

MEMO

Aan : Ruud Hoogendoorn, Ane Wiersma
Van : Peter van der Scheer
Kopie :
Dossier : BC5826
Project : Dijk van een case
Betreft : Effecten van aanvullend grondonderzoek op de faalkansen voor piping

Ons kenmerk : LW-AF20131260/OR
Datum : 10 december 2013
Classificatie : Klant vertrouwelijk

1 INLEIDING

Binnen het project Geo-Impuls wordt nader onderzoek gedaan naar het faalmechanisme piping. Onderdeel van dit onderzoek is een case-studie naar dijkkring 38 - Bommelerwaard. In dijkkring 38 zijn bij het hoogwater van januari 2011 zandmeevoerende wellen opgetreden. Naar aanleiding van deze wellen heeft het waterschap Rivierenland een uitgebreid geotechnisch onderzoek uitgevoerd om een verklaring van deze wellen te vinden.

Deltares/TNO heeft in het kader van het project Veiligheid van Nederland in Kaart 2 (VНК2) uitgebreide schematisaties van de ondergrond gemaakt voor het mechanisme piping. De schematisatie van de ondergrond wordt als basis gebruikt voor de faalkansberekeningen voor piping. Deze schematisaties zijn gebaseerd op gegevens uit de DINO-database aangevuld met gegevens uit andere bronnen zoals het Actueel Hoogtebestand Nederland (AHN) zandbanenkaarten (Cohen e.a.), Landelijk hydrogeologisch model (REGIS II), en boringen van de Universiteit Utrecht. Voor het opstellen van de ondergrondschematisatie zijn door Deltares diverse algoritmes ontworpen om de schematisatie van de ondergrond deels te automatiseren. Vervolgens wordt er door geologen gekeken of er vanuit de ontstaansgeschiedenis redenen zijn voor aanpassingen in de kans op bepaalde bodemopbouwscenario's.

In 2010 is dijkkring 38 binnen het project VНК2 beschouwd. Uit de faalkansberekeningen kwamen relatief kleine faalkansen. Deze faalkansen kunnen verklaard worden vanwege de relatief lange kwelweglengte en de dikke deklaag. Deze kleine faalkansen lijken in tegenspraak met de zandmeevoerende wellen die in januari 2011 bij een waterstand met een overschrijdingskans van ca 1/10 per jaar zijn opgetreden. Dit was de aanleiding om nader te kijken naar de aanvullende gegevens die bij het waterschap Rivierenland beschikbaar zijn. Het waterschap heeft het grondonderzoek dat in het verleden is uitgevoerd in het kader van dijkversterkingen en toetsing vervolgens aangeleverd aan Deltares met het verzoek om deze op te nemen in DINO. Tevens is er door het waterschap in 2011 en 2012 een uitgebreid grondonderzoek uitgevoerd bij de locatie van de zandmeevoerende wellen bij Hurwenen.

Kort samengevat kan worden gesteld dat er drie bronnen van data zijn, die gebruikt kunnen worden voor het schematiseren van de ondergrond. Deze bronnen variëren van algemeen beschikbare informatie uit DINO welke niet specifiek in het kader van waterkeringen is uitgevoerd tot zeer lokale en gedetailleerde informatie bij de zandmeevoerende wel. De volgende drie bronnen worden onderscheiden:

1. DINO (aangevuld met AHN, zandbanenkaart, REGIS II en boringen Universiteit Utrecht): Voor deze schematisatie zijn diverse grondonderzoeken gebruikt met gegevens van de ondergrond die voor grote gebieden beschikbaar zijn. Deze onderzoeken zijn uitgevoerd voor diverse doeleinden zoals fundatie en warmte-koude opslag en niet alleen in het kader van dijkversterkingen en toetsingen.
Op basis van deze informatie heeft Deltares/TNO een schematisatie van de ondergrond gemaakt voor het project VNK2. In deze memo wordt de schematisatie die volgt uit de analyse van de gegevens met de algoritmen aangeduid met 'VNK'. De schematisatie waarin de controleslag door de geoloog is uitgevoerd is aangeduid als 'VNK-G'. De VNK-G schematisatie is gebruikt in het project VNK2.
2. Archief waterschap Rivierenland: Voor de versterkingen en toetsingen van de dijken in dijkkring 38 zijn in het verleden verschillende grondonderzoeken uitgevoerd. Deze onderzoeken zijn opgeslagen in het archief van het waterschap en (nog) niet opgenomen in DINO. Het betreft dus grondonderzoek dat specifiek is uitgevoerd voor het ontwerpen en toetsen van dijken.
Op verzoek van het waterschap heeft Deltares/TNO de aanvullende informatie in DINO gezet en een nieuwe schematisatie van de ondergrond gemaakt. In deze memo wordt de schematisatie die volgt uit de analyses met de algoritmen aangeduid als 'WSRL'. De schematisatie waarin de controleslag door de geoloog is uitgevoerd is aangeduid als 'WSRL-G'.
3. Zandmeevoerende wellen: Naar aanleiding van de zandmeevoerende wellen bij Hurwenen in januari 2011 is een gedetailleerd aanvullend grondonderzoek (Niemeyer, 2011), (Westerhof, 2013), (Oudega, 2013) uitgevoerd. Dit grondonderzoek is zeer lokaal en zeer gedetailleerd. Deze informatie is niet gebruikt Deltares/TNO voor het aanpassen van het ondergrondmodel. Wel is deze informatie gebruikt om de schematisatie van het mechanisme 'opbarsten en piping' op de locatie van de wel binnen het project VNK2 nader te beschouwen. In deze memo wordt het grondonderzoek aangeduid als 'Hurwenen'.

De drie bronnen van informatie en de controleslag die uitgevoerd wordt door de geoloog resulteert in vijf ondergrondschematisaties. Deze vijf schematisaties zijn opgenomen in Tabel 1. In Bijlage 1 zijn kaarten opgenomen waarin de dichtheid en spreiding van de verschillende bronnen is verduidelijkt.

Tabel 1: Overzicht van beschikbare ondergrondschematisaties

Naam	Gebruikte informatie	Aantal boringen	Geoloog
VNK	DINO, AHN, Zandbanenkaart, REGIS II, boringen UU	3414	Nee
VNK-G	DINO, AHN, Zandbanenkaart, REGIS II, boringen UU	3414	Ja
WSRL	VNK aangevuld met data archief WSRL	3414+342	Nee
WSRL-G	VNK aangevuld met data archief WSRL	3414+342	Ja
Hurwenen	VNK-G aangevuld met Hurwenen	3414+39	N.v.t.

Het toevoegen van aanvullende informatie en de interpretatie door de geoloog van de eerste resultaten kosten tijd en geld. In deze memo wordt voor de 'case dijkkring 38' inzicht gegeven in de verandering van de resultaten als er meer informatie wordt toegevoegd aan de ondergrondschematisatie.

In deze case-studie wordt getracht een antwoord op twee onderzoeksvragen te krijgen:

1. Wat is de meerwaarde van het toevoegen van extra informatie uit het archief van het waterschap aan de schematisatie van de ondergrond en de controle door de geoloog met betrekking tot de faalkans voor het mechanisme piping?
2. Leidt het aanvullende grondonderzoek 'Hurwenen' tot aanpassingen in de schematisatie van het faalmechanisme en leidt dit tot faalkansen die meer overeenkomen met het optreden van zandmeevoerende wellen bij waterstanden met een overschrijdingsfrequentie van 1/10 per jaar.

2 VRAAG 1: WAT IS DE MEERWAARDE VAN HET TOEVOEGEN VAN INFORMATIE?

Voor het schematiseren van de ondergrond maakt Deltares/TNO gebruik de gegevens (boringen) die in de DINO database en andere centrale bronnen beschikbaar zijn. Voor het schematiseren van de ondergrond bij de dijk worden de gegevens binnen een afstand van 2 km van de dijk gebruikt. Deze afstand is zo groot om voldoende gegevens beschikbaar te hebben over de diepe grondlagen.

Na het analyseren van de gegevens met de algoritmes worden de resultaten beoordeeld door een geoloog. Deze beoordeelt op basis van kennis over de ontstaansgeschiedenis of er extra rekening moet worden gehouden met bepaalde fenomenen in de ondergrond die mogelijk zijn gemist in het grondonderzoek.

Bij de waterschappen is vaak nog aanvullend grondonderzoek beschikbaar. Dit is vaak grondonderzoek dat in het verleden is uitgevoerd in het kader van dijkversterkingen of toetsingen. Deze data kan worden toegevoegd aan de algoritmes

Zowel de beoordeling door de geoloog als het toevoegen van aanvullend grondonderzoek kost tijd en geld. Het is dan ook belangrijk om inzicht te krijgen in de meerwaarde van het toevoegen van deze informatie voor het mechanisme piping. De onderzoeksvraag wordt opgesplitst in twee deelvragen:

- a. Heeft de visie van de geoloog op de bodemschematisatie effect op de faalkansen die berekend worden binnen de methodiek die gehanteerd wordt binnen het project VNK2?
- b. Heeft het toevoegen van aanvullende grondonderzoekgegevens bij de waterkering aan de gebruikte algoritmes effect op de berekende faalkansen.

Ad 1a

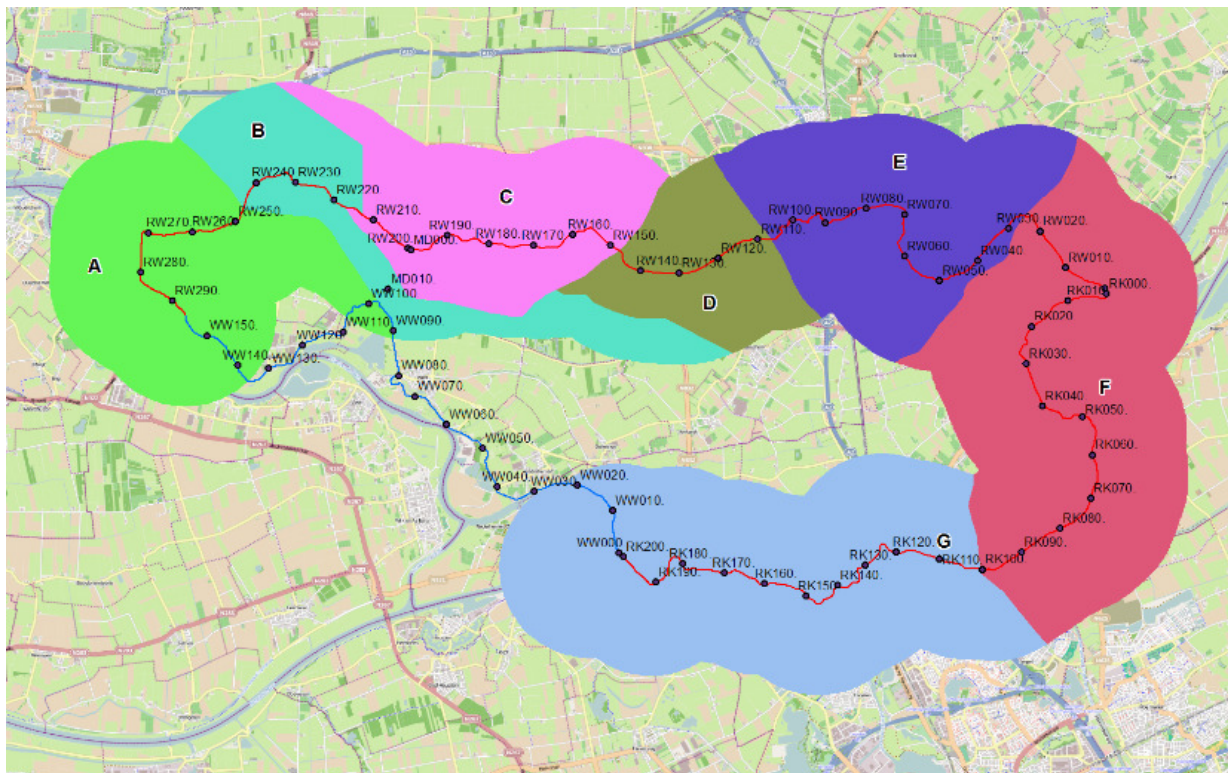
Bij het schematiseren van de ondergrond wordt gebruik gemaakt van bodemopbouwscenario's. Deze scenario's worden gebaseerd op voor het gebied kenmerkende geologische fenomenen zoals aanwezigheid van ondoorlatende lagen. Vervolgens wordt voor ieder bodemvak (traject van 250 m) een kans van voorkomen berekend van de verschillende fenomenen. De kansen van voorkomen van de fenomenen worden vervolgens door een geoloog beoordeeld en aangepast indien hier vanuit het oogpunt van de ontstaansgeschiedenis reden voor is. De achterliggende reden hiervan is dat de dichtheid van het grondonderzoek onvoldoende is om mogelijke zandgeulen te lokaliseren terwijl die vanuit het oogpunt van de geologische ontstaansgeschiedenis wel mogen worden verwacht.

Ad 1b

Door de waterschappen is in het verleden veel grondonderzoek uitgevoerd voor het versterken en toetsen van dijken. Dit grondonderzoek is vaak niet opgenomen in DINO. Binnen het schematiseren van het faalmechanisme piping binnen VNK2 wordt deze informatie bekeken en wordt door de adviseur een keuze gemaakt over de aan te houden grondopbouw.

Voor dijkkring 38 is er aanvullend grondonderzoek uitgevoerd na de beoordeling door VNK2. Deze aanvullende informatie maakt het mogelijk om de invloed van deze aanvullende gegevens op de faalkansen te bepalen. De aanvullende gegevens zijn toegevoegd aan de dataverzameling en met behulp van de algoritmes zijn er nieuwe bodemopbouwscenario's bepaald.

Bij het opstellen van de ondergrondschematisaties van dijkkring 38 is het gebied onderverdeeld in zeven deelgebieden: A tot en met G. De ligging van deze gebieden is weergegeven in Figuur 1.



Figuur 1: Ligging van de deelgebieden in dijkring 38

2.1 Verschillen tussen de ondergrondschematisaties

Het aanvullende grondonderzoek is uitgevoerd in de deelgebieden C, D, E en F. Deze onderzoeksvraag richt zich daarom op deze deelgebieden. Allereerst wordt per deelgebied een overzicht gegeven van de verschillen tussen de ondergrondschematisaties.

Deelgebied C

Voor deelgebied C geldt dat naar het oordeel van de geoloog de kans op ondiepere zandlagen groter is dan op basis van alleen toepassen van de algoritmen mag worden verwacht. Dit resulteert in grotere fracties voor pipingscenario's 7 en 9. Dit gaat ten koste van de kans op voorkomen van pipingscenario's 8 en 10.

Het toevoegen van het aanvullende grondonderzoek heeft geleid tot kleine wijzigingen in de dikte van de zandlaag van pipingscenario's 4 en 9.

Deelgebied D

Voor deelgebied D geldt dat naar het oordeel van de geoloog de kans op een ondiepe doorlatende laag (fenomeen K) groter is. Dit resulteert in grotere fracties voor pipingscenario 9. Dit gaat ten koste van de kans op voorkomen van pipingscenario's 7 en 8. Het aanvullende grondonderzoek bevestigt de interpretatie van de geoloog.

Het toevoegen van het aanvullende grondonderzoek heeft geleid tot kleine wijzigingen in de dikte van de zandlaag van pipingscenario's 4 en 9. Tevens heeft is de D70 van de pipinggevoelige laag van 350 mu bijgesteld naar 320 mu op basis van het aanvullende grondonderzoek.

Deelgebied E

De geoloog heeft weinig veranderingen aangebracht in de kansen op voorkomen van de verschillende pipingscenario's in deelgebied E. Ook zijn er alleen kleine verschillen waar te nemen tussen de originele VNK database en de Case-database waarin het aanvullende grondonderzoek is meegenomen.

Het aanvullende grondonderzoek heeft alleen geleid tot kleine wijzigingen in de dikte van de zandlaag in pipingscenario 4.

Deelgebied F

De geoloog heeft weinig veranderingen aangebracht in kansen op voorkomen van de verschillende pipingscenario's in deelgebied F. Er is een kleine verschuiving naar het pipingscenario 9 ten koste van de andere scenario's. Ook zijn er alleen kleine verschillen waar te nemen tussen de originele VNK database en de Case-database waarin het aanvullende grondonderzoek is meegenomen.

Het aanvullende grondonderzoek heeft geleid tot een significant verschil in de dikte van de zandlaag in pipingscenario 4. Voor dit scenario is de dikte van 1,0 naar 1,8 m gegaan. Voor de overige scenario's zijn er kleine verschillen in de bovenste zandlaag.

2.2 Effect op faalkansen

Het doel van de eerste onderzoeksvraag is om te kijken of de wijzigingen van de geoloog en het toevoegen van het aanvullende grondonderzoek effect heeft op de faalkansen voor het mechanisme opbarsten en piping. In het project VNK2 is recentelijk een analyse gemaakt van dijkkring 38. Hierin is ook het mechanisme 'opbarsten en piping' uitvoerig geanalyseerd en beschouwd. De schematisatie die binnen VNK2 is afgeleid dient als basis voor het bepalen van de verschillen tussen de ondergrondscenario's.

De basisschematisatie van VNK2 is aangepast voor de vier verschillende ondergrondschematisaties. Hierbij zijn de fracties van de pipingscenario's in de schematisatie vervangen door de fracties uit de nieuwe ondergrondschematisaties. Tevens zijn de parameters die zijn aangepast door het nieuwe grondonderzoek (dikte bovenste zandlaag, D70 van deelgebied C etc) aangepast.

Voor elk van de dijkvakken in de bodemdeelgebieden C, D, E en F zijn de faalkansen berekend. De resultaten van deze berekeningen zijn weergegeven in Figuur 2 en Tabel 2. Op de verticale as van Figuur 2 zijn de herhalingstijden (in jaar) uitgezet. Op de x-as zijn de dijkvakken per bodemdeelgebied geclusterd.

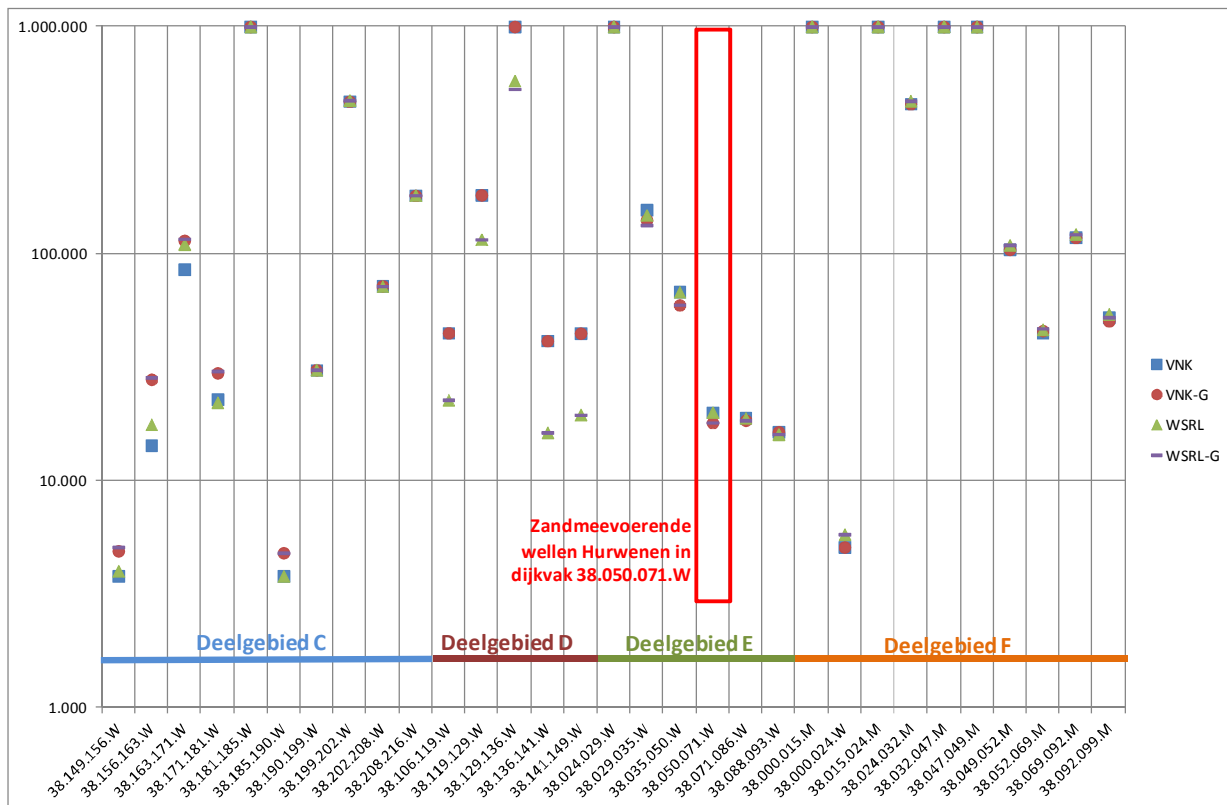
Voor deelgebied C is af te lezen dat de aanpassingen van de geoloog leidt tot kleinere faalkansen. Deze verschillen komen alleen voort uit veranderingen in de bodemvakkansen. De geoloog heeft vaak een hogere kans van voorkomen toegekend aan fenomeen K wat resulteert aan een hogere aanwezigheid van pipingscenario 4 en 9. Doordat de faalkansen van deze scenario's kleiner zijn dan de andere scenario's is er ook een afname in de faalkansen van het dijkvak waar te nemen. Verder heeft het toevoegen van het aanvullende grondonderzoek alleen geleid tot kleine aanpassingen van de dikte van de zandlagen. Dit resulteert in kleine verschillen in de faalkansen tussen de schematisatie zonder en met het aanvullende grondonderzoek.

Voor deelgebied D is af te lezen dat de aanpassingen door de geoloog niet leiden tot significante andere faalkansen. Door het toevoegen van het aanvullende grondonderzoek worden de faalkansen groter. Dit komt vooral door een verandering in de D70. Deze is door het aanvullende onderzoek aangepast van 350 mu naar 320 mu, wat direct resulteert in een grotere faalkans.

In deelgebieden E en F zijn nauwelijks verschillen waar te nemen. Dit komt omdat de geoloog nauwelijks aanpassingen heeft gedaan. Het aanvullende grondonderzoek heeft voor pipingscenario 4 in deelgebied F wel

geleid tot een dikkere zandlaag. Dit leidt voor dit scenario wel tot grotere faalkansen maar omdat dit scenario niet maatgevend is voor het mechanisme Opbarsten en piping binnen de dijkvakken heeft het weinig effect op de faalkans van het dijkvak.

Samenvattend is te concluderen dat de aanpassingen van de geoloog weinig tot geen invloed heeft op de faalkansen van dijkkring 38. Aanvullend grondonderzoek met zeefkrommen kan wel een groot effect hebben op de faalkans.



Figuur 2: De faalkansen voor Opbarsten en piping van de dijkvakken voor de verschillende ondergrondschematisaties

Tabel 2: De faalkansen voor Opbarsten en piping van de dijkvakken voor de verschillende ondergrondschematisaties

Dijkvak	Deelgebied	Faalkansen per ondergrondschematisatie			
		VNK	VNK-HVG	CASE	CASE-HVG
38.149.156.W	C	1 / 3.800	1 / 4.900	1 / 4.000	1 / 5.100
38.156.163.W	C	1 / 14.300	1 / 27.900	1 / 17.700	1 / 28.500
38.163.171.W	C	1 / 85.100	1 / 114.100	1 / 109.800	1 / 116.200
38.171.181.W	C	1 / 22.800	1 / 29.800	1 / 22.100	1 / 30.400
38.181.185.W	C	< 1 / 1.000.000	< 1 / 1.000.000	< 1 / 1.000.000	< 1 / 1.000.000
38.185.190.W	C	1 / 3.800	1 / 4.800	1 / 3.800	1 / 4.800
38.190.199.W	C	1 / 30.700	1 / 30.700	1 / 30.800	1 / 30.800
38.199.202.W	C	1 / 468.300	1 / 468.300	1 / 473.300	1 / 473.300
38.202.208.W	C	1 / 71.900	1 / 71.900	1 / 71.900	1 / 71.900
38.208.216.W	C	1 / 180.300	1 / 180.300	1 / 180.300	1 / 180.300
38.106.119.W	D	1 / 44.700	1 / 44.700	1 / 22.700	1 / 22.700
38.119.129.W	D	1 / 181.100	1 / 181.100	1 / 115.200	1 / 115.200
38.129.136.W	D	< 1 / 1.000.000	< 1 / 1.000.000	1 / 577.300	1 / 530.200
38.136.141.W	D	1 / 41.300	1 / 41.300	1 / 16.300	1 / 16.300
38.141.149.W	D	1 / 44.600	1 / 44.600	1 / 19.500	1 / 19.500
38.024.029.W	E	< 1 / 1.000.000	< 1 / 1.000.000	< 1 / 1.000.000	< 1 / 1.000.000
38.029.035.W	E	1 / 155.700	1 / 140.700	1 / 147.700	1 / 133.400
38.035.050.W	E	1 / 67.800	1 / 59.400	1 / 67.800	1 / 59.400
38.050.071.W	E	1 / 20.000	1 / 18.000	1 / 20.000	1 / 18.000
38.071.086.W	E	1 / 18.900	1 / 18.400	1 / 18.900	1 / 18.400
38.088.093.W	E	1 / 16.400	1 / 16.400	1 / 16.000	1 / 16.000
38.000.015.M	F	< 1 / 1.000.000	< 1 / 1.000.000	< 1 / 1.000.000	< 1 / 1.000.000
38.000.024.W	F	1 / 5.100	1 / 5.100	1 / 5.800	1 / 5.800
38.015.024.M	F	< 1 / 1.000.000	< 1 / 1.000.000	< 1 / 1.000.000	< 1 / 1.000.000
38.024.032.M	F	1 / 456.400	1 / 456.400	1 / 470.700	1 / 470.700
38.032.047.M	F	< 1 / 1.000.000	< 1 / 1.000.000	< 1 / 1.000.000	< 1 / 1.000.000
38.047.049.M	F	< 1 / 1.000.000	< 1 / 1.000.000	< 1 / 1.000.000	< 1 / 1.000.000
38.049.052.M	F	1 / 104.200	1 / 104.200	1 / 109.000	1 / 109.000
38.052.069.M	F	1 / 44.700	1 / 45.700	1 / 46.400	1 / 46.800
38.069.092.M	F	1 / 117.800	1 / 117.600	1 / 121.600	1 / 121.300
38.092.099.M	F	1 / 52.300	1 / 50.500	1 / 54.200	1 / 52.400

3 VRAAG 2: LEIDT HET GRONDONDERZOEK BIJ DE WELLEN TOT EEN ANDERE SCHEMATISATIE

Tijdens het hoogwater van januari 2011 zijn er zandmeevoerende wellen opgetreden bij Hurwenen in dijkkring 38. Naar aanleiding van de zandmeevoerende wellen heeft het waterschap Rivierenland in juli 2012 op deze locaties een uitgebreid grondonderzoek laten uitvoeren om te achterhalen wat de oorzaak van het probleem is. In de toetsing en het project VNK2 is voor deze locatie namelijk geconcludeerd dat er ruim wordt voldaan aan de eisen met betrekking tot piping.

In dit hoofdstuk wordt specifiek gekeken of de schematisatie van de situatie bij de zandmeevoerende wellen in VNK2 aangepast zou worden op basis van het aanvullende grondonderzoek Hurwenen. Hierbij wordt gefocust op de wellen bij dijkpaal RW065. Op deze locatie zijn 2 wellen opgetreden. In (Niemeijer, 2011) wordt van deze wellen de volgende omschrijving gegeven:

“Ter hoogte van dijkpaal RW065 zijn 2 zandmeevoerende wellen opgetreden. Eén van deze wellen was in een sloot, op circa 50 m afstand van de dijk, de ander tussen twee fruitbomen op circa 25 m van de dijk. Deze laatste wel lag aan het eind van de pipingberm. Beide wellen gaven een grote kwelstroom en zijn opgekist tot 1 m boven de sloot bodem respectievelijk 0,7 m boven maaiveld. Bij beide wellen is naar schatting 4 à 5 m³ zand uitgespoeld. Het maaiveld rond de sloot was opgebeld en niet begaanbaar tijdens het hoogwater.”



Figuur 3: Foto's van de zandmeevoerende wellen bij dijkpaal RW065 (Niemeijer, 2011)

In het grondonderzoek (Niemeijer, 2011) (Westerhof, 2013) (Oudega, 2013) is nader onderzoek gedaan naar de situatie bij dijkpaal RW065. In het grondonderzoek zijn een groot aantal sonderingen, mechanische boringen en handboringen geplaatst. Tevens zijn peilbuizen geplaatst en zijn er monsters genomen voor het vaststellen van het volumegewicht en de korrelverdelingen. In Bijlage 1 is een overzicht gegeven van de dichtheid van het grondonderzoek ter plaatse van dijkpaal RW065.

In VNK2 is deze locatie geschematiseerd in het dijkvak 38.050.071.W (dijkkring 38, van dijkpaal 050 tot 071, langs de Waal). Binnen VNK2 is een faalkans van 1/18.000 per jaar berekend voor het mechanisme Opbarsten en piping van dit dijkvak.

In de schematisatie van het dijkvak is gekeken naar het gemiddelde van het dijkvak. Bij de schematisatie is er van uitgegaan dat over de gehele lengte van het dijkvak een deklaag aanwezig is en dat het kwelslootpeil stijgt tot aan het maaiveldniveau binnendijs. Voor het bepalen van de kwelweglengte zijn de in- en uitredelijnen van het waterschap aangehouden.

Aan het dijkvak 38.050.071.W zijn de bodemvakken E011 t/m E018 gekoppeld. Deze bodemvakken hebben in de ondergrondschematisatie van Deltares de kansen op voorkomen gekregen zoals zijn aangegeven in Tabel 3.

Tabel 3: Kansen op voorkomen van de ondergrondscenario's zoals aangeleverd door Deltares/VNK2

Bodemvak	pip_7	pip_8	pip_9	pip_10
E011	21,15%	21,47%	55,00%	2,39%
E012	22,56%	22,90%	52,00%	2,54%
E013	24,99%	23,41%	49,00%	2,60%
E014	19,60%	18,36%	60,00%	2,04%
E015	18,33%	18,60%	61,00%	2,07%
E016	17,86%	18,13%	62,00%	2,01%
E017	19,27%	19,56%	59,00%	2,17%
E018	21,12%	20,59%	56,00%	2,29%

Bij het schematiseren van de deklaag is geconcludeerd dat over het hele dijkvak een deklaag aanwezig is. De dikte van deze deklaag is ca 4 m. Op basis van de boringen is door de geotechnicus beoordeeld dat er in de deklaag geen watervoerende zandlagen zitten. Hierdoor wordt de kans op voorkomen van ondergrondscenario pip_9 herverdeeld over de overige scenario's. Door de aanwezigheid van de deklaag en het niet voorkomen van de watervoerende zandlaag in de deklaag zijn de door Deltares/VNK2 afgeleide kansen op voorkomen vertaald naar de kansen op voorkomen zoals aangegeven in Tabel 4.

Tabel 4: Kansen op voorkomen van de ondergrondscenario's zoals aangeleverd door Deltares/VNK2

Bodemvak	pip_2	pip_3	pip_4	pip_5
E011	47,00%	47,70%	0,00%	5,30%
E012	47,00%	47,70%	0,00%	5,30%
E013	49,00%	45,90%	0,00%	5,10%
E014	49,00%	45,90%	0,00%	5,10%
E015	47,00%	47,70%	0,00%	5,30%
E016	47,00%	47,70%	0,00%	5,30%
E017	47,00%	47,70%	0,00%	5,30%
E018	48,00%	46,80%	0,00%	5,20%

Op basis van de gegevens uit de derde toetsronde en de beschikbare grondonderzoeken is er binnen het project VNK2 tot een schematisatie gekomen voor de pipingscenario's pip_2, pip_3 en pip_5. De schematisatie is opgenomen in Tabel 5.

Tabel 5: Schematisatie van het mechanisme Opbarsten en piping voor dijkvak 38.050.071.W

Parameter	Pip_2		Pip_3		Pip_5	
	Gem	St dev / v.c.	Gem	St dev / v.c.	Gem	St dev / v.c.
Dikte cohesieve deklaag D_0	4,23	0,39	4,23	0,39	4,23	0,39
Dikte bovenste zandlaag D_1	2,15	0,5	2,15	0,5	2,15	0,5
Dikte onderste zandlaag D_2	31	0,065	61	0,066	72	0,083
Kwelweglengte L	164,08	0,04	164,08	0,04	164,08	0,04
Rolweerstandshoek "theta"	43	3	43	3	43	3
Korrel diameter bovenste zandlaag d_70	0,00032	0,15	0,00032	0,15	0,00032	0,15
Constante van White "eta"	0,3	0,1	0,3	0,1	0,3	0,1
Nat vol. gew. cohesieve deklaag "gamma"_nat	18,69	0,01	18,69	0,01	18,69	0,01
Vol. gew. van zandkorrelmateriaal "gamma"_k	27	0,01	27	0,01	27	0,01
Modelfactor opbarsten m_o	1	0,1	1	0,1	1	0,1
Dempingsfactor m_h	0,8	0,1	0,8	0,1	0,8	0,1
Doorlatendheid bovenste zandlaag k_z;b	0,000174	1,887	0,000174	1,887	0,000174	1,887
Doorlatendheid onderste zandlaag k_z;o	0,00046	0,618	0,000424	0,669	0,000283	0,606
Doorlatendheid zandlaag buitendijks k_z;u	0,000174	1,887	0,000174	1,887	0,000174	1,887
Modelfactor Mpiping m_M	1	0,08	1	0,08	1	0,08
Breedte bodemvak B	250		250		250	
Modelfout in locale waterstand	0	0	0	0	0	0
Kwelslootpeil	3	0,1	3	0,1	3	0,1
Volume gewicht van water "gamma"_w	10		10		10	

Zoals gesteld is voor het dijkvak 38.050.071.W een faalkans van 1/18.000 per jaar berekend. Deze faalkans lijkt in eerste instantie niet overeen te komen met het optreden van zandmeevoerende wellen bij een waterstand met een overschrijdingsfrequentie van 1/10 per jaar. Hierbij wordt opgemerkt dat het optreden van zandmeevoerende wellen niet gelijk is aan het falen door piping, maar de wellen geven wel een goede indicatie van de sterkte van de dijk.

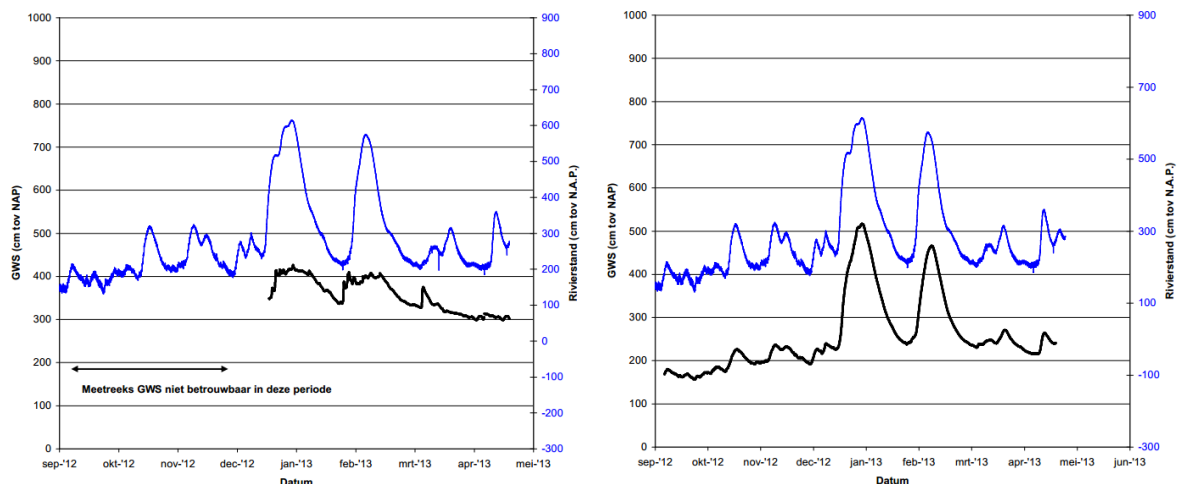
In onderzoeksvraag 2 wordt het aanvullende grondonderzoek gebruikt om de situatie bij de zandmeevoerende wel te schematiseren en te kijken in hoeverre deze afwijkt van de schematisatie uit VNK2.

Deklaag

In de VNK2-schematisatie is voor de dikte van de deklaag 4,23 m (v.c. 0,39) aangehouden. In het aanvullende grondonderzoek wordt de schematisatie uit VNK2 bevestigd. In het aanvullende grondonderzoek zijn handboringen uitgevoerd tot maximaal 3 m diep. Deze grondboringen laten allemaal een deklaag van klei zonder tussenliggende zandlagen zien. De boringen zijn vanwege uitvoeringstechnische redenen niet tot aan de onderkant van de deklaag gegaan waardoor de boringen niet gebruikt kunnen worden voor het bepalen van de dikte van de deklaag.

Voor het bepalen van de dikte van de deklaag kan gebruik worden gemaakt van de mechanische boringen en sonderingen. Deze geven aan dat de onderkant van de deklaag op ca NAP -2,0 m ligt. Aangezien het maaiveld op ca NAP +2,5 m ligt, kan worden gesteld dat de geschematiseerde dikte van deklaag overeenkomt met het aanvullende grondonderzoek.

In de mechanische boring RW065+50_B-34_BIT is echter wel een tussenliggende zandlaag waargenomen tussen NAP +2,8 m en NAP +1,3 m. Aangezien de zandlaag alleen in deze boring is aangetroffen is het onduidelijk of dit een watervoerende laag is. In het peilbuisonderzoek is een filter in deze zandlaag geplaatst.



Figuur 4: Respons grondwaterstand RW065+50 links respons tussenliggende zandlaag, rechts respons zandlagen onder deklaag (Oudega, 2013)

De tussenliggende zandlaag toont een veel lagere respons op de rivierwaterstand dan de diepere zandlagen. Aangezien de tussenliggende zandlaag maar in één boring is aangetroffen en deze een lage respons op de rivierwaterstand vertoont, wordt aangenomen dat het geen watervoerende laag betreft. Het niet meenemen van pipingscenario 4 lijkt daarmee een goede keuze.

Het natte volume gewicht van de deklaag is in de schematisatie aangehouden op 18,69 kN/m³ met een v.c. van 0,01. Op basis van het aanvullende grondonderzoek kan worden gesteld dat dit enigszins hoog is. Er zijn ook veenlagen te zien in enkele boringen. Hierdoor is een nat volume gewicht van 16 kN/m³ met een v.c. van 0,1 een meer realistische schematisering.

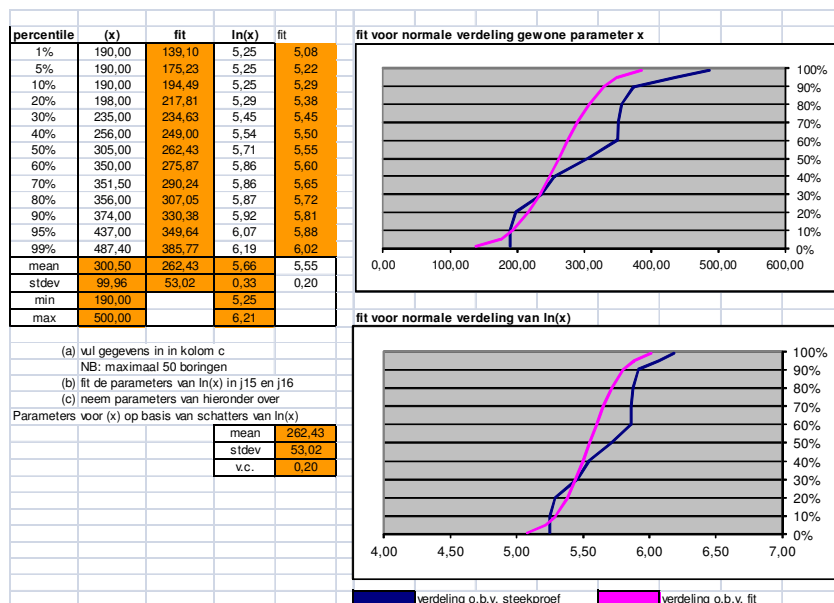
Kwelweglengte

In de schematisatie is een kwelweglengte van 164 m aangehouden. Deze lengte is gebaseerd op de in- en uittredelijnen van het waterschap. Een groot deel van de kwelweglengte wordt opgemaakt door het voorland. Het voorland kan worden meegenomen in de kwelweglengte als de dikte van de deklaag 1,5 m is. In het aanvullende grondonderzoek is de deklaag tussen de buitenteen en de intredeliijn onderzocht.

De boringen laten zien dat de deklaag in het voorland voldoende dik is om te worden meegenomen in de kwelweglengte. Ook de boringen die zijn genomen in de Hurwenensche Kil laten een deklaag van voldoende dikte zien. De kwelweglengte is juist geschematiseerd.

Korrel diameter D70

In de schematisatie een D70 aangehouden van 320 µm met een v.c. van 0,15. In het aanvullende grondonderzoek zijn 13 zeefkrommen beschikbaar. Wanneer deze worden gebruikt voor het bepalen wordt de D70 kleiner: 262 µm met een v.c. van 0,20. In Figuur 5 is de fit van de D70 op het aanvullende grondonderzoek weergegeven.



Figuur 5: Schematisatie van de D70 op basis van het aanvullende grondonderzoek

Het aanvullende grondonderzoek laat een afwijkende korreldiameter D70 zien van de schematisatie op basis van DINO. Veranderingen in de D70 kunnen een groot effect hebben.

Kwelslootpeil

In de schematisatie is het kwelslootpeil gelijk gehouden aan het maaiveldniveau. In Figuur 3 is te zien dat de sloten helemaal vol staan bij hoogwater. Dit is komt overeen met de schematisatie.

Dempingsfactor

In de schematisatie is een dempingsfactor van 0,8 aangehouden. De peilbuismetingen laten zien dat dit een juiste waarde is.

Resultaat

De aanpassingen in het natte volumegewicht van de deklaag en de D70-korreldiameter leiden tot een faalkans van 1/880 per jaar. Door de wijzigingen wordt de faalkans dus een factor 20 groter. De verandering in faalkans komt bijna geheel door de aanpassing van de D70. Indien alleen de D70 wordt aangepast wordt een faalkans van 1/890 per jaar berekend.

De faalkansberekeningen met PC-Ring voor Opbarsten en piping zijn zeer gevoelig voor de D70 parameter. Deze parameter is echter ook zeer lastig te bepalen vanwege de heterogeniteit in de ondergrond. Het baseren van deze parameter op lokaal grondonderzoek is daarom essentieel.

Conclusies

De volgende conclusies kunnen worden getrokken op basis van het voorliggende onderzoek. Hierbij wordt opgemerkt dat het conclusies betreffen voor de case dijkkring 38.

Onderzoeksvraag 1: Wat is de meerwaarde van het toevoegen van extra informatie uit het archief van het waterschap aan de schematisatie van de ondergrond en de controle door de geoloog met betrekking tot de faalkans voor het mechanisme piping?

Het toevoegen van boringen uit het archief van waterschap Rivierenland heeft nagenoeg geen invloed op de berekende faalkansen voor het mechanisme Opbarsten en piping. Het toevoegen van de boringen heeft nauwelijks effect gehad op de korrelgrootte, dikte en doorlatendheden van de zandlagen. Hierdoor zijn de faalkansen bijna niet veranderd.

Alleen voor bodemdeelgebied D heeft het grondonderzoek uit het archief effect op de faalkans. Dit komt omdat op de korreldiameter D70 op basis van de aanvullende informatie is aangepast.

De controle door de geoloog heeft nagenoeg geen invloed op de berekende faalkansen. De geoloog beoordeelt op basis van gebieds- en ontstaansgeschiedenis of er aanpassingen nodig zijn. Over het algemeen leidt de controle van de geoloog tot een vergroting van de kans op een ondiep gelegen zandlaag (fenomeen K, pipingscenario 4). Echter doordat de faalkansen die voor pipingscenario 4 veelal significant kleiner zijn dan de andere pipingscenario's heeft een grotere kans op voorkomen nagenoeg geen effect op de faalkans.

Onderzoeksvraag 2: Leidt het aanvullende grondonderzoek 'Hurwenen' tot aanpassingen in de schematisatie van het faalmechanisme en leidt dit tot faalkansen die meer overeenkomen met het optreden van zandmeevoerende wellen bij waterstanden met een overschrijdingsfrequentie van 1/10 per jaar.

Het aanvullende grondonderzoek Hurwenen bevestigt de schematisatie van nagenoeg alle parameters zoals die is aangehouden in het project VNK2. Alleen de D70 korreldiameter wordt op basis van de uitgevoerde zeefkrommen aanzienlijk kleiner. De D70 korreldiameter wordt op basis van de aanvullende zeefkrommen op 262 mu vastgesteld met een v.c. van 0,20. De D70 die binnen het project VNK2 is aangehouden was 320 mu met een v.c. van 0,15. Door deze aanpassing in de D70 wordt de berekende faalkans voor de schematisatie bij de wellen een factor 20 groter dan in het project VNK2 is berekend.

Samengevat kan worden geconcludeerd dat voor dijkkring 38 het beschikbare grondonderzoek in DINO gecombineerd met de AHN2, REGIS II, zandbanenkaart en de boringen van de Universiteit van Utrecht voldoende informatie bevatten voor de schematisatie van de ondergrond. Aanvullende boringen uit het archief en de controle van de geoloog bleken geen meerwaarde te hebben.

Voor de vaststelling van belangrijke parameters zoals de D70 korreldiameter is aanvullend grondonderzoek wel belangrijk omdat deze informatie vaak ontbreekt in DINO. Omdat kleine wijzigingen in de D70 grote effecten hebben op de berekende faalkansen is een goede vaststelling van de D70 essentieel.

Referenties

K.M. Cohen, E. Stouthamer, H.J. Pierik, A.H. Geurts (2012) Digitaal Basisbestand Paleogeografie van de Rijn-Maas Delta. Dept. Fysische Geografie. Univ Utrecht. Digitale Dataset.

J. Niemeijer (2011) Hoogwater januari 2011 – Onderzoek zandmeevoerende wellen – Waterschap Rivierenland Aracadis, nr 075609626:0.5, juli 2011

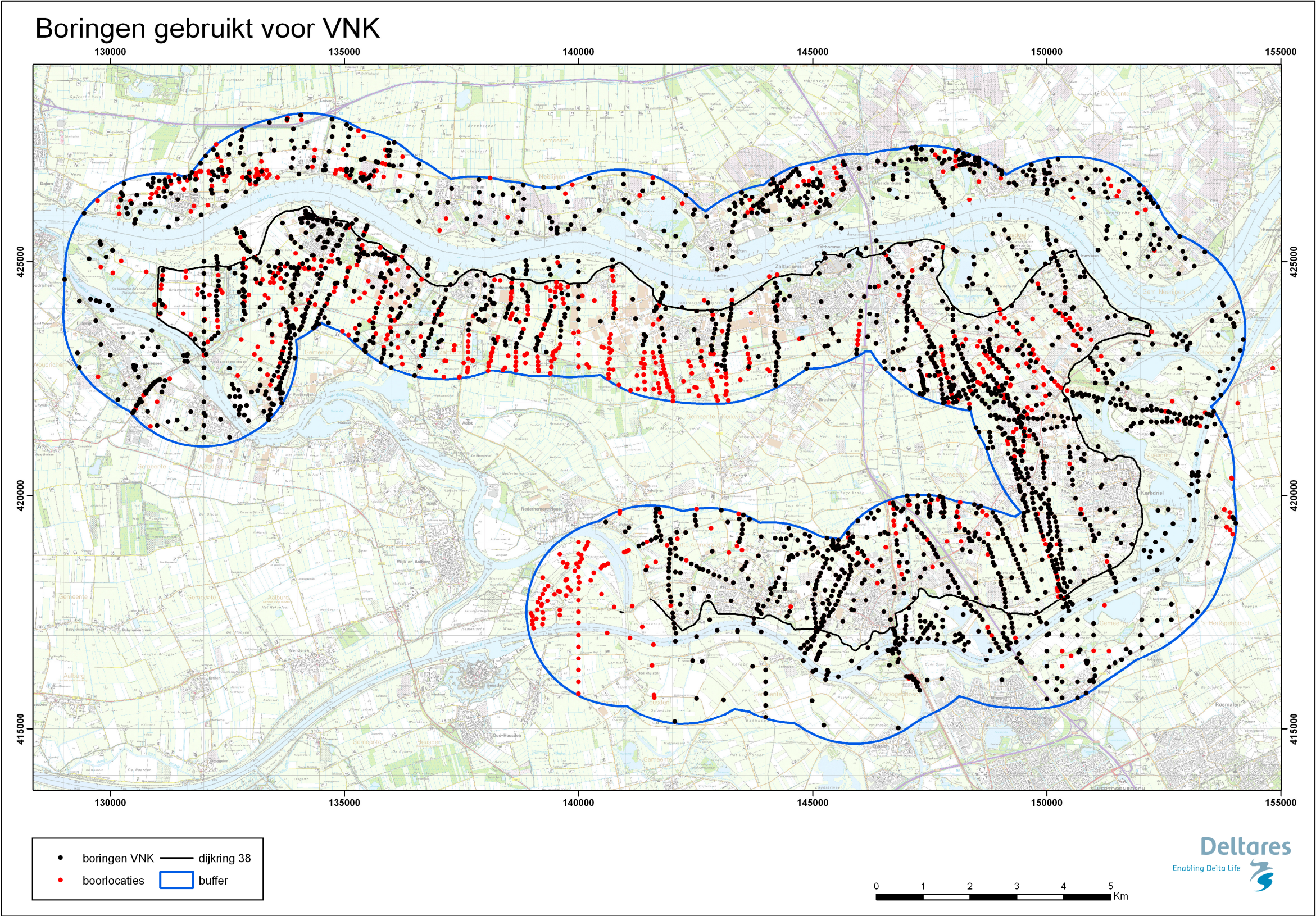
R.M. Oudega (2013), Grondwatermonitoring – Pipingonderzoek verlengde 3^e toetsronde, Waterschap Rivierenland, periode september 2012 t/m april 2013
Wiertsema en Partners, nr R24561, juli 2013

H.J.H. Westerhof (2013) Piping verlengde 3^e toetsronde, Dijkkring 38 Waaldijk Kil Hurwenen te Zaltbommel
Wiertsema en Partners, nr R24569, juli 2013

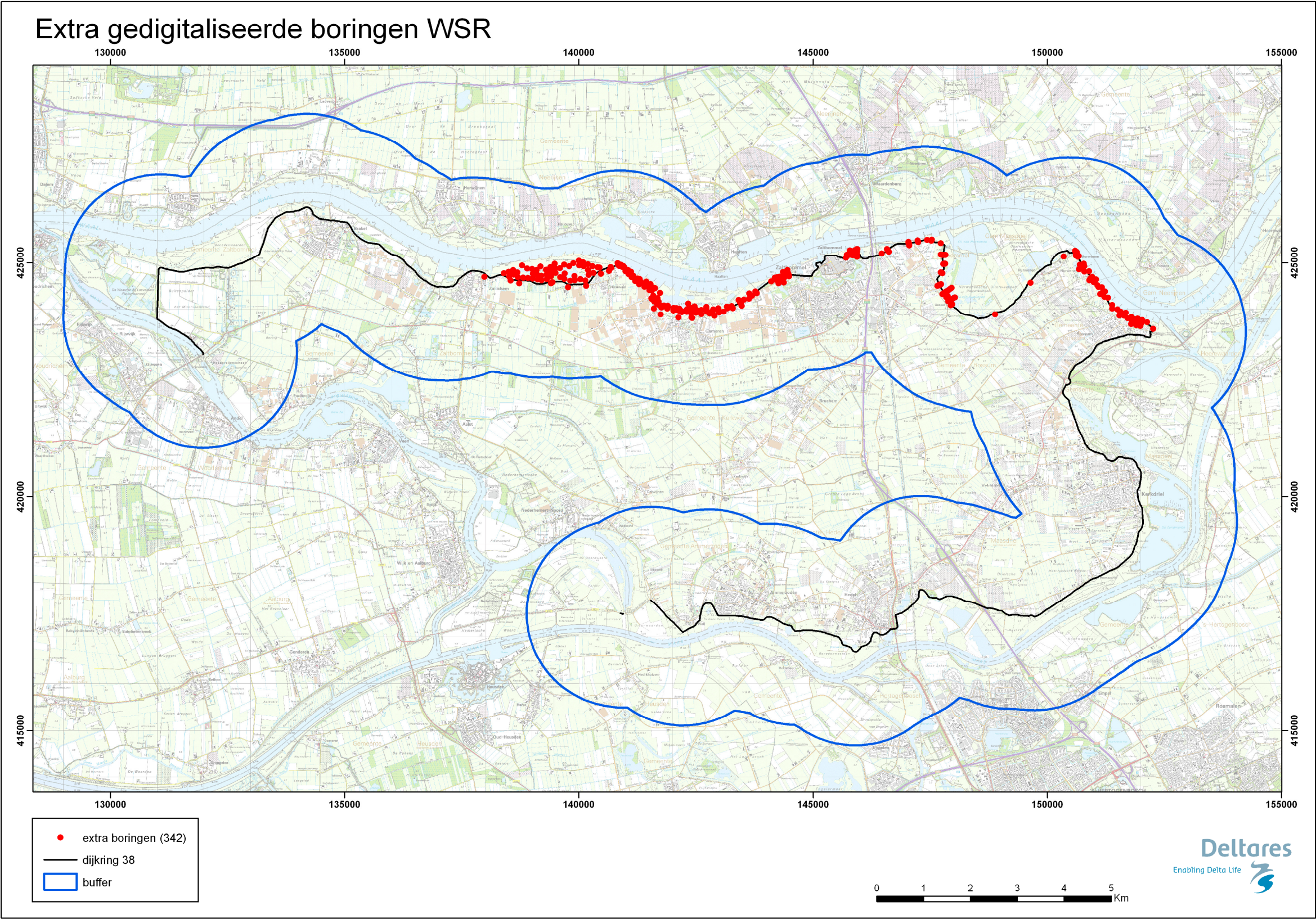
BIJLAGE 1

BESCHIKBARE GRONDONDERZOEK

Brondata 1: DINO aangevuld met boringen Universiteit Utrecht



Brondata 2: Aanvullende boringen uit het archief van Waterschap Rivierenland



Brondata 3: Gedetailleerd grondonderzoek naar de wellen bij Hurwenen

