	Class	[-]	Class	[mm]	Class	[mm]
Dry	C0	≥1,46				
Nature moist	C1	1,45-1,26	S1	10-40	F1	≤340
Half plastic	C2	1,25-1,11	S2	50-90	F2	350-410
Plastic	C3	1,10-1,04	S3	100-150	F3	420-480
Very plastic			S4	160-210	F4	490-550
Liquid			S5	≥220	F5	560-620
Very liquid					F6	≥630

J.4 Conclusie met betrekking tot de consistentie van de beton

De opmerking dat de zet- en de schudmaat, zoals aangegeven in het werkplan, niet in overeenstemming is met de NEN1536 klopt. De NEN1536 schrijft een schudmaat van 530-600 mm voor, terwijl het werkplan een nauwere band voor de schudmaat voorschrijft, 550-600 mm. Deze valt daarbij dus wel binnen de NEN. De zetmaateis uit het werkplan is 180-210 mm en is daarmee eveneens "strenger" dan de NEN1536, die een minimale zetmaat van 160 mm voorschrijft.

Wanneer de resultaten van de schudmaatproeven vanuit het opleverdossier worden beschouwd, worden schudmaten gevonden die hoger en lager liggen dan de gestelde eisen in het werkplan, en dus ook ten opzichte van de NEN1536. Dit terwijl er overal het resultaat "Oke" aan is gegeven. Bij schudmaten < 500 mm hadden die volgens het werkplan moeten worden afgekeurd. Opgemerkt wordt voor het vullen van een boorpaal ongeveer 2 vrachten beton nodig zijn. Voor de sterkte reductie van de boorpalenwand wordt de invloed van enkele mixers met een te hoge of lage consistentie over de boorpalenwand uitgemiddeld.

Op basis van een steekproef van 25 betonkeuringen is navolgend resultaat gevonden:

Tabel J.7 Samenvatting betonkwaliteit.

aantal controleproeven	vastgestelde schudmaat	opmerkingen
1	F3 (420-480)	
1	Op grens F3-F4	
7	F4 (490-550)	
1	Op grens F4-F5	
11	F5 (560-620)	
4	F6 (≥ 630)	1 monster geeft bleeding

Uit de steekproef blijkt dat voor wat betreft de zetmaat alle proeven een hogere zetmaat hebben dan de NEN1536 voorschrijft. Voor wat betreft de schudmaat is dit anders en worden zowel lager als hogere schudmaten gevonden.

De lagere schudmaat duidt op een te lage consistentie, wat kan leiden tot problemen met onvoldoende dekking op de wapening.

De frequentie van keuren is relatief laag omdat de beton ook op de centrale is gekeurd en de weergegeven keuringsresultaten eigenlijk controles zijn. De keuringsgegevens van de centrale zijn niet beschikbaar.

K Memo onderbouwing van de sterktereductie van de boorpalenwand

Datum: 3 juli 2024

Deltares

Onderbouwing van de sterktereductie van de boorpalenwand Kis

1. Inleiding

Deze memo geeft een onderbouwing van de reductie van de momentcapaciteit van de boorpalen in de boorpalenwand. Daarbij gaat het niet alleen om de huidige situatie maar ook om de toekomstige te verwachte levensduur. Op basis van het advies van het expert panel is, eerder in 2023, de reductie van de momentcapaciteit gesteld op 10%.

Deze memo is opgesteld door BAM Infra Funderingstechnieken in overleg met Deltares.

2. Scenario analyse

Het beton van de boorpalen is aangevoerd met betonmixers vanuit de betoncentrale naar het werk. De betonmengsels zijn steekproefsgewijs gecontroleerd en geven wisselende resultaten van de zet- en schudmaten. Alle betonvrachten zijn in de boorpalen verwerkt. Van deze controle proeven op het betonmengsel zijn er 25 beoordeeld om een representatief beeld te verkrijgen. De resultaten van deze beoordeling zijn weergegeven in tabel 1.

Tabel 1; uitgevoerde controleproeven; indeling schudmaat

aantal controleproeven	vastgestelde schudmaat	opmerkingen
1	F3 (420-480)	
1	Op grens F3-F4	
7	F4 (490-550)	
1	Op grens F4-F5	
11	F5 (560-620)	
4	F6 (≥ 630)	1 monster geeft bleeding

Uit tabel 1 volgt dat bij 4 monsters te hoge schudmaat gemeten is en bij 10 monsters te lage schudmaat.

Datum 3 juli 2024
Blad 2 van 11

Opgemerkt wordt dat uit de betonnergrafiëken blijkt dat het oververbruik van de beton is vastgesteld op gemiddeld 20%. (De beschouwde sectie is F1-1).
In het Pleistocene zand is het oververbruik vastgesteld op gemiddeld 5%.
(de gemiddelde diameter is dan 1100mm en is daarmee 30mm groter dan de boordiameter van 1070mm en 80mm groter dan de rekendiameter van 1020mm).
In de bovenliggende Holocene veen en kleilagen is het oververbruik vastgesteld op gemiddeld 30%.
(de gemiddelde diameter is 1220mm en is daarmee 150mm, resp. 200mm groter).
Minimum oververbruik = 27%, paaldiameter = 1190mm: 120mm, resp. 170mm groter.
Maximum oververbruik = 33%, paaldiameter = 1235mm: 165mm, resp. 215mm groter.
Het oververbruik en daarmee de paaldiameter zal in kleilagen minder zijn en in veenlagen groter. In het algemeen geldt dat voor boorpalen en diepwanden in slappe klei en veenlagen oververbruik van beton optreedt en dat een oververbruik van 30% in de lijn der verwachtingen ligt.

De voorgenoemde fenomenen kunnen invloed hebben op de momentcapaciteit van de boorpalen. Om een afschatting te maken van de grootte van deze invloed zijn een 4 tal betondoorsnede berekeningen uitgevoerd, waarbij de mogelijke effecten worden beschouwd.

Berekening 1. Uitgangssituatie

Uitgangssituatie = ontwerpberekening.

De beschouwde sectie is F1-1

Voor deze berekening zijn de volgende gegevens aangehouden;

- Diameter boorpaal 1070mm (diameter boorpaal in de berekening 1020mm),
- Korfdiameter 870mm tov buitenzijde beugels,
- Beugels 16mm – 250mm,
- Hoofdwapening 16 rond 25mm,
- Dekking 100mm (in de berekening 75mm),
- Betonkwaliteit C30/37,
- Centrische ligging wapeningskorf.

Paaldiameter	1070mm
Betonkwaliteit	C30/37
Momentcapaciteit	100%

De momentcapaciteit is voor de uitgangssituatie gesteld op 100%.

Berekening 2. Effect van lagere betonsterkte door een te lage schudmaat

Ten gevolge van de onderschrijding van de schudmaat (te stug) kan de kwaliteit van de betondekking twijfelachtig zijn. Om dit effect te beoordelen is de berekening uitgevoerd met lagere betonsterkte.

Paaldiameter	1070mm	1070mm
Betonkwaliteit	C30/37	C25/30
Momentcapaciteit	100%	96%

Een lagere betonsterkte C25/30 betekent een reductie van de momentcapaciteit van 4%.
Uitgangspunt voor de keuze van de betonkwaliteit C25/30 is dat het betonmengsel 400kg cement per m³ bevat.

Datum 3 juli 2024

Blad 3 van 11

Berekening 3. Effect van grotere diameter door oververbruik van beton, icm lagere betonsterkte door te lage schudmaat

Het oververbruik van beton is in de Holocene klei- en veenlagen vastgesteld op gem. 30%. Opgemerkt wordt dat bij het trekken van de casing de beton goed toe vloeit en daarmee een goede vulling en een grotere diameter aanwezig is. Voor de berekening is een ondergrens aangehouden van 20%. Ten gevolge van het beton oververbruik is de diameter 100mm vergroot. Daarbij is ook de invloed van een lagere betonsterkte meegenomen.

Paaldiameter	1170mm	1170mm
Betonkwaliteit	C30/37	C25/30
Momentcapaciteit	115%	110%

Een 100mm grotere paaldiameter en een betonkwaliteit C30/37 betekent een 15% hogere momentcapaciteit. Een 100mm grotere paaldiameter en een lagere betonsterkte C25/30 betekent een 10% hogere momentcapaciteit.

Berekening 4. Effect van gereduceerde aanhechting van een wapeningstaaf tgv bleeding

De aanhechting van de wapeningstaven is een belangrijk item. Indien 1 wapeningsstaaf in de uiterste vezel van de trekzone niet wordt meegenomen betekent dit een reductie van de momentcapaciteit van enkele procenten. Uitgangspunt is een paaldiameter van 1170mm.

De conclusie is dat een lagere betonkwaliteit enige reductie geeft van de moment capaciteit, echter een grotere diametercompenseert dat meer dan voldoende hetgeen betekent dat een 10% hogere moment capaciteit aanwezig is. Bleeding in een boorpaal geeft voor 1 of enkele wapeningsstaven een verminderde aanhechting waarbij het verlies aan moment capaciteit beperkt blijft tot 5%.

Mochten lokale afwijkingen optreden dan zijn worden deze in de praktijk gecompenseerd door het vermogen van herverdeling van spanningen in de grond (boogwerking) en van de krachten via de verankerde kopbalk.

Beschouwing van de kans van optreden van de gevolgen bij een te hoge schudmaat

Het mengsel is erg vloeibaar;

- aannemelijk is overdosering van de hulpstof in de centrale
- het gaat daarbij om tienden van procenten
- meest waarschijnlijke scenario

- een te hoge wbf
- minst waarschijnlijke scenario

- het betonmengsel blijft stabiel
- meest waarschijnlijke scenario

- 1 controleproef laat bleeding zien
- gem. kans van 1 op 25

Datum 3 juli 2024

Blad 4 van 11

Mogelijk effect 1

Het grind zakt uit naar de onderste zone van de boorpaal;

- de grindkorrels blijven in de cement pasta zitten
- de stapeling van korrels wordt dichter
- heeft geen invloed op de betonkwaliteit
- meest waarschijnlijke scenario

Fijne deeltjes (cement en vliegias) verplaatsen zich naar de bovenste zone van de boorpaal

- hogere wbf
- heeft enige negatieve invloed op betonkwaliteit
- meest waarschijnlijke scenario

Mogelijk effect 2:

Proceswater treedt uit het betonmengsel

- bij een stabiel mengsel treedt geen proceswater uit
- meest waarschijnlijke scenario

Mogelijk effect 3:

Bleeding kanalen treden op langs wapeningsstaaf

- geen goede omhulling van de wapeningsstaaf
- bleeding vastgesteld bij 1 controlemonster
- gem. kans 1 op 25

Bleeding kanalen treden op op het grensvlak beton en boorgatwand

- kwaliteit betondekking en dikte betondekking
- bleeding is vastgesteld bij 1 controlemonster
- gem. kans 1 op 25

Zandinsluitingen

- bij een niet stabiel mengsel
- bleeding is vastgesteld bij 1 controlemonster
- gem. kans 1 op 25

Mogelijk effect 4:

Onvoldoende kwaliteit van de betondekking, onder andere te hoge porositeit

- onvoldoende alkaliteit ter bescherming van de wapening
- indringing chloride, CO₂, zuurstof
- leidt op termijn tot corrosie
- vanwege het betonoververbruik is de dikte van de dekking groter dan voorzien
- Pleistoceen oververbruik gem 5%, betondekking 130mm
- Holoceen oververbruik gem. 30%, betondekking 160 tot 180mm
- meest waarschijnlijke scenario

Datum 3 juli 2024
Blad 5 van 11

Beschouwing van de kans van optreden van de gevolgen bij een te lage schudmaat

Een te lage schudmaat

Mogelijk effect 1; onvoldoende dikte betondekking; betonmengsel is te stug

- (de oorzaak kan zijn een te lange tijdsduur in betonmixer)
kans op geen volledige omhulling van de wapeningstaaf
kans op onvoldoende dikte van de betondekking te plaatse van de wapeningstaaf
dagmaat hoofdwapening = 135mm, ter plaatse van de overlap = 110mm
bij gebruik van $D_{max} = 16\text{mm}$ is de verhouding dagmaat en D_{max} 6,8:1
de richtlijn geeft minimaal 4:1 aan
daarmee wordt ruimschoots voldaan aan de eis
kans op onvolledige omhulling wapening en onvoldoende dikte betondekking is zeer klein
opgemerkt wordt dat;
 - bovenstaande betreft controle boorpalen in sectie F
 - andere secties de verhouding dagmaat en D_{max} kleiner is, maar ruim groter dan 4:1
 - het gedrag van beton laat na elke stap van trekken casing zien dat beton goed vloeitonderste zone boorpaal (Pleistoceen zand)
door betondruk en door oververbruik van beton
gem. diameter van 1100mm (30mm groter)
voldoende betondekking / omhulling wapeningsstaven
- meest waarschijnlijke scenario

- bovenste zone boorpaal (Holocene klei en veenlagen)
minder betondruk en oververbruik van beton
gem. diameter 1220mm (150mm groter)
voldoende betondekking / omhulling wapeningstaven
kans op lokaal onvoldoende betondekking tpv wapeningsstaaf
- meest waarschijnlijke scenario

Mogelijk effect 2; Holten in de boorpaal

- akoestische doormeting van de palen zijn uitgevoerd
1^e sectie 100%, 2^e sectie 50% en vervolg 10% van het aantal boorpalen
meetresultaten geven geen afwijkingen,
geen insnoeringen en geen holten
- meest waarschijnlijke scenario

Datum 3 juli 2024

Blad 6 van 11

Conclusie

- Uit de akoestische metingen blijken geen afwijkingen. Daarmee is de **kans op holten in de betondoorsneden niet waarschijnlijk**.
- Uit de betonnergrafieken is oververbruik van beton vastgesteld;
 - in het Pleistocene zand is het oververbruik gem. 5%
 - in de Holocene klei- en veenlagen is het oververbruik gem. 30%.Een vergroting van de betondekking betekent **extra bescherming tegen indringingsmechanismen**.
- Uit de controleproeven blijkt;
 - 50% monsters zijn goed,
 - 35% monsters zijn te dik,
 - 15% monsters zijn te dun,
 - 4% monsters laat bleeding zien.
- Het mengsel is goed / te soepel / te stug. Uit de controle proeven blijkt dat 24 van de 25 proeven een stabiel mengsel laten zien. Dat wil zeggen dat de opbouw van **de beton op zich goed is en de betonkwaliteit ook voldoende is**. Echter bij een te soepel betonmengsel kan **de betonkwaliteit in het bovenste deel van de boorpaal minder** zijn. Bij een te stug betonmengsel **kan de betondekking tpv een wapeningstaaf minder zijn** in het bovenste deel van de boorpaal.
- Uit de controleproeven blijkt dat 1 van de 25 proeven bleeding optreedt. Dit kan gevolgen hebben voor de aanhechting van de wapeningstaven en eventueel de porositeit van de betondekking. Uit ervaring treedt bleeding in een paal op ter plaatse van 1 of enkele wapeningsstaven. Tevens is er een kans op lokale zandinsluitingen. Bleeding en zandinsluitingen zijn bij het snellen van de boorpalen goed te zien. De informatie ontbreekt of dit inderdaad is geconstateerd. Anderzijds mag verwacht worden dat bij constatering hiervan melding zou zijn gedaan. **De kans is daarom globaal maximaal 1 op de 25 palen**.
- Bij een mindere kwaliteit van de beton dekking kan na verloop van tijd corrosie van meerdere wapeningstaven optreden, dit is de zone boven de grondwaterstand.
- Het betonverbruik van een boorpaal is ca 22m³. De inhoud van een betonmixer varieerde van 5m³ tot 11m³. Er zijn twee of meerdere betonmixers nodig voor 1 boorpaal. Indien 1 mindere kwaliteit betonvracht in een boorpaal wordt verwerkt zal enige menging van de beton van de vorige vracht optreden waardoor **de afwijkingen waarschijnlijk minder zullen** zijn. Voordeel is dat water als steunvloeistof is gebruikt en dat de beton is gestort terwijl het boorgat was afgeschermd door de casing zodat geen vermenging optreedt van de omliggende grond.

Datum 3 juli 2024

Blad 7 van 11

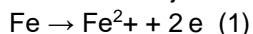
3. Beschouwing levensduur boorpalen

De ontwerplevensduur is bepaald op 100 jaar. De boorpalen zijn geplaatst in milieuklasse is XA2 hetgeen betekent een matig agressief milieu met chemische aantasting vanuit het grondwater. De boorpalen zijn in 2016 aangebracht.

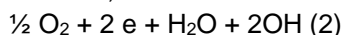
De levensduur van de boorpalen wordt voornamelijk bepaald door de kwaliteit en dikte van de betondekking en de hierin optredende scheurvorming tijdens het belasten van de paal. Bij onvoldoende kwaliteit en dikte van de betondekking of te grote scheuren kan corrosie van de wapening op termijn optreden. Toetsing van de maximale scheurwijdte in de ontwerpberekeningen heeft aangetoond dat deze ruim onder de eisen in de norm blijft. Corrosie van de wapening veroorzaakt volume uitzetting waardoor beton scheurt en de wapening de aanhechting verliest. Het gevolg is forse reductie van het moment capaciteit.

In het beton is het wapeningstaal beschermd als gevolg van de hoge pH waarde (≥ 12 tot 13). Daarbij vormt zich een oxide huid op de wapeningstaven en remt het corrosieproces. Dit wordt de passivering van het wapeningstaal genoemd. Bij verlies aan passivering gaan verschillende reacties verlopen (1t/m4)

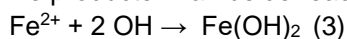
Oxidatie van ijzer is een anodische reactie;



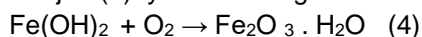
Zuurstof, water met elektronen uit reactie 1 geeft kathodische reactie;



De producten van beide reacties geven een vast product;



De ijzer(II)hydroxide reageert verder met zuurstof tot ijzer(III)(hydr)oxide;



Ijzer(III)(hydr)oxide is roest en veroorzaakt expansie die de betondekking afdrukt.

Voor wapening in boorpalen zonder defecten, dus goede omhulling van de beton en goede kwaliteit betondekking betekent dit het volgende;

De boorpaal zit onder water en de betondekking is met water verzadigd. In waterverzadigd beton is zuurstof transport zeer langzaam. Daardoor is onvoldoende aanvoer van zuurstof om reactie (2) te laten verlopen. Als gevolg hiervan is de corrosiesnelheid verwaarloosbaar klein. Dit geldt ook als de wapening niet gepassiveerd zou zijn bijvoorbeeld door het indringen van chloride, een voorbeeld is gegeven in de bijlage.

Bij defecten die doorlopen tot op de wapening is er vrije toegang tot het grondwater. De pH daarvan is ongeveer 7, waarbij passivering dan niet optreedt. Reactie (1) kan dan verlopen. De toetreding van zuurstof via het water in een defect zal de omzettingssnelheid van reactie (2) bepalen en daarmee de overall corrosiesnelheid. Bepalend is de hoeveelheid opgelost zuurstof in het water. Indien er geen zuurstof aanwezig is dan zal deze reactie niet plaats vinden.

Datum 3 juli 2024
Blad 8 van 11

In het geval van verticale bleeding kanalen rond de wapeningstaven. Indien de kanalen gevuld zijn met stilstaand water waardoor er geen verversing kan plaatsvinden dan zal er ook geen toevoer van zuurstof kunnen plaatsvinden. Indien de verticale bleeding kanalen wel watervoerend zijn dan is de corrosiesnelheid afhankelijk van de hoeveelheid aangevoerde zuurstof en bij geen aanvoer van zuurstof zal er ook geen corrosie optreden.

Nadere beschouwing van de corrosie van de boorpalen.

Zuurstof in het water;

- De beschikbaarheid van zuurstof is afhankelijk van stroming en opgelost zuurstof in het grondwater.
- Het bovenste deel van de boorpaal zit in het Holocene klei- en veenlagen. In klei- en veenlagen treedt onvoldoende grondwaterstroming op voor voldoende zuurstoftransport.
- Het onderste deel van de boorpaal zit in het Pleistocene zand en tussenzandlaag. Het zand is waterdoorlatend. Water in Pleistoceen zand en tussenzandlaag is anaeroob en bevat geen zuurstof..
- De getijdebeweging in het Pleistocene zand (tussenzandlaag) is een drukgolf zodat geen verversing van water kan optreden.
- Corrosie ten gevolge van zuurstof is daarmee niet mogelijk.

Chloride in het Pleistocene zand;

- De zouttong kan de locatie van de boorpaal bereiken. De zouttong bevindt zich in het Pleistocene zand en tussenzandlaag.
- Uit veldmonsters uit het Pleistocene zand blijken gemeten chloride gehalten tussen 59mg/l en 190mg/l.
- Uit de onderstaande tabel blijkt de indeling in de categorie “zoet” en “matig” zoet water.
- Toegepast is Hoogovencement en heeft een hoge weerstand tegen chloride indringing.
- Initiatie corrosie van de wapening ten gevolge van chloriden treedt op indien de concentratie groter wordt dan 0,6% ten opzichte van de cement hoeveelheid.
- De toegepaste hoeveelheid bindmiddel (cement + reactief aandeel vliegias) is bij $D_{max} = 16\text{mm}$ 400kg/m^3 .
- De kans op initiatie corrosie vanuit chloride is daarmee niet aanwezig .

idem in milligram chloride per liter (mg Cl/l)

Zoet	Matig zoet	Licht brak	Zwak brak	Brak	Sterk brak tot zout
< 150	150-300	300-1000	1000-3000	3000-10.000	> 10.000

CO₂ uit de buitenlucht;

- De boorpalen bevinden zich in de het dijklichaam.
- Het dijklichaam is een kleidijk.
- Aantasting van CO₂ uit de buitenlucht is daarmee niet mogelijk.

Conclusie

- In het Pleistocene zand bevat het grondwater geen zuurstof en corrosie van de wapeningsstaven ten gevolge van zuurstof is daarmee ook niet mogelijk.
- De initiatie van corrosie vanuit chloride is daardoor niet aanwezig.

Datum 3 juli 2024

Blad 9 van 11

4. Eindconclusie

Er geen sprake van enige reductie van de sterkte van de boorpalenwand, niet op korte termijn en evenmin op de lange termijn.

1. De mindere sterkte, door lagere betonkwaliteit wordt ruimschoots gecompenseerd door de grotere diameter van de palen in het Holoceen, waar het maximale moment optreedt.
2. Bleeding zal hooguit leiden tot de uitval van een enkele wapeningsstaaf. De reductie hierdoor van de momentcapaciteit ligt in de orde van enkele procenten en wordt ook gecompenseerd door de grotere diameter, zelfs als dit fenomeen gelijktijdig optreedt met een lagere betonkwaliteit.
3. De mogelijke mindere kwaliteit (hogere porositeit) van de betondekking leidt onder de grondwaterstand, in het Holoceen en in het Pleistoceen niet tot corrosie van de wapening door gebrek aan zuurstof. Dit betekent dat de levensduur niet in het geding is. Boven de grondwaterstand, dat wil zeggen in de bovenste meter van de palen zou corrosie kunnen optreden, maar daar is nauwelijks sprake van een buigend moment maar van dwarskracht en is de moment capaciteit dus niet maatgevend.

Datum 3 juli 2024

Blad 10 van 11

Bijlage

3.2 Onderzoek aan gewapend beton in zeewater

Relevant onderzoek is gerapporteerd in 1996 [CUR 96-4]. In 1976 is een groot aantal (ca. 250) betonprisma's gemaakt en onder water op de bodem van de Noordzee geplaatst. Na 2 jaar, in 1978, en na 8 jaar, in 1984, zijn zij boven water gehaald; een deel is onderzocht en de rest is teruggeplaatst. In 1992, dus na 16 jaar expositie, zijn de resterende 42 proefstukken opgehaald en onderzocht. Het betrof onder andere prisma's van 100 x 100 x 500 mm³ met wapening op 15, 30 en 45 mm dekking, andere (grotere) prisma's hadden een dekking tot 70 mm. De samenstellingen waren gebaseerd op Portland cement, met wcf 0,54 en 0,42; en hoogovencement wcf 0,42. Sommige prima's waren aan het begin van het onderzoek opzettelijk gescheurd door buigen, waarbij scheurwijdtes ontstonden tot 0,4 mm wijde op het oppervlak.

Kort samengevat bleek bij het onderzoek het volgende.

Alle prima's hadden aanzienlijke chloride-indringing ondergaan; Portlandcementbeton aanzienlijk meer dan hoogovencementbeton. In Portlandcementbeton was het chloridegehalte op 45 mm (dus bij de diepste wapening) opgelopen tot 2% (wcf 0,42) tot 4% (wcf 0,54), met alle chloridegehalten in massa% ten opzichte van het cementgewicht. In het hoogovencementbeton verliep het chloridegehalte van ca. 2,5% op 15 mm diepte via 0,5% op 30 mm diepte tot ca. 0,2% op 45 mm diepte. Dat betekent dat het gehalte bij alle wapening, behalve die op 30 en 45 mm in hoogovencementbeton, ruim boven het kritische gehalte voor corrosie-initiatie lag. Desondanks waren alle uitgenomen wapeningsstaven geheel blank en vrij van corrosie. Dit gold ook voor staven die werden gekruist door de vooraf aangebrachte (en nog steeds aanwezige) scheuren. De afwezigheid van corrosie werd verklaard door de afwezigheid van zuurstof.

Na het onderzoek werd een aantal intacte proefstukken opgeslagen in een klimaatkamer bij 20C en 80% RV. Na ongeveer een jaar was een aantal daarvan gescheurd langs de wapening, overduidelijk door corrosie. Een aantal van die prisma's werd vervolgens buiten en later op het dak van het TNO laboratorium bewaard. Na 20 jaar waren veel prisma's volledig gescheurd en waren grote stukken van de dekking afgedrukt. Dit kan worden verklaard door gedeeltelijke uitdroging van het beton, waardoor zuurstof toegang kreeg tot de wapening. Het hoge chloridegehalte had depassivering veroorzaakt; met de toetreding van zuurstof kwam het corrosieproces op gang. Hieruit kan worden afgeleid dat staal in beton dat zich permanent onder (zee)water bevindt niet corrodeert door gebrek aan zuurstof (reactie (2) is belemmerd). Zodra zuurstof kan toetreden (reactie (2) kan met aanzienlijke snelheid verlopen) wordt het corrosieproces actief (reactie (1) is snel door depassivering), waarbij grote corrosiesnelheden kunnen optreden.

Datum 3 juli 2024

Blad 11 van 11

Bijlage

Project Levvel (Afsluitdijk)

In de omgeving van de bestaand spuwmiddelen zijn damwanden getrokken. Deze damwand zijn destijds tijdens de bouw aangebracht in een leemondergrond. De damwandplanken vertonen na ca 100 jaar levensduur geen enkele vorm van corrosie.

L Register met wijzigingen

In dit register zijn de wijzigingen weergegeven die zijn aangebracht in het rapport naar aanleiding van discussie met de opdrachtgever of de reviewcommissie. Het gaat hierbij alleen om wijzigingen die invloed hebben op de uitkomsten van het rapport. Formuleringen en andere tekstuele correcties zijn separaat geregistreerd met behulp van "track changes" in Word.

Versie	Datum	Commentaar	Reactie Deltares
0.1	23-08-2023	Versie 0.1 is een concept rapportage van een deel van het onderzoek, er kunnen nog geen conclusies worden getrokken m.b.t. de onderzoeksvragen.	
0.2	Nov 2023	Versie 0.2 betreft een concept rapport inclusief de interne kwaliteitsboring van Deltares.	
0.3	Jan. 2024	Versie 0.3 betreft een definitief concept rapport inclusief de interne kwaliteitsboring van Deltares met verbeterde structuur en formulering.	
0,4	Mrt 2024	<p>Eindversie met commentaar uit reviewcommissie verwerkt Opm uit rev cie: Hoe zit het met de betonkwaliteit (met name de zetmaat)? Stuggere beton kan gevolgen hebben voor de kwaliteit van de dekking ('matrassing'). Dat kan een risico vormen doordat er kans bestaat op verticale kanaaltje waardoor vernatting optreedt. Ook is een mindere betondekking nadelig voor de sterkte van de boorpalenwand, met name boven de freatische lijn ivm corrosie. Het werkplan voldoet niet aan de norm, en de uitvoering voldoet niet aan het werkplan, dit leidt tot een systematische fout. De kans op afwijkingen in de vorm en sterkte van de paal is daardoor groter. Hiermee moet rekening gehouden worden bij de uitwerking van werkpakket 4</p> <p>We moeten voor de modelering ten behoeve van WP4 aandacht hebben voor de correcte doorsnede in combinatie met de lokale bodemopbouw. Hierbij het ontwerp beschouwen zoals buiten werd gerealiseerd.</p>	<p>Opmerking verwerkt en aangegeven hoe in wp 4 met eventueel verminderde kwaliteit is omgegaan; Dit is in de samenvatting verwerkt, in Paragraaf 2.3</p> <p>Verder is er een extra bijlage J toegevoegd.</p> <p>Verder zijn de tekstuele opmerkingen en verduidelijkingen van WSRL verwerkt.</p>
1,0	Mrt 2024		Als versie 0.4 maar dan ondertekend
2	Juli 2024	Op basis van de betonkeuringen is de sterkte van de boorpaal nader bepaald en in hoofdstuk 3.1 verder uitgewerkt	Als definitief rapport verstuurd
3	Sept 2024	Memo BAM als bijlage bijgevoerd en uit ref lijst gehaald	Als definitief rapport verstuurd

M Referenties

- ABT. (2014). *Dijkversterking Kinderdijk-Schoonhovenseveer, Uitgangspunten Constructies in dijk v3 code 13013G.*
- Baars, S. v. (April 2021). *Rapport De Lekdijk is lekgestoken!*
- Bouma, A. (1989). *Mechanica van constructies: Elasto-statica van slanke structuren.* Delft.
- Combinatie Dijkverbetering Molenwaard. (2015). *Werkplan Boorpalenwand doc nummer p16131475-PLA-VCO-07684.*
- Combinatie Dijkverbetering Molenwaard. (2015). *Werkplan verankering O-1.01.2.1 definitief.*
- Combinatie Dijkverbetering Molenwaard. (2016). *Berekeningsnota UO Constructie binnetalud dijkvak F1-1.* Groot Ammers: combinatie Molenwaard .
- Combinatie Dijkverbetering Molenwaard. (2016). *WP 1.5.1. Rekennota strengankers sectie F1-1.*
- CRUX. (2022). *ENW, vragen naar aanleiding KIS.*
- Deltares. (2021). *Analyses waterveiligheid KIS.* Delft.
- Deltares. (2022). *Analyse waterveiligheid Kinderdijk Schoonhovenseveer, Fase 2 toetsing aspecten uit "Lekdijk is lekgestoken".*
- Deltares. (2022). *Offerte en Plan van Aanpak vervolgvragen KIS.*
- Deltares. (2023). *Feitelijk verslag veldwerk KIS.* Delft: Deltares.
- Deltares. (2023). *Feitelijke beschouwing storten boorpalen KIS irt afwijking 00187.* Delft.
- Deltares. (Februari 2022). *Rapport Analyse waterveiligheid Kinderdijk-Schoonhovenseveer, met kenmerk kenmerk 11207207-005-GEO.*
- Deltares. (Juli 2021). *Spoedadvies Analyse waterveiligheid Kinderdijk-Schoonhovenseveer, kenmerk 11207207-002-GEO-0004.*
- ENW. (December 2021). *Adviesvraag Lekdijk Kinderdijk-Schoonhovenseveer, met kenmerk ENW-22-04.*
- ENW; Expertisenetwerk Waterveiligheid . (2022). *Adviesaanvraag Lekdijk Kinderdijk-Schoonhovense veer.*
- NEN. (1999). *Uitvoering van bijzonder geotechnisch werk- boorpalen NEN-EN 1536.* Delft: NEN1536.
- NEN 6766. (2023). *Corrosie van stalen elementen in de ondergrond- Eisen voor ontwerp en toepassing.* NEN.
- PullOut test en spanproeven. (2020). *gedetailleerd werkprocedure Testen spnnen strengankers.*
- Thompson, A. (1995). *Performance of Cabel Bolt anchors An Update.* 8.
- Van Baars, S. (2021). *De lekdijk Lekgestoken.*
- Waterschap Riverenland. (2023). *Verzamelde vragen m.b.t. de verankering van de boorpalenwanden bij dijkversterking KIS.*
- Waterschap Rivierenland. (2013). *NOTA:Technische Uitgangspunten dijkversterking KIS.*
- Wichter, L. P. (2020). *Versagen von Litzenverankerung, eine bestandsaufnahme. Versagen von Litzenverankerung, eine bestandsaufnahme,* 6.
- Wiertsema en Partners. (2023). *Projectplan Dijkversteking Kinderdijk-Schoonhovenseveer.*

De rapportages zijn te raadplegen op de volgende internet pagina's:

<https://www.deltares.nl/nl/projecten/onderzoek-dijkversterking-lekdijk/>

<https://www.waterschaprivierenland.nl/rapport-kis>

<https://molenlanden.bestuurlijkeinformatie.nl/Reports/Document/d2f37248-d0df-489c-a7b7-f8537a1e1548?documentId=44eb1570-7abc-4b0b-bf0f-5ee0431913bd>

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

Deltares

www.deltares.nl