Toetsrapport
Grote Kerkvlietkade noord en zuid
kadevakken 329 en 330



Toetsing op veiligheid conform de
Leidraad toetsen op veiligheid regionale waterkeringen

HOOGHEEMRAADSCHAP
DE STICHTSE
RIJNLANDEN

Toetsrapport
Grote Kerkvlietkade noord en zuid
Kadevakken 329 en 330

Toetsing op veiligheid conform
Leidraad toetsen op veiligheid regionale waterkeringen

Uitgevoerd door:
Iv-Infra b.v.
Postbus 135
3360 AC Sliedrecht
telefoon: +31 88 943 3200
website: www.iv-groep.nl

In opdracht van:
Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden (HDSR)
Waterkeringbeheer
Postbus 550
3990 GJ Houten
Telefoon: 030 634 57 00
Fax: 030 634 59 97
website: www.hdsr.nl
email: post@hdsr.nl

Inhoudsopgave

Inhoudsopgave iv

1 Inleiding 1

1.1 Algemeen 1
1.2 Leeswijzer 1

2 Gebiedsbeschrijving 2

2.1 Algemeen 2
2.2 De waterkering 2
2.3 De boezem 3
2.4 Visuele inspectie 3

3 Uitgangspunten 5

3.1 Normering en stabiliteitsfactor 5
3.2 Oppervlakte en hoogteligging 6
3.3 Kadevakindeling 6
3.4 Hydraulische randvoorwaarden 6
3.5 Overige randvoorwaarden 9

4 Geometrie, ondergrond en maatgevende profielen 11

4.1 Landmeetkundig onderzoek 11
4.2 Grondmechanisch onderzoek 11
4.3 Laboratoriumonderzoek 15
4.4 Waterspanningen 16

5 Toetsing op veiligheid 17

5.1 Hydraulische kortsluiting 17
5.2 Opdrijven en opbarsten 18
5.3 Overlopen en overslag 18
5.4 Piping / Heave (STPH) 19
5.5 Macrostabiliteit binnentalud 20
5.6 Macrostabiliteit buitentalud 23
5.7 Microstabiliteit 25
5.8 Bekledingen 26
5.9 Stabiliteit voorland 26
5.10 Waterkerende objecten 26
5.11 Niet-Waterkerende Objecten (NWO's) 26

6 Conclusie 31

6.1 Overzicht toetsing 31
6.2 Aanbevelingen 32

Literatuur 33

Bijlagen 34

Bijlage A – Overzichtskaart 34
Bijlage B – Kadevakindeling 35
Bijlage C – Bestuurskaarten peilbesluit Lopikerwaard (selectie) 36
Bijlage D – Landmeetkundig onderzoek 37
Bijlage E – Leggerprofielen kadevak 329 en 330 38
Bijlage F – Maatgevende profielen 39
Bijlage G – Beschikbaar grondonderzoek 40
Bijlage H – Overzichtskaart en resultaten hoogtetoets (HT) 41
Bijlage I – Overzichtskaart microstabiliteit (STMI) 42
Bijlage J – Overzichtskaart en berekening piping en heave (STPH) 43
Bijlage K – Overzichtskaart en resultaten stabiliteit binnentalud (STBI) 44
Bijlage L – Overzichtskaart, restbreedte analyse en resultaten stabiliteit buitentalud (STBU) 45
Bijlage M – KLIC meldingen 46
Bijlage N – Foto impressie veldbezoek 47
Bijlage O – Resultaten afleiding schematiseringsfactoren nadere toetsing 48

1 Inleiding

1.1 Algemeen

De zorg voor veilige dijken is één van de kernpunten van het Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden (HDSR). Een belangrijk onderdeel daarvan is de veiligheidstoetsing van de regionale keringen.

In de Provinciale Waterverordening HDSR [1] zijn veiligheidsnormen toegekend aan regionale keringen en is HDSR belast met de periodieke toetsing van hun regionale keringen. In verband met deze verordening heeft HDSR het Groot OnderhoudsProgramma (GOP) regionale keringen opgezet.

De veiligheidstoetsing is uitgevoerd conform de 'Leidraad Toetsen Regionale Waterkeringen' van de Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer, STOWA [3].

Dit rapport bevat de toetsing van de Grote Kerkvlietkade noord kadevak 329 en Grote Kerkvlietkade zuid kadevak 330. Het Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden heeft Iv-Infra b.v. de opdracht gegeven een toetsing uit te voeren van de betreffende kade. Er is conform de opdracht getoetst op de volgende faalmechanismen: hoogte, stabiliteit binnenwaarts, stabiliteit buitenwaarts, piping en heave, microstabiliteit, waterkerende kunstwerken en niet waterkerende objecten.

Na het uitvoeren van de toetsing in november 2016 is besloten om de toetsing te verfijnen omdat nog kansen werden gezien voor het goedkeuren van kadevakken op stabiliteit binnenwaarts met nieuw grondonderzoek. Er is aanvullend grondonderzoek uitgevoerd zodoende dat een beter beeld wordt verkregen van de bodemopbouw en de schematiseringen verbeterd kunnen worden. De nadere toetsing op STBI is uitgevoerd voor de kadevakken 329 [0375-0900], 329 [1443-1564], 330 [0000-0220] en 330 [1313-1538]. Onderdeel van de verfijnde toets is het afleiden van de schematiseringsfactor per kadevak.

Bij de oorspronkelijke toetsing viel het op dat bij metrering [0375-0900] van kadevak 329 een ondiepe zandlaag aanwezig is. Hierop is geadviseerd een nieuw kadevak te definiëren door de afwijkende grondopbouw ten opzichte van de oorspronkelijke kadevakken 329 [0000-0485] en 329 [0485-1312]. Kadevak 329 [0375-0900] behoorde dus niet tot de oorspronkelijke kadevakindeling. De oorspronkelijke kadevakindeling is gebaseerd op de verschillende peilgebieden langs de kades van de Kerkvliet. Bij de strekking 329 [0375-0900] is een zeer ondiepe zandlaag gelegen waarvan uitgegaan moet worden dat deze in verbinding staat met het pleistocene zand volgens de resultaten uit het aanvullend uitgevoerde grondonderzoek.

1.2 Leeswijzer

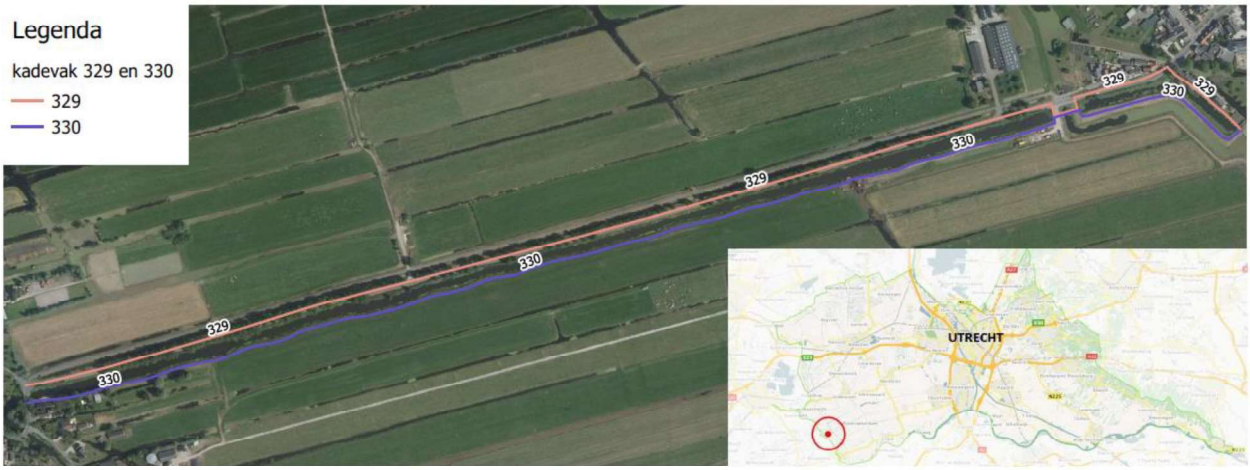
Hoofdstuk 2 bevat de beschrijving van het gebied en de resultaten van de visuele inspectie. In hoofdstuk 3 worden alle uitgangspunten en randvoorwaarden voor de toetsing opgesomd. De resultaten van het grondonderzoek, het laboratoriumonderzoek en het grondwater-onderzoek zijn weergegeven in hoofdstuk 4. De eigenlijke toetsing staat in hoofdstuk 5 en de conclusie en aanbevelingen die daaruit voortkomen vult hoofdstuk 6.

2 Gebiedsbeschrijving

2.1 Algemeen

Het projectgebied Grote Kerkvlietkade noord (kadevak 329) en zuid (kadevak 330) bevindt zich langs de westzijde van het beheergebied Lopikerwaard van HDSR, grotendeels in de provincie Zuid-Holland en het oostelijke einde in de provincie Utrecht. De kade betreft een regionale waterkering langs de noord- en zuidzijde van de boezemwatergang Grote Kerkvliet. De strekking bevindt zich langs de Slangeweg te Vlist en is gelegen tussen de kernen Vlist en Polsbroek in de gemeente Krimpenerwaard.

In het Peilbesluit Lopikerwaard [4] wordt aangegeven dat het projectgebied grotendeels in een gebied met veen als toplaag is gelegen. Voor een beperkt deel van het projectgebied ter hoogte van Polsbroek bestaat de bodem uit klei op veen [5].



2.2 De waterkering

Het projectgebied omvat een totale trajectlengte van 3.102 m en bestaat uit twee kadevakken, namelijk:

- Kadevak 329 (noordzijde) lengte: 1.564 m;
- Kadevak 330 (zuidzijde) lengte: 1.538 m.

In bijlage A is een overzichtskaart van het beheergebied van HDSR opgenomen met rood omcirkeld de locatie van de kadevakken.

Kadevak 329 bevindt zich aan de noordzijde van de watergang. De huidige hoogte van de kering bedraagt circa NAP -0,20 m. Op de kruin is een erftoegangsweg aanwezig en naast de teensloot aan de binnenzijde van de waterkering ligt een fietspad. De erftoegangsweg is voorzien van openbare verlichting. De bekleding van de kade bestaat uit gras en in het buitentalud is een rietkraag aanwezig. Over vrijwel de gehele strekking van het kadevak bevinden zich bomen op het binnen- en buitentalud. Over een beperkte strekking aan de oostzijde van dit kadevak zijn woningen op het binnentalud aanwezig. In het oostelijke deel van dit kadevak bevinden zich houten en stalen damwandconstructies in het buitentalud.

Kadevak 330 bevindt zich aan de zuidzijde van de watergang en betreft grotendeels een groene kade met een kruinbreedte variërend tussen 1,0 en 2,0 meter. De hoogte bedraagt circa NAP -0,45 m. De bekleding van de kade bestaat uit gras en in het buitentalud is een rietkraag aanwezig. Over circa 25% van de strekking is een teensloot aan de binnenzijde

aanwezig. Langs het oosten van de kade geldt aan de binnenzijde van de kering een afwijkend peilbesluit. Aan de westzijde bevat de kade een perceel met een kerende constructie in het buitentalud en woning op de kruin en het binnentalud.

In het westen van het projectgebied wordt de boezemwatergang met een betonnen brug gekruist door de Oost Vlisterdijk.

Ten oosten van de woning Bonrepas 29 en in het oosten van het projectgebied wordt de kade aan de zuidzijde gekruist door twee inlaten (IN0007, IN0006) die een verbinding vormen tussen de boezem en een sloot in het achterland. Inlaat IN0006 is bedoeld als vispassage (VP0307).

In het oosten van het projectgebied wordt de boezemwatergang en de Slangeweg gekruist door een duiker (DK3433) met stuw. Deze duiker verbindt de watergangen PN00705 aan de zuidzijde en PN01262 aan de noordzijde.

In de boezemwatergang wordt de eerder genoemde duiker gekruist door een sifon (SY5044). Op dezelfde locatie watert de boezemwatergang door middel van een afsluitbare duiker (DK5045) af op watergang PN00705.

2.3 De boezem

De waterkering beschermt het achterland tegen overstromen vanuit de boezemwatergang Grote Kerkvliet. De watergang heeft een vast peil van NAP-1,00 m.

2.4 Visuele inspectie

De visuele inspectie bestaat uit de visuele inspectie zoals opgenomen in bijlage 8 van het rapport “Kijk op de dijk” [5] en een veldbezoek door Iv-Infra op 9 september 2016. De visuele inspectie is uitgevoerd conform de richtlijnen, verwoord in de Leidraad toetsen [3]. In bijlage N is een foto impressie van het veldbezoek toegevoegd. Bij de inspectie is extra aandacht besteed aan de volgende aspecten:

- Inventarisatie van afwijkingen in de geometrie van de boezemkade.
- Aanwijzingen voor instabiliteit, zoals scheuren, verzakkingen etc. in het kadeprofiel.
- Lokaliseren van bijzonderheden, zoals damwanden, niet waterkerende objecten (bomen, bebouwing, kabels en leidingen, etc.).
- (recente) Aanpassingen van de boezemkade, zoals ophogingen.

Daarnaast dient de visuele verkenning als hulpmiddel bij het opstellen van de kadevak indeling en bij het bepalen van de locaties voor het uitvoeren van grondonderzoek.

De belangrijkste conclusies uit de visuele inspectie zijn hieronder opgenomen:

- De kade verkeert globaal gezien in redelijke tot goede staat;
- Aan de noordzijde bevindt zich een erftoegangsweg op de kruin;
- Op het binnentalud aan de noordzijde is een fietspad aanwezig;
- Tussen het fietspad en de erftoegangsweg is een stoepsloot aanwezig;
- Aan de noordzijde bevinden zich over vrijwel de gehele strekking bomen op de kruin;
- Lokaal zijn beschadigingen (scheuren) aan de grasbekleding waargenomen;
- Aan de uiteinden van het projectgebied (oost en west) is bebouwing op de kade aangetroffen;
- Aan de westzijde kruist een betonnen brug de waterkering;
- In het projectgebied is een sifon in de boezemwatergang aanwezig;
- De kade wordt gekruist door diverse duikers en inlaten;
- De kruin vertoont op diverse locaties laagtes;

- Lokaal is schade aan de oever aangetroffen;
- In het oostelijk deel van het projectgebied zijn beschoeiingen in het buitentalud toegepast voor de woningen. Ook is een stalen damwand in het buitentalud aanwezig in het oostelijk deel van het projectgebied;
- Over een groot deel van de kadestrekking zijn teensloten aanwezig;

De beschoeiing aan de westzijde van kadevak 330 nabij adres Bonrepas 29 buigt lokaal uit, zie figuur 2-1. De waarschijnlijke oorzaak is gevonden in 'streetview' van GoogleMaps, zie figuur 2-2. Deze afbeelding is uit oktober 2009 en laat zien dat een grote belasting zeer dicht op de beschoeiing staat. De beschoeiing is naar alle waarschijnlijkheid niet ontworpen op deze belasting en is om die reden dan ook vervormd. De (lokale) vervorming van de houten beschoeiing is van dermate grootte dat de beschoeiing wordt afgekeurd.



Figuur 2-1: Uitbuigen beschoeiing buitentalud Bonrepas 29



Figuur 2-2: Oorzaak uitbuiging houten damwand bij Bonrepas 29 (bron: GoogleMaps, oktober 2009)

3 Uitgangspunten

In dit hoofdstuk staan de algemene uitgangspunten genoemd waarop de toetsing wordt gebaseerd.

3.1 Normering en stabiliteitsfactor

De normering van de Grote Kerkvlietkade is vastgesteld op IPO-klasse I. Dit is de laagste klasse binnen de IPO-normering en komt overeen met een overschrijdingsfrequentie van 1/10 per jaar.

Bij de toetsing op macrostabiliteit wordt expliciet getoetst aan een minimaal vereiste stabiliteitsfactor. De stabiliteitseis bij gebruik van rekenwaarden voor de sterkte luidt:

$\gamma / (\gamma_n \gamma_d \gamma_b) \geq 1{,}0$

Hierin is:

γ	*[-] stabiliteitsfactor bij rekenwaarden van de sterkte*
γ_n	*[-] schadefactor*
γ_d	*[-] modelfactor*
γ_b	*[-] schematiseringsfactor*

De schadefactor is afhankelijk van de IPO-klasse. Bij IPO-klasse I hoort een schadefactor [3] van $\gamma_n = 0{,}80$.

De modelfactor [3] bij gebruik van de glijcirkelanalyse conform het model Bishop is gelijk aan $\gamma_d = 1{,}00$. Bij het Uplift-Van model is deze gelijk aan $\gamma_d = 1{,}05$.

Het uitgangspunt bij de toetsing op macrostabiliteit is een conservatieve inschatting van de bodemopbouw en waterspanningen. De onzekerheid hierin wordt vooralsnog verdisconteerd met een schematiseringsfactor [3]. De schematiseringsfactor kan onderbouwd worden gereduceerd, tot minimaal 1,0. Bij de oorspronkelijke toetsing van de Grote Kerkvlietkade is de stabiliteitsfactor getoetst aan een standaard schematiseringsfactor van $\gamma_b = 1{,}20$. In de nadere toetsing zijn schematiseringsfactoren voor een aantal kadevakken afgeleid, zie voor een overzicht van de stabiliteitsfactoren per kadevak tabel 3-1. De afleiding van de schematiseringsfactoren voor kadevakken 329 [0375-0900], 329 [1443-1564], 330 [0000-0220] en 330 [1313-1538] is gegeven in bijlage O.

Tabel 3-1: Toetswaarden van de stabiliteitsfactoren per kadevak

Kadevak	Metrering	Schade factor γ_n	Modelfactor γ_d	Schematiserings-factor γ_b	γ_{bishop}	γ_{uplift}
329	[0000-0375]	0,80	1,0 / 1,05	1,20	0,96	1,01
	[0375-0900]	0,80	1,0 / 1,05	1,03	0,82	0,87
	[0900-1312]	0,80	1,0 / 1,05	1,20	0,96	1,01
	[1312-1443]	0,80	1,0 / 1,05	1,20	0,96	1,01
	[1443-1564]	0,80	1,0 / 1,05	1,03	0,82	0,87
330	[0000-0220]	0,80	1,0 / 1,05	1,06	0,85	0,89
	[0220-1025]	0,80	1,0 / 1,05	1,20	0,96	1,01
	[1025-1313]	0,80	1,0 / 1,05	1,20	0,96	1,01
	[1313-1538]	0,80	1,0 / 1,05	1,17	0,94	0,98

3.2 Oppervlakte en hoogteligging

De achterliggende polder bestaat voornamelijk uit weiland. Lokaal is er bebouwing op de kruin of het binnentalud aanwezig. Over een groot deel van de strekking zijn teensloten aanwezig. Tussen het fietspad en de erftoegangsweg ligt een stoepsloot.

Kadevak 329 grenst aan peilgebied De Keulevaart (oppervlakte circa 3.300 ha). Kadevak 330 grenst aan peilgebied De Koekoek (oppervlakte circa 6.200 ha).

De ligging van het maaiveld ter hoogte van de binnenteen van de kering varieert tussen NAP -1,60 m en NAP -1,00 m.

3.3 Kadevakindeling

Voor de veiligheidstoetsing van de Grote Kerkvlietkade is de kering opgedeeld in de onderstaande (deel)kadevakken. De kadevakindeling is gebaseerd op:

- Zelfde type boezemwater;
- Geometrie
- Grondopbouw;
- Hydraulische randvoorwaarden.

De afstanden zijn gekoppeld aan de leggerlijnen van de betreffende kadevakken. Hierbij is de westzijde van het projectgebied als nulpunt van de kilometrering gehanteerd. In bijlage B is een overzichtskaart van de kadevakindeling opgenomen.

Na het aanvullende grondonderzoek is besloten om het extra kadevak 329 [0375-0900] toe te voegen. Hiervoor is gekozen omdat voor deze metrering[0375-0900] de bodemopbouw sterk afwijkt ten opzichte van de andere vakken. In dit kadevak is een zeer ondiepe zandlaag aangetroffen die in verbinding staat met het pleistocene zand.

Tabel 3-2: Kadevakindeling Grote Kerkvlietkade

Kadevak	Deelkadevak	Start [km]	Eind [km]	Lengte [km]
329	[0000-0375]	0,000	0,375	375
	[0375-0900]	0,375	0,900	0,525
	[0900-1312]	0,900	1,312	0,412
	[1312-1443]	1,312	1,443	0,131
	[1443-1564]	1,443	1,564	0,121
330	[0000-0220]	0,000	0,220	0,220
	[0220-1025]	0,220	1,025	0,805
	[1025-1313]	1,025	1,313	0,288
	[1313-1538]	1,313	1,538	0,225

3.4 Hydraulische randvoorwaarden

3.4.1 Boezempeil

In onderstaande tabel zijn het streefpeil, maatgevend boezempeil en het toetspeil van de boezemwatergang Grote Kerkvliet weergegeven (Peilvak PG0550 deelgebied De Keulevaart).

Tabel 3-3: Waterpeilen watergang Grote Kerkvlietkade

Kadevak	Streefpeil [m+NAP]	Maatgevend boezempeil [m+NAP]	Toetspeil [m+NAP]
329	-1,00	-0,83	-0,83
330	-1,00	-0,83	-0,83

3.4.2 Polderpeilen en stijghoogten

Het projectgebied beslaat twee van de vier peilgebieden van de Lopikerwaard, namelijk De Keulevaart en De Koekoek. Rondom de aangrenzende regionale waterkering liggen zeven peilgebieden [4]. De polderpeilen en stijghoogten zijn per kadevak weergegeven in tabel 3-4.

In bijlage C zijn de bestuurskaarten van de peilgebieden uit het peilbesluit Lopikerwaard opgenomen.

Tabel 3-4: Polderpeilen en stijghoogten per kadevak

Kadevak	Peilvak	Polderpeil [m+NAP]		Stijghoogte
		Zomerpeil	Winterpeil	[m+NAP]
329	[0000-0375]	De Keulevaart PG0549	-2,00	-2,00	-1,00
	[0375-0900]	De Keulevaart PG0549	-2,00	-2,00	
	[0375-0900]	De Keulevaart PG0551	-2,15	-2,25	
	[0900-1312]	De Keulevaart PG0551	-2,15	-2,25	
	[1312-1443]	De Keulevaart PG0116	-2,01	-2,01	
	[1443-1564]	De Keulevaart PG0116	-2,01	-2,01	
330	[0000-0220]	De Koekoek PG0211	-1,50	-1,50	-1,00
	[0220-1025]	De koekoek PG0018	-1,77	-1,87	
	[1025-1313]	De koekoek PG0018	-1,77	-1,87	
	[1313-1538]	De koekoek PG0018	-1,77	-1,87	

Tussen de Slangeweg en het fietspad bevinden zich stoepsloten parallel aan de weg. Het waterpeil in deze sloten ligt hoger dan de achterliggende sloten waar het betreffende polderpeil heerst. Bij de toetsing wordt voor de stoepsloten het waterpeil gehanteerd dat geconstateerd is bij de het landmeetkundig onderzoek, zie bijlage D. De gehanteerde waterpeilen in de stoepsloten zijn in tabel 3-5 gegeven per kadevak.

Tabel 3-5: Gehanteerde waterpeilen stoepsloot per vak

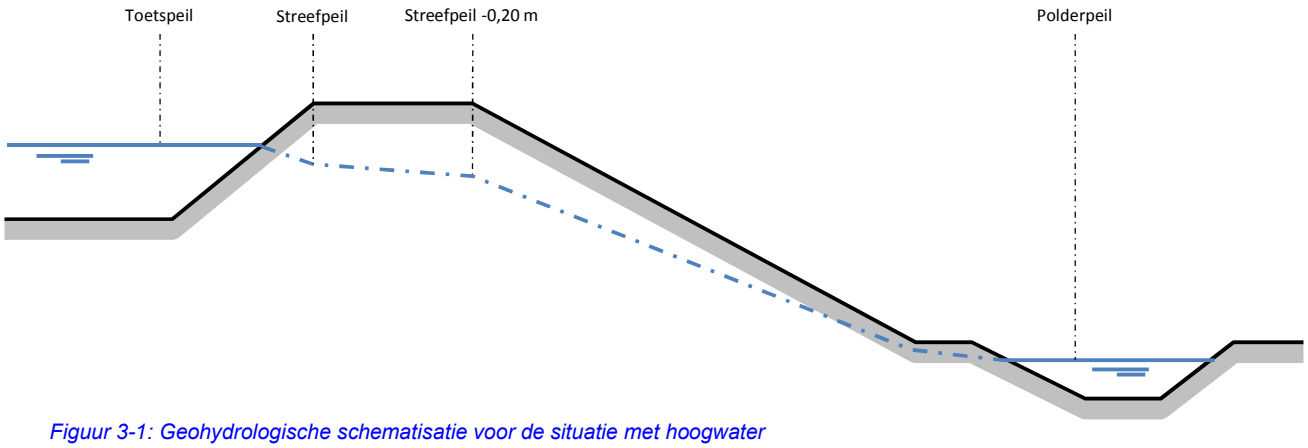
Kadevak	Peilvak	Peil stoepsloot
329	[0000-0375]	De Keulevaart PG0549	-1,95
	[0375-0900]	De Keulevaart PG0549	-1,95
	[0375-0900]	De Keulevaart PG0551	-1,90
	[0485-1312]	De Keulevaart PG0551	-1,90
	[1312-1443]	De Keulevaart PG0116	n.v.t.
	[1443-1564]	De Keulevaart PG0116	-1,95
330	[0000-0220]	De Koekoek PG0211	-1,53
	[0220-1025]	De koekoek PG0018	n.v.t.
	[1025-1313]	De koekoek PG0018	n.v.t.
	[1313-1538]	De koekoek PG0018	n.v.t.

3.4.3 Ligging freatische lijn, situatie hoogwater

Bij de toetsing van het binnen- en het buitentalud wordt de situatie met hoogwater op de boezem gecontroleerd. De schematisatie van de freatische lijn is weergegeven in figuur 3-1.

Hierbij wordt het toetspeil op de boezem gehanteerd. De freatische lijn bij de buitenkruinlijn is gelijk aan het streefpeil. Deze zakt vervolgens lineair 0,2 m tot de binnenkruinlijn. Vanaf de binnenkruinlijn verloopt de freatische lijn naar de binnenteen van de kade. Deze daalt vervolgens tot het zomerpeil van de polder in de sloot. Indien de teensloot op grotere afstand van de kade ligt, wordt een verhang van 1:10 vanaf de binnenteen tot het polderpeil gehanteerd.

Bij de aanwezigheid van stoepsloten verloopt de freatische lijn vanaf de binnenkruinlijn tot de ingemeten waterstand in de stoepsloot. Na de stoepsloot verloopt deze naar de binnenteen van de kade.



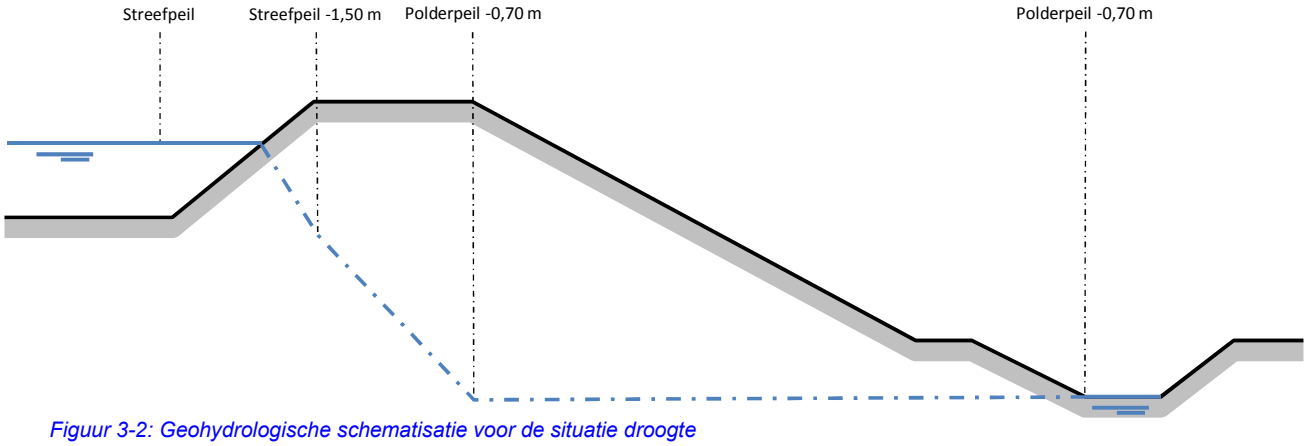
Figuur 3-1: Geohydrologische schematisatie voor de situatie met hoogwater

3.4.4 Ligging freatische lijn, situatie droogte

Bij veenkaden wordt aanvullend voor de stabiliteit van het binnentalud de situatie droogte gecontroleerd. De schematisatie van de freatische lijn is weergegeven in figuur 3-2.

Hierbij wordt het streefpeil op de boezem gehanteerd. De freatische lijn bij de buitenkruinlijn is 1,5 m lager dan het streefpeil op de boezem. Vanaf de binnenkruinlijn verloopt de freatische lijn tot 0,7 m onder het winterpeil van de polder. Ook voor het achterland wordt het peil 0,7 m lager aangehouden dan het winterpeil van de polder.

Bij de aanwezigheid van stoepsloten blijft de schematisatie gelijk aan de schematisering in bovenstaande alinea.



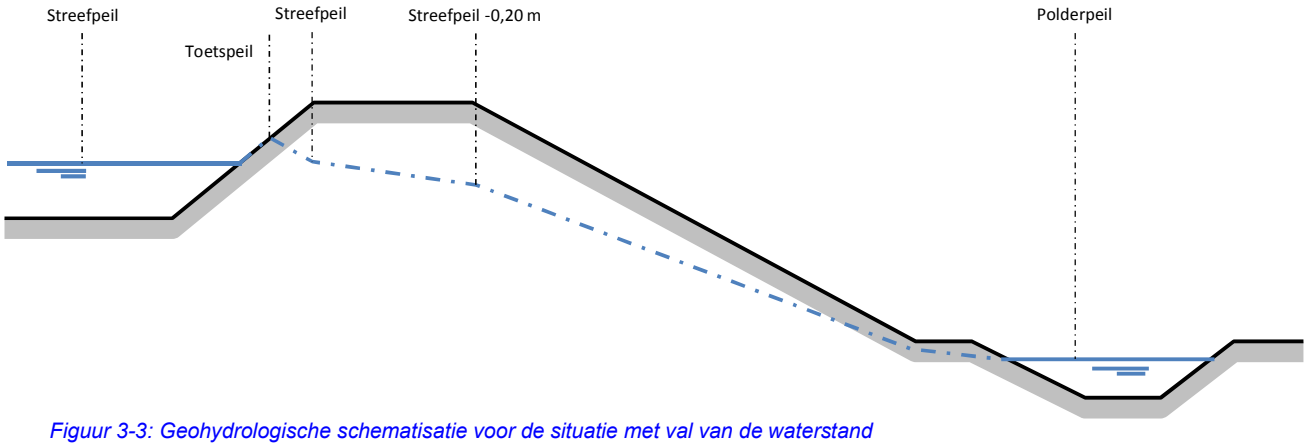
Figuur 3-2: Geohydrologische schematisatie voor de situatie droogte

3.4.5 Ligging freatische lijn, situatie val van de waterstand

Het buitentalud wordt gecontroleerd op de situatie met een peilval van het boezemwater. De schematisatie van de freatische lijn is weergegeven in figuur 3-3.

Hierbij wordt het streefpeil op de boezem gehanteerd. De freatische lijn verloopt evenwijdig met het buitentalud tot toetspeil. Bij de buitenkruinlijn is het peil gelijk aan het streefpeil. Deze verloopt vervolgens naar de binnenkruinlijn tot 0,20 m onder het streefpeil. Vanaf de binnenkruinlijn verloopt de freatische lijn naar de binnenteen van de kade. Deze daalt vervolgens tot het zomerpeil van de polder in de sloot. Indien de teensloot op grotere afstand van de kade ligt, wordt een verhang van 1:10 vanaf de binnenteen tot het polderpeil gehanteerd.

Bij de aanwezigheid van stoepsloten wordt dezelfde werkwijze gehanteerd zoals omschreven bij de situatie met hoogwater.



Figuur 3-3: Geohydrologische schematisatie voor de situatie met val van de waterstand

3.4.6 Waterspanningsverloop

Voor de schematisatie van het grondwater, weergegeven in onderstaande tabel, worden de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- In de lagen boven de pleistocene zandlaag heerst de freatische waterstand;
- In de pleistocene zandlaag heerst de stijghoogte;
- Als overgangszone tussen de freatische waterstand en de stijghoogte in de pleistocene zandlaag wordt een 1 m dikke overgangslaag geschematiseerd, waarin het verloop van de waterdruk lineair wordt geïnterpoleerd.

Tabel 3-6: Schematisering waterspanningsverloop

Onderdeel	Schematisering	Delta
Freatisch (PL1)	PL1 hydrostatisch	
Overgangszonde (1 m dik)	Lineair interpolatie PL1 en PL2	
Stijghoogte (PL2)	PL2 hydrostatisch	

3.5 Overige randvoorwaarden

3.5.1 Toeslagen vereiste kruinhoogte

In de legger van de regionale waterkeringen is vastgelegd dat bovenop de toetshoogte een waakhoogte benodigd is van 20 cm. Tezamen vormen zij de wettelijk minimaal benodigde leggerhoogte welke bestuurlijk is vastgesteld op 2 maart 2011.

Een uitzondering hierop is kade 329. De leggerhoogte voor een weg op kade, welke 10 cm waakhoogte heeft i.p.v. 20 cm is niet bestuurlijk vastgesteld, maar door de beheerder van HDSR bepaald. In tabel 3-7 zijn de toetshoogte en de leggerhoogte van de kadevakken opgenomen. De leggerprofielen van de betreffende kadevakken zijn opgenomen in bijlage E.

Tabel 3-7: Toetshoogte en leggerhoogte

Kadevak	Toetshoogte [m+NAP]	Leggerhoogte [m+NAP]
329 [1]	-0,70	-0,60
330	-0,70	-0,50

3.5.2 Windbelasting

De kaden waarop bomen aanwezig zijn die effect op de stabiliteit van de kade hebben, worden getoetst zoals omschreven in bijlage 6 van de Leidraad toetsen [3].

3.5.3 Verkeers- calamiteitenbelasting

Bij de beoordeling van de stabiliteit van de kade wordt rekening gehouden met onderstaande verkeersbelastingen [3]. De verkeersbelasting wordt gemodelleerd over een breedte van 2,5 m met een spreidingshoek van 45 graden. Bij niet-cohesieve gronden wordt een consolidatiepercentage aangehouden van 100%. Voor cohesieve lagen worden de consolidatiepercentages uit onderstaande tabel.

Tabel 3-8: Verkeersbelastingen en consolidatiepercentages

Situatie	Type	Belasting [kN/m^2]	Consolidatie cohesieve gronden [%]	
			Situatie hoogwater	Situatie droogte
Erftoegangsweg	Verkeer	13,0	50,0	30,0
Fietspad	Onderhoudsvoertuig	5,0	100,0	30,0
Groene kade	Onderhoudsvoertuig	5,0	50,0	30,0

3.5.4 Schepen en drijvende voorwerpen

De boezemwatergang Grote Kerkvliet sluit haaks aan op de watergang de Vlist. De Grote Kerkvliet is een doodlopende watergang. Naast een in- en uitstapplaats voor kano's zijn er geen recreatievoorzieningen voor pleziervaart. Naar verwachting bevindt zich zelden pleziervaart op de watergang. Om die reden wordt bij de toetsing geen rekening gehouden met scheepsbelasting en drijvende voorwerpen.

[1] *De leggerhoogte (NAP-0,50 m) in het leggerprofiel van kadevak 329 in Bijlage E wijkt af van de aangegeven leggerhoogte (NAP-0,60 m) in de mail van dhr. I van den Dungen (HDSR) "RE: Toetsing Kerkvliet | beschikbare informatie" 12-9-2016.*

4 Geometrie, ondergrond en maatgevende profielen

Voor de uitvoering van de toetsing is er beschikking over landmeetkundig en grondmechanisch laboratoriumonderzoek. Er is geen onderzoek uitgevoerd naar de waterspanningen in het dijklichaam. Dit hoofdstuk beschrijft de resultaten van de geotechnische onderzoeken en de gevolgen daarvan voor de toetsing.

4.1 Landmeetkundig onderzoek

Landmeetkundig onderzoek is noodzakelijk om een goed beeld van de geometrie van de kade te verkrijgen. Dwarsprofielen zijn gebruikt om een profiel met zowel een maatgevende kruinbreedte als een maatgevend talud te kiezen, lengteprofielen zijn gebruikt voor de hoogtetoets.

4.1.1 Onderzoek

Het landmeetkundig onderzoek is uitgevoerd in juli 2016. Hierbij zijn een lengteprofiel (3 stuks) over de kruin van de kade en dwarsprofielen (33 stuks) ingemeten. De lengteprofielen hebben een gesommeerde lengte van ca. 3.100 m. De dwarsprofielen zijn met een tussenafstand van ca. 50 m ingemeten, inclusief de bodem van de boezem en de aanliggende teensloten. Tekeningen van de lengteprofielen en dwarsprofielen zijn opgenomen in bijlage D.

4.1.2 Maatgevende geometrie

Op basis van de ingemeten dwarsprofielen is per kadevak een maatgevend profiel bepaald. Per kadevak is één maatgevend profiel samengesteld. Om het maatgevende dwarsprofiel te bepalen, wordt de omhullende van alle beschikbare dwarsprofielen samengesteld op basis van:

- Laagste kruinhoogte;
- Steilste binnentalud;
- Steilste buitentalud;
- Laagste onderwaterprofiel.

De maatgevende profielen zijn opgenomen in bijlage F. In onderstaande tabel wordt per kadevak weergegeven op basis van welke profielen uit het landmeetkundig onderzoek de maatgevende profielen zijn opgebouwd.

Tabel 4-1: Profielen landmeetkundig onderzoek in maatgevend profiel kadevak

Kadevak		Profielen
329	[0000-0375]	1 t/m 8 + 33
	[0375-0900]	8 t/m 18
	[0900-1312]	19 t/m 25
	[1312-1443]	26 t/m 28
	[1443-1564]	29 t/m 30
330	[0000-0220]	1 t/m 4 + 33
	[0220-1025]	5 t/m 20
	[1025-1313]	21 t/m 25
	[1313-1538]	25 t/m 30

4.2 Grondmechanisch onderzoek

Met behulp van grondmechanisch onderzoek kan beter inzicht verkregen worden in de grondopbouw onder het kadelichaam. Grote hoeveelheden slappe lagen (veen, humeuze klei) hebben negatieve invloed op de stabiliteit van de kade, ondiepe zandlagen kunnen het faalmechanisme piping in de hand werken.

4.2.1 Onderzoek

HDSR heeft ten behoeve van de toetsing van de kade lokaal grondonderzoek uitgevraagd. In dit grondonderzoek zijn diverse boringen uitgevoerd. Daarnaast zijn de beschikbare sonderingen en boringen in het DINO-loket geraadpleegd. Ook is bij de nadere toetsing extra grondonderzoek voor een aantal kadevakken uitgevoerd. De boorstaten en sonderingen zijn opgenomen in bijlage G. Deze onderzoeken bestaan uit:

- Lokaal grondonderzoek sonderingen 0 locaties boringen 8 locaties
- Gegevens uit het DINO loket sonderingen 2 locaties boringen 17 locaties
- Aanvullend grondonderzoek sonderingen 11 locaties boringen 15 locaties

4.2.2 Maatgevende boringen, sonderingen en bodemopbouw

In deze paragraaf wordt per kadevak de bodemopbouw beschreven. Zoals beschreven in voorgaande paragraaf kan de beschreven grondopbouw niet één op één overgenomen worden bij eventuele ontwerpwerkzaamheden in de vervolgfase na de toetsing. Bij kadevak 329 wordt vanwege de wegconstructie op de kruin een zandpakket met een dikte van circa 0,60 m gemodelleerd.

Kadevak 329 [0000-0375]

De maatgevende grondopbouw is gebaseerd op B38B1029. Dit is een boring tot de pleistocene zandlaag. De sondering bevestigt de ligging van het pleistocene zandpakket op NAP-11,5 m. De diepere dunne veenlagen worden niet gemodelleerd vanwege een verwaarloosbare invloed op het resultaat, zie tabel 4-2.

Tabel 4-2: Maatgevende grondopbouw vak 329 [0000-0375]

Bovenkant laag [m+NAP	**Grondsoort**	**Gebruikte onderzoeken**	
		sonderingen	boringen
maaiveld	Klei, humeus	S38B0061	B62, B63
-1,40	Veen	S38B00358	B38B1029
-3,30	Klei, siltig/zandig		B38B1030
-4,90	Veen		B38B1031
-7,40	Klei, siltig/zandig		
-11,50	Zand, pleistoceen		

Kadevak 329 [0375-0900]

De maatgevende grondopbouw is samengesteld op basis van DKM010, B62 en B63. Onder het wegcunet zijn dunne lagen klei, humeus, veen en klei, siltig/zandig aanwezig voordat de ondiepe zandlaag begint. Uit de sonderingen blijkt dat de zandlaag tot het pleistoceen doorloopt (DKM011), bij DKM010 is nog een laag klei, siltig/zandig aangetroffen. Het kan niet worden uitgesloten dat de laag klei, siltig/zandig van onvoldoende dikte is om te voorkomen dat de ondiepe zandlaag met de pleistocene zandlaag in verbinding staat. In de schematisering is vanuit gegaan dat de stijghoogte in het pleistocene zandlaag ook geldt in de ondiepe zandlaag in dit vak. De pleistocene zandlaag is geschematiseerd op NAP-11,0 m, zie tabel 4-3.

Tabel 4-3: Maatgevende grondopbouw vak 329 [0375-0900]

Bovenkant laag [m+NAP	**Grondsoort**	**Gebruikte onderzoeken**	
		sonderingen	boringen
maaiveld	Wegcunet (zand)	DKM010	B62, B63
-0,28	Klei, humeus	DKM011	B64, B65
-1,08	Veen, mineraalarm		B011
-1,58	Klei, siltig/zandig		B012
-2,03	Veen, mineraalarm		B38B1031
-2,88	Klei, siltig/zandig		B38B1043
-4,48	Zand		B38B1044
-9,7	Klei, siltig/zandig		B38B1201
-11,00	Zand, pleistoceen		

Kadevak 329 [0900-1312]
De maatgevende grondopbouw is samengesteld op basis van B61 en B38B1202. Omdat veen boven de grondwaterstand in de praktijk vergaat, is de toplaag gemodelleerd als klei humeus. De diepere kleilagen in B35B1202 worden als klei siltig gemodelleerd. Het pleistocene zandpakket start bij de boring op circa NAP-11,0 m, zie tabel 4-4.

Tabel 4-4: Maatgevende grondopbouw vak 329 [0900-1312] en vak 330 [1025-1313]

Bovenkant laag [m+NAP	**Grondsoort**	**Gebruikte onderzoeken**	
		sonderingen	boringen
maaiveld	Klei, humeus	-	B60, B61
-1,89	Veen		B62, B63
-3,38	Klei, siltig/zandig		B38B1043
-5,08	Klei, humeus		B38B1044
-6,10	Veen		B38B1201
-8,10	Klei, siltig/zandig		B38B1202
-11,00	Zand, pleistoceen		

Kadevak 329 [1312-1443]
Binnen deze strekking is 1 boring beschikbaar, namelijk B38B1203. De kleilaag boven de tussenzandlaag wordt geschematiseerd als klei humeus op basis van de lage volumegewichten van de nabijgelegen boringen B66 en B67 in naastliggend kadevak. Door de beperkte boordiepte is de ligging van het pleistocene zandpakket niet bekend. Deze wordt op basis van de aansluitende vakken in het westen geschematiseerd op NAP-11,0 m, zie tabel 4-5.

Tabel 4-5: Maatgevende grondopbouw vak 329 [1312-1443] en vak 329 [1443-1564]

Bovenkant laag [m+NAP	**Grondsoort**	**Gebruikte onderzoeken**	
		sonderingen	boringen
maaiveld	Klei, siltig/zandig	-	B38B1203
-1,40	Veen		
-2,70	Klei, humeus		
-5,10	Zand		
-7,10	Klei, siltig/zandig		
-8,30	Veen		
-10,30	Klei, siltig/zandig		
-11,00	Zand, pleistoceen		

Kadevak 329 [1443-1564]
De maatgevende grondopbouw is samengesteld op basis van DKM005, B007 en B008. Er is geen wegcunet geschematiseerd en de grondopbouw bestaat vooral uit slappe lagen. Een veenlaag is aanwezig onder de toplaag klei, humeus, onder de veenlaag is een dikke laag klei, humeus aanwezig. Dieper zijn er nog lagen veen en klei siltig/zandig aanwezig. De pleistocene zandlaag is geschematiseerd op NAP -11,4 m, zie tabel 4-6.

Tabel 4-6: Maatgevende grondopbouw vak 329 [1443-1564]

Bovenkant laag [m+NAP	**Grondsoort**	**Gebruikte onderzoeken**	
		sonderingen	boringen
maaiveld	Klei, humeus	DKM005	B007
-1,37	Veen, mineraalarm	DKM007	B008
-2,97	Klei, humeus	DKM008	B009
-8,00	Veen, mineraalarm		B010
-10,00	Klei, siltig/zandig		
-11,40	Zand, pleistoceen		

Kadevak 330 [0-220]
De maatgevende grondopbouw is samengesteld op basis van DKM001, B001 en B002. Er is geen wegcunet aanwezig en de grondopbouw bestaat vooral uit slappe lagen. Een veenlaag is aanwezig onder de toplaag klei, siltig/zandig, onder de veenlaag is een dikkere laag klei, humeus aanwezig. Dieper zijn er nog lagen veen en klei siltig/zandig aangetroffen. De pleistocene zandlaag is geschematiseerd op NAP-10,7 m, zie tabel 4-7.

Tabel 4-7: Maatgevende grondopbouw vak 330 [0000-0220]

Bovenkant laag	Grondsoort	Gebruikte onderzoeken	
[m+NAP		sonderingen	boringen
maaiveld	Klei, siltig/zandig	DKM001	B001
-1,57	Veen, mineraalarm		B002
-3,02	Klei, humeus		
-6,80	Veen, mineraalarm		
-8,00	Klei, siltig/zandig		
-10,70	Zand, pleistoceen		

Kadevak 330 [220-1025]
De maatgevende grondopbouw is samengesteld op basis van B62 en B38B1202. De bovenste veenlaag wordt als één laag van 1 m gemodelleerd. De kleilaag onder het veen wordt als klei siltig geschematiseerd. Voor de diepere lagen is geen sondering of boring beschikbaar. De zandlaag wordt doorgetrokken tot het pleistoceen op NAP-11,0 m, zie tabel 4-8.

Tabel 4-8: Maatgevende grondopbouw vak 330 [220-1025]

Bovenkant laag	Grondsoort	Gebruikte onderzoeken	
[m+NAP		sonderingen	boringen
maaiveld	Klei, siltig/zandig	-	B62, B63
-1,88	Veen		B64, B65
-2,88	Klei, siltig/zandig		B38B1043
-4,48	Zand		B38B1202
-11,00	Zand, pleistoceen		

Kadevak 330 [1025-1313]
Dit kadevak ligt aan de zuidkant van de boezem tegenover kadevak 329 [485-1312]. Om die reden en omdat er geen lokaal grondonderzoek beschikbaar is, wordt dezelfde grondopbouw gehanteerd zoals in kadevak 329 [0900-1312], zie tabel 4-4.

Kadevak 330 [1313-1538]
De maatgevende grondopbouw is samengesteld op basis van DKM003 (kruin, nieuw), DKM004 (achterland, nieuw), B005 (kruin, nieuw) en B006 (achterland, nieuw), Er is geen wegcunet aanwezig en de grondopbouw bestaat vooral uit slappe lagen. Een veenlaag is aanwezig onder de toplaag klei, siltig/zandig, onder de veenlaag is een dikkere laag klei, siltig/zandig aanwezig. Dieper zijn er nog lagen veen en klei siltig/zandig aangetroffen. De pleistocene zandlaag ter plaatse van de kruin is geschematiseerd op NAP -11,5 m, zie tabel 4-9.

Tabel 4-9: Maatgevende grondopbouw vak 330 [1313-1538]

Bovenkant laag	Grondsoort	Gebruikte onderzoeken	
[m+NAP		sonderingen	boringen
maaiveld	Klei, humeus	DKM003	B005
-1,65	Veen, mineraalarm	DKM004	B006
-2,95	Klei, siltig/zandig		B66
-8,00	Veen, mineraalarm		B67
-9,30	Klei, siltig/zandig		
-10,60	Veen, mineraalarm		
-11,50	Zand, pleistoceen		

4.2.3 Grondmonsters

Bij alle boringen uit het lokale grondonderzoek, zie bijlage G, zijn grondmonsters genomen.

4.3 Laboratoriumonderzoek

Voor toekenning van specifieke eigenschappen aan de verschillende grondparameters wordt vaak in eerste instantie uitgegaan van de NEN 9997-1:2016 nl [6]. Om deze waarden toe te spitsen op de lokale situatie, en daarmee minder conservatief te maken, wordt laboratoriumonderzoek uitgevoerd. Met behulp van statistische analyses worden vervolgens representatieve waarden vastgesteld.

4.3.1 Onderzoek

De kade sluit in het westen aan op de Vlistkade Oost. Voor de toetsing van de kade is in samenspraak met HDSR afgesproken dezelfde parameters te hanteren als voor de Vlistkade Oost omdat een gelijke grondopbouw en samenstelling verwacht wordt. Voor de toetsing van de Grote Kerkvlietkade is geen specifiek laboratoriumonderzoek uitgevoerd.

De parameters zijn bepaald op basis van het veld en laboratorium onderzoek uitgevoerd voor de Vlistkade Oost [7]. Voor de grondsoort siltige klei, zijn de sterkteparameters bepaald op basis van een vervormingspercentage van 5%. Voor de grondsoort Veen, mineraalarm zijn de sterkteparameters (uit de DSS-proeven) op basis van een rekpercentage van 15% bepaald.

Bij de volgende boringen uit het lokale grondonderzoek, zie bijlage G, is het volumegewicht van de grondlaag in de monsters bepaald: B61, B62, B63, B66, B67.

4.3.2 Grondparameters

Voor de toetsing worden de parameters gehanteerd volgens tabel 4-10.

Deze grondparameters mogen niet één op één overgenomen worden bij eventuele ontwerpwerkzaamheden in de vervolgfase na de toetsing. Bij ontwerpwerkzaamheden dient in de regel lokaal, aanvullend grondonderzoek uitgevoerd te worden. In overleg met HDSR kan besloten worden hier toch gebruik te maken van de regionale parameterset.

Tabel 4-10: Karakteristieke waarden en rekenwaarden geotechnische sterkteparameters

Grondsoort	γ_{nat} / γ_{sat} [kN/m^3]	c'_{kar} [kN/m^2]	φ'_{kar} [°]	Bepaald volgens	$\gamma_{m;c}$ [-]	$\gamma_{m;\varphi}$ [-]	c'_d [kN/m^2]	φ'_d [°]
Veen, mineraalarm	10,21 / 10,21	0,21	24,70	Labonderzoek	1,35	1,15	0,15	21,80
Klei, humeus	13,80 / 13,80	0,55	27,00	Expert judgement	1,20	1,15	0,46	23,90
Klei, siltig / zandig	15,90 / 15,90	1,90	29,25	Labonderzoek	1,20	1,15	1,58	25,96
Zand	17,00 / 19,00	0,10	32,50	Labonderzoek	-	1,15	0,10	28,90
Zand, pleistoceen	18,00 / 20,00	0,10	35,00	Labonderzoek	-	1,15	0,10	31,30

Hierin is:

γ_{nat}	*: aardvochtig volumegewicht*	φ'_{kar}	*: karakteristieke waarde van de hoek van inwendige wrijving*
γ_{nat}	*: volledig verzadigd volumegewicht*	φ'_d	*: rekenwaarde van de hoek van inwendige wrijving*
c'_{kar}	*: karakteristieke waarde van de cohesie*	$\gamma_{m;c}$	*: materiaalfactor cohesie*
c'_d	*: rekenwaarde van de cohesie*	$\gamma_{m;\varphi}$	*: materiaal factor voor hoek van inwendige wrijving*

In tabel 4-11 zijn de specifieke parameters voor de pipingberekening met de rekenregel van Sellmeijer opgenomen. Deze parameters zijn afkomstig van het toetsing van de Vlistkade Oost [8] en zijn gebaseerd op labonderzoek. Overige parameters worden bepaald in het toetsrapport en/of aangevuld met waarden uit het Onderzoeksrapport Zandmeevoerende Wellen [9].

Tabel 4-11: Specifiek parameters Sellmeijer voor Grote Kerkvlietkade

Symbool	Parameter	Waarde	Dimensie
γ_p	volumiek gewicht zandkorrels	26,0	kN/m^3
d70 (l.r.w.)	karakteristieke waarde voor 70-percentielwaarde van de korrelverdeling	2,0053 E-04	m
κ (h.r.w.)	intrinsieke doorlatendheid van een zandlaag	5,5599 E-11	m^2

Hierin is:
l.r.w. : lage representatieve waarde
h.r.w. : hoge representatieve waarde

4.4 Waterspanningen

De waterspanningen in de ondergrond zijn van grote invloed op de stabiliteit van een dijklichaam. Er zijn geen peilbuizen en/of waterspanningsmeters in het projectgebied geplaatst. De waterspanningen worden geschematiseerd zoals beschreven in hoofdstuk 3.

5 Toetsing op veiligheid

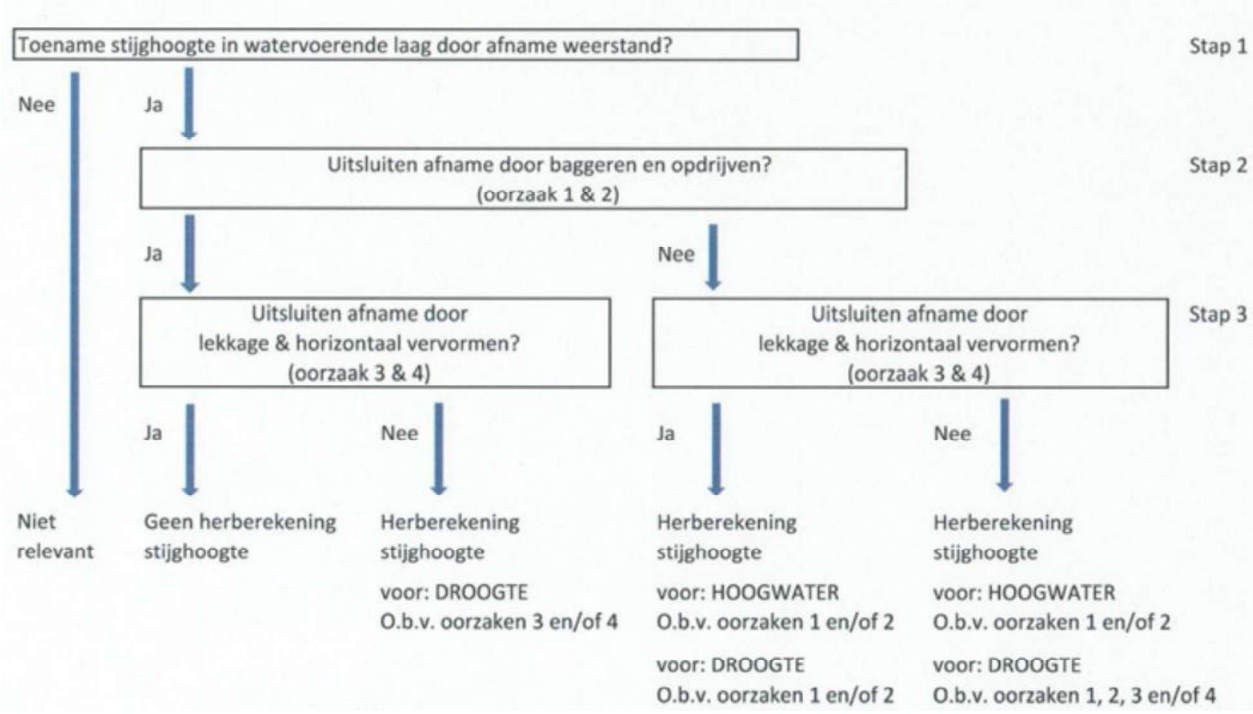
De toetsing op veiligheid is grotendeels uitgevoerd volgens het stappenplan uit de Leidraad, beginnende in paragraaf 5.3. Voor de toetssporen STBI en STPH zijn twee deelfactoren echter van dermate grote invloed, dat deze vooraf apart worden beschouwd, in paragrafen 5.1 en 5.2. Dit zijn de onderdelen hydraulische kortsluiting en opbarstveiligheid. Het al dan niet voorkomen van hydraulische kortsluiting bepaalt of er bij STBI getoetst moet worden op horizontaal afschuiven en het bepaalt of er piping kan optreden. De opbarstveiligheid bepaalt of er een drukstaafsom gemaakt moet worden bij STBI en heeft invloed op de gevoeligheid voor piping. Door deze twee onderdelen apart te beschouwen wordt inzichtelijk gemaakt welke beoordeling ten grondslag ligt aan een aantal keuzes in een later stadium.

5.1 Hydraulische kortsluiting

Door vermindering van de hydraulische weerstand van de waterbodem neemt de waterstroom tussen het oppervlaktewater en één of meer relatief horizontaal doorlatende grondlagen (voornamelijk zandlagen) in of onder de kering toe. Bij een te lage weerstand van de waterbodem kan hydraulische kortsluiting optreden.

Aanleiding voor de vermindering van hydraulische weerstand kan verschillende oorzaken hebben:
1. Baggerwerkzaamheden.
2. Opdrijven van veenpakketten uit de waterbodem.
3. Lekkage langs oeverconstructie.
4. Horizontaal vervormen van de waterkering en ontstaan van grondbreuk in de waterbodem.

Het voorkomen van dit mechanisme wordt getoetst met behulp van het stroomschema dat is weergegeven in figuur 5-1. De resultaten per kadevak zijn gegeven in tabel 5-1.



Figuur 5-1: Stroomschema hydraulische kortsluiting

Stap 1 Toename stijghoogte in watervoerende laag?
Stap 2 Uitsluiten afname door baggeren en opdrijven?
Stap 3 Uitsluiten afname door lekken en horizontaal vervormen?

Tabel 5-1: Oordeel hydraulische kortsluiting per kadevak

Kadevak		Stap1	Stap 2	Stap 3	Oordeel
329	[0000-0375]	Nee	-	-	✓ Voldoende
	[0375-0900]	Ja	Nee	Ja	× Onvoldoende
	[0900-1312]	Nee	-	-	✓ Voldoende
	[1312-1443]	Nee	-	-	✓ Voldoende
	[1443-1564]	Nee	-	-	✓ Voldoende
330	[0000-0220]	Nee	-	-	✓ Voldoende
	[0220-1025]	Ja	Nee	Ja	× Onvoldoende
	[1025-1313]	Nee	-	-	✓ Voldoende
	[1313-1538]	Nee	-	-	✓ Voldoende

5.2 Opdrijven en opbarsten

Het mechanisme opdrijven of opbarsten kan, indien hydraulische kortsluiting optreedt, aanleiding zijn voor het optreden van het bezwijkmechanisme piping. Daarnaast heeft het mechanisme invloed op de binnenwaartse macrostabiliteit.

Opbarsten treedt op indien het gewicht van het afdekkende pakket gelijk of kleiner is dan de opwaartse waterdruk tegen de onderkant van het afdekkende pakket. In dat geval is de verhouding tussen het gewicht van het afdekkende pakket en de opwaartse waterdruk, zogenaamd de opbarstveiligheid, gelijk of kleiner dan 1,0. Als deze verhouding tussen 1,0 en 1,2 ligt wordt gesproken van opdrijven.

De invloed van hydraulische kortsluiting op de opbarstveiligheid is terug te zien in de gebruikte stijghoogte in de watervoerende laag. Als hydraulische kortsluiting niet kan worden uitgesloten, wordt het Maatgevend BoezemPeil (MBP) aangehouden als maximale stijghoogte in de relatief waterdoorlatende laag. De resultaten van de opbarstveiligheid zijn weergegeven in tabel 5-2.

Tabel 5-2: Oordeel opbarstveiligheid per kadevak

Kadevak		Hydraulische kortsluiting?	Opbarstveiligheid hoogwater	Oordeel
329	[0000-0375]	Nee	1,13	× Opdrijven
	[0375-0900]	Ja	0,55	× Opbarsten
	[0900-1312]	Nee	1,09	× Opdrijven
	[1312-1443]	Nee	1,10	× Opdrijven
	[1443-1564]	Nee	1,10	× Opdrijven
330	[0000-0220]	Nee	1,15	× Opdrijven
	[0220-1025]	Ja	1,30	✓ Voldoende
	[1025-1313]	Nee	1,12	× Opdrijven
	[1313-1538]	Nee	1,02	× Opdrijven

5.3 Overlopen en overslag

De toets op overlopen en overslag (hoogtetoets) wordt uitgevoerd op basis van twee lengteprofielen, één over de kruinlijn bij kadevak 329 en één over de kruinlijn bij kadevak 330. Omdat het lengteprofiel in juli 2016 is ingemeten wordt geen rekening gehouden met bodemdaling. Als vervolgens alle ingemeten punten binnen een kadevak voldoen aan de gestelde hoogte (paragraaf 3.5.1), wordt een oordeel voldoende toegekend.

De toetsing wordt uitgevoerd aan de leggerhoogte. De toetsing aan de leggerhoogte wordt uitgevoerd omdat alvast rekening wordt gehouden met toekomstige eisen, eventuele verbeteringen en een extra waakhoogte. Met behulp van de maatgevende dwarsprofielen per kadevak is bekeken of de kruin een breedte heeft van minimaal 1,5 m.

Tabel 5-3: Oordeel hoogtetoets per kadevak

Kadevak		Leggerhoogte [m+NAP]	Traject met hoogte tekort [m]	1,5 m breedte o.b.v. maatgevend profiel	Oordeel
329	[0000-0375]	-0,60	0	Ja	✓ Voldoende
	[0375-0900]	-0,60	0	Ja	✓ Voldoende
	[0900-1312]	-0,60	0	Ja	✓ Voldoende
	[1312-1443]	-0,60	0	Ja	✓ Voldoende
	[1443-1564]	-0,60	59	Ja	× Onvoldoende
330	[0000-0220]	-0,50	113	Nee	× Onvoldoende
	[0220-1025]	-0,50	59	Nee	× Onvoldoende
	[1025-1313]	-0,50	85	Nee	× Onvoldoende
	[1313-1538]	-0,50	44	Nee	× Onvoldoende

In bijlage H zijn de overzichtskaarten van de hoogtetoets gegeven, hierin zijn ook de resultaten van de hoogtetoets gegeven per kadevak.

5.4 Piping / Heave (STPH)

De toetsing op piping/heave wordt uitgevoerd door eerst de eenvoudige toetsing volgens de Leidraad uit te voeren. Indien een kadevak niet goedgekeurd kan worden met de eenvoudige toetsing wordt overgegaan op de gedetailleerde toetsing met de formule van Sellmeijer.

5.4.1 Eenvoudige toetsing op piping - intredepunt

Als gevolg van afwezigheid van een ondiepe watervoerende laag kan een kadevak meteen met een voldoende beoordeeld worden. Indien wel een ondiepe watervoerende laag aanwezig is wordt bekeken of een intredepunt kan optreden. Hierbij wordt gekeken of er een afdeklaag van minimaal 1,5 m aanwezig is, of de hydraulische weerstand van de afdeklaag voldoende is (met de klei-leem-zand driehoek, zie bijlage J) en of er hydraulische kortsluiting kan optreden waardoor het boezemwater in contact komen met een watervoerende laag in de ondergrond.

Als er geen intredepunt kan ontstaan, hoeft ook geen rekening gehouden te worden met instabiliteit van de kering ten gevolge van piping. Voor de uitgebreide berekening zie bijlage J, de resultaten zijn hier onder gegeven in tabel 5-4.

Tabel 5-4: Eenvoudige toetsing piping - intredepunt

Kadevak		Ondiepe zandlaag?	Afdeklaag > 1,5 m?	Hydraulische weerstand?	Hydraulische kortsluiting?	Intredepunt mogelijk?
329	[0000-0375]	Nee	-	-	-	✓ Nee
	[0375-0900]	Ja	Nee	Voldoet, ks2	Ja	× Ja
	[0900-1312]	Nee	-	-	-	✓ Nee
	[1312-1443]	Ja	Ja	Voldoet, ks2	Nee	✓ Nee
	[1443-1564]	Ja	Ja	Voldoet, ks2	Nee	✓ Nee
330	[0000-0220]	Nee	-	-	-	✓ Nee
	[0220-1025]	Ja	Nee	Voldoet, ks3	Ja	× Ja
	[1025-1313]	Nee	-	-	-	✓ Nee
	[1313-1538]	Nee	-	-	-	✓ Nee

5.4.2 Bepaling deklaag in het achterland

Bij kadevak 329 [0375-0900] en vak 330 [0220-1025] is een gecombineerde deklaag van veen en klei,siltig aanwezig.

5.4.1 Eenvoudige toetsing piping - uittredepunt

Bij de vakken 329 [0375-0900] en 330 [0220-1025] kan een intredepunt optreden, daarom is gekeken of ook een uittredepunt kan optreden. Hiervoor worden de resultaten van de toets op opbarstveiligheid gebruikt, indien de opbarstveiligheid > 1,2 is dan is er geen uittredepunt mogelijk en daarom ook geen piping. Zie tabel 5-5 voor de resultaten en bijlage J voor de uitgebreide berekening.

Tabel 5-5: Eenvoudige toetsing piping - uittredepunt

Kadevak		Opbarstveiligheid	Uittredepunt mogelijk?
329	[0375-0900]	0,55	× Ja
330	[0220-1025]	1,30	✓ Nee

In kadevak 330 [0220-1025] kan geen uittredepunt optreden omdat de opbarstveiligheid groter dan 1,2 is. Daarom kan dit kadevak goedgekeurd worden op het faalmechanisme piping.

5.4.2 Eenvoudige toets piping - heave

Om te bekijken of er überhaupt verticaal zandtransport (heave) kan optreden is de heave toets volgens het heavecriterium [9] uitgevoerd voor kadevak 329 [0375-0900]. Als toelaatbaar verhang is een waarde van 0,5 aangehouden conform Onderzoeksrapport Zandmeevoerende Wellen [9]. Zie tabel 5-6 voor de resultaten van de heave toets.

Tabel 5-6: Eenvoudige toets piping - heave

Kadevak		Heave toets	Oordeel
329	[0375-0900]	0,77	× Onvoldoende

Omdat bij kadevak 329 [0375-0900] niet kan worden uitgesloten dat er een intredepunt, uittredepunt of heave kan optreden moet voor dit kadevak een gedetailleerde toetsing met de formule van Sellmeijer uitgevoerd worden.

5.4.3 Gedetailleerde toets – situatie hoogwater

Aanscherping van de toets op piping kan worden gedaan met behulp van de methode Sellmeijer conform de Leidraad [3]. De uitgebreide berekening is bijgevoegd in bijlage J en een samenvatting is gegeven in tabel 5-7.

Tabel 5-7: Gedetailleerde toets piping - Sellmeijer

Kadevak		Optredend verval [m]	Toelaatbaar verval [m]	Oordeel
329	[0375-0900]	0,75	0,57	× Onvoldoende

Op basis van de gedetailleerde toets met de formule van Sellmeijer is kadevak 329 [0375-0900] onvoldoende beoordeeld.

5.5 Macrostabiliteit binnentalud

Met macrostabiliteit binnentalud (STBI) wordt het afschuiven van grote delen van een grondlichaam bedoeld. Dit afschuiven treedt op langs rechte of gebogen glijvlakken, door plastische zones, waarin door overbelasting geen krachtenevenwicht meer aanwezig is. In dit project is direct een gedetailleerde toetsing met behulp van stabiliteitsberekeningen uitgevoerd ter beoordeling van de macrostabiliteit.

5.5.1 Eenvoudige toets – situatie hoogwater

Conform de opdracht is bij deze toetsing direct doorgegaan met de gedetailleerde toetsing.

5.5.2 Gedetailleerde toets – situatie hoogwater

Voor de beoordeling van de buitenwaartse en binnenwaartse stabiliteit is in eerste instantie per kadevak het meest maatgevende profiel met daarbij de meest maatgevende bodemopbouw geschematiseerd. Voor de maatgevende profielen per kadevak wordt verwezen naar paragraaf 4.1.2 en bijlage F, voor de maatgevende grondopbouw per kadevak wordt verwezen naar paragraaf 4.2.2. Wanneer uit de beoordeling van deze schematisatie een voldoende oordeel volgt, krijgt het gehele kadevak voor deze faalmechanismen een voldoende oordeel toegekend.

Bij de gedetailleerde toetsing wordt een stabiliteitsanalyse uitgevoerd. De Leidraad toetsen maakt onderscheid tussen niveau 1 en 2, waarbij het verschil zit in de beschikbaarheid van laboratoriumonderzoek en waterspanningsgegevens waarmee de parameters binnen de stabiliteitsanalyse kunnen worden aangescherpt. Bij toetsing van de boezemkaden moet altijd beschikking zijn over lokaal of regionaal laboratoriumonderzoek, waardoor dus altijd gelijk niveau 2 wordt uitgevoerd.

De stabiliteitsanalyse wordt in eerste instantie uitgevoerd door middel van een glijcirkelanalyse volgens de methode Bishop. Naast deze analyse moet ook een drukstaafsom worden gemaakt als de opdrijfveiligheid ergens in het profiel lager wordt dan 1,2. Indien de opbarstveiligheid <1,0 is dan is een opbarstzone toegevoegd met een reductie van de sterkteparameters c' en ϕ' gelijk aan 0. Voor een opbarstveiligheidsfactor tussen 1,0 en 1,2 is een drukstaafsom met model Uplift Van uitgevoerd.

Er is niet getoetst op horizontaal afschuiven voor kadevak 329 [0375-0900] en 330 [220-1025]. Voor deze kadevakken kan hydraulische kortsluiting niet uitgesloten worden, in de kadevakken ligt er óf een afdekkend kleipakket op het veen met een dikte groter dan 1 m óf is het verval over de kering kleiner dan 2 m. Conform het addendum op de Leidraad uit 2010 [12] mag aangenomen worden dat onder deze voorwaarden de horizontale vervorming beperkt is. Hieronder in tabel 5-10 zijn de stabiliteitsfactoren gegeven per kadevak en per glijvlakmodel. Het volledige toetsoordeel is gegeven in paragraaf 5.5.7.

In kadevak 330 [0000-0220] is een houten beschoeiing aanwezig in het binnentalud. Het is niet duidelijk of de houten beschoeiing een stabiliteitsfunctie heeft ten aanzien van de waterkering. Aangenomen is dat de beschoeiing wel grondkerend is, dus de verwachting is dat de beschoeiing de maatgevende glijcirkel niet onderbreekt. Om die reden is in de stabiliteitsberekening gekozen om een 'forbidden line' toe te voegen waardoor de glijcirkel onder beschoeiing door gaat. Dit is een conservatieve schematisering.

5.5.3 Eenvoudige toets – situatie droogte

Conform de opdracht is bij deze toetsing direct doorgegaan met de gedetailleerde toetsing.

5.5.4 Gedetailleerde toets – situatie droogte

Omdat de Grote Kerkvlietkade voor een groot deel uit veen bestaat dient er ook op droogte getoetst te worden. Dezelfde grondopbouw en profiel per kadevak als bij de toets bij hoogwater is aangehouden voor de toets op droogte. De geohydrologische situatie is aangepast naar de schematisaties aangehouden in paragraaf 3.4.4. Zie hieronder in tabel 5-10 de stabiliteitsfactoren per kadevak.

5.5.5 Aanvullende gedetailleerde toets – situatie hoogwater en droogte

Een aantal kadevakken kan niet goedgekeurd worden met de stabiliteitsberekeningen voor belastingsituaties hoogwater en droogte. Er is bekeken of een restbreedte analyse uitgevoerd kan worden voor deze kadevakken, echter is dit voor geen enkel vak mogelijk. Voor de meeste kadevakken met een score onvoldoende is er over de gehele kering een te lage stabiliteitsfactor gevonden. Daarnaast is conform paragraaf 3.2 van het Technisch Rapport Actuele sterkte van dijken [13] de voorwaarde dat de opbarstveiligheidsfactor groter moet zijn dan 1,2. Op basis van bovenstaande kan geen enkel kadevak goedgekeurd worden op restbreedte.

5.5.6 Afleiding schematiseringsfactoren nadere toetsing

In de oorspronkelijke toetsing is de standaard schematiseringsfactor van 1,2 gebruikt, echter voor het uitvoeren van de nadere toetsing voor kadevakken 329 [0375-0900], 329 [1443-1564], 330 [0000-0220] en 330 [1313-1538] is geadviseerd om de schematiseringsfactor

specifiek per kadevak af te leiden om zodoende een lagere schematiseringsfactor te kunnen hanteren bij de toetsing. De schematiseringsfactor is afgeleid conform het stappenplan voor het afleiden van de schematiseringsfactor [14] en de LTVRW 2015.

Met drie scenario's en een bijbehorende kans van voorkomen zijn de schematiseringsfactoren afgeleid. De scenario's zijn in tabel 5-8 beschreven.

Tabel 5-8: Overzicht scenario's die zijn gehanteerd bij het afleiden van de schematiseringsfactor

Scenario	Kans (PS_i)	Beschrijving
A	10%	Voor elk kadevak is minstens 1 boring en 1 sondering uitgevoerd. Zeer lokaal bestaat de mogelijkheid dat de dikte van de veenlaag groter is dan uit het grondonderzoek afgeleid kan worden. De verandering in schematisatie van de veenlaag wordt doorgevoerd bij de onderkant van de veenlaag (dikte wordt naar onder toe groter).
B	1%	De Kerkvliet is een sterk gereguleerd boezemwater, het kan echter voorkomen bij langdurig hoogwater dat de freatische lijn hoger komt te liggen in de binnenkruin. Omdat het peil sterk gereguleerd is, is de kans hierop relatief klein.
C	5%	Er zijn per kadevak een aantal dwarsprofielen ingemeten, hieruit is een gecombineerd maatgevend profiel per kadevak vastgesteld. Echter kan het voorkomen dat de teensloot waar niet gemeten is wat dieper ligt. Over het algemeen is een vrij uniform dwarsprofiel per kadevak gevonden dus aangenomen kan worden dat de diepte van de teensloot niet veel varieert. De kans van voorkomen is niet klein, ook niet groot.

Volgens het stappenplan voor het afleiden van de schematiseringsfactor en tabel 1 uit bijlage II van de LTVRW 2015 zijn de schematiseringsfactoren per kadevak vastgesteld. In tabel 5-9 zijn de resultaten van de afleiding gegeven en ook de vereiste veiligheidsfactor (schadefactor 0,8 (IPO klasse I) en modelfactor 1,0 voor Bishop en 1,05 voor Uplift Van).

Tabel 5-9: Gehanteerde schematiseringfactoren en veiligheidsfactoren per kadevak bij nadere toetsing

Kadevak	Metrering	Schematiseringsfactor	Vereiste veiligheidsfactor BS	Vereiste veiligheidsfactor DR
329	[0375-0900]	1,03	0,82	0,87
	[1443-1564]	1,03	0,82	0,87
330	[0000-0220]	1,06	0,85	0,89
	[1313-1538]	1,17	0,94	0,98

In bijlage O van dit rapport is de analyse voor het afleiden van de schematiseringsfactor gegeven.

5.5.7 Eindresultaat toets op Macrostabiliteit binnentalud

In tabel 5-10 is het eindresultaat voor de toetsing op macrostabiliteit binnentalud gegeven. In bijlage K is een overzichtskaart van het projectgebied toegevoegd met daarin het oordeel voor STBI, daarbij zijn de resultaten van alle stabiliteitsberekeningen in bijlage K toegevoegd. De kadevakken gemarkeerd met een * in tabel 5-10 zijn nader getoetst. Hier zijn de schematiseringsfactoren gehanteerd die gegeven in tabel 5-9 uit de voorgaande paragraaf. Voor kadevak 329 [0375-0900] zijn twee berekeningen gemaakt omdat dit vak in twee verschillende peilgebieden valt, een droogte berekening voor 329 [0375-0900] (peil [0000-0485]) is niet meer gemaakt omdat bij het andere peil ([0485-1312], maatgevend boven het peil bij metrering [0000-0485]) al onvoldoende stabiliteit was vastgesteld.

Tabel 5-10: Eindresultaat stabiliteit binnenwaarts per kadevak en glijvlakmodel voor de situatie hoogwater en droogte

	Kadevak	γ situatie hoogwater BS / DR	γ situatie droogte BS / DR	Vereiste γ BS / DR	Eindoordeel
329	[0000-~~0485~~0375]	0,42 / 1,36	1,04 / 1,06	0,97 / 1,01	× Onvoldoende
	[0375-0900] peil (0000-0485)*	0,59 / 0,55	- / -	0,82 / 0,87	× Onvoldoende
	[0375-0900] peil (0485-1312)*	0,62 / 0,56	0,76 / 0,69	0,82 / 0,87	× Onvoldoende
	[0900-1312]	0,50 / 0,60	1,07 / 1,17	0,97 / 1,01	× Onvoldoende
	[1312-1443]	1,24 / 1,93	2,06 / 2,65	0,97 / 1,01	✓ Voldoende
	[1443-1564]*	1,08 / 1,47	1,28 / 1,22	0,82 / 0,87	✓ Voldoende
330	[0000-0220]*	0,83 / 0,88	1,04 / 1,13	0,85 / 0,89	× Onvoldoende
	[0220-1025]	2,90 / n.v.t.	4,79 / n.v.t.	0,97 / 1,01	✓ Voldoende
	[1025-1313]	1,47 / 1,40	1,45 / 2,29	0,97 / 1,01	✓ Voldoende
	[1313-1538]*	0,86 / 0,96	1,40 / 1,39	0,94 / 0,98	× Onvoldoende

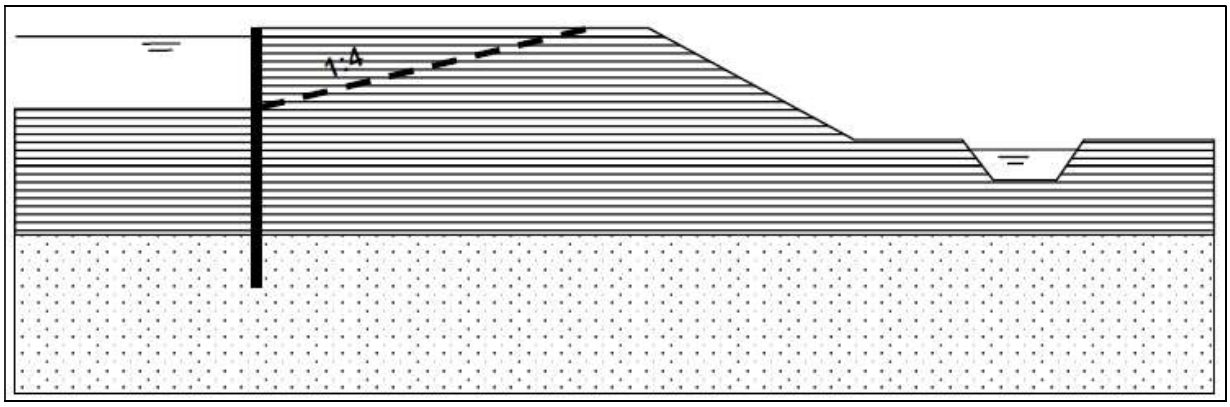
5.6 Macrostabiliteit buitentalud

Macro-instabiliteit van het buitentalud is een vergelijkbaar mechanisme als dat bij het binnentalud, met het verschil dat de maatgevende situatie wordt gecreëerd door een val van het boezempeil. Deze val kan leiden tot instabiliteit. Het mechanisme wordt beoordeeld aan de hand van een glijcirkel- of restbreedte analyse, met behulp van dezelfde gegevens als bij macrostabiliteit binnentalud.

Voor vakken waar een damwand/beschoeiing aanwezig is wordt eerst gekeken of voldoende kruinbreedte aanwezig is indien een bezwijking zou plaatsvinden. Wanneer dit het geval is mag het vak eenvoudig als voldoende worden beoordeeld. Na deze eenvoudige toets wordt bij alle vakken de buitenwaartse stabiliteit berekend.

5.6.1 Restbreedte na bezwijking

In de meest recente versie van de Leidraad toetsen [3] staat geen methode om de restbreedte toe te passen, daarom wordt de stabiliteit getoetst aan de hand van de eenvoudige toetsing die beschreven staat in de Leidraad toetsen [2] paragraaf 4.9.3 en het addendum [12]. Hierbij wordt ervan uitgegaan dat wanneer een damwand bezwijkt, het talud van de kade een helling heeft van 1 : 4. Vervolgens is getoetst of de resterende breedte over een lengte van 1,5 meter boven het toetspeil ligt.



In kadevak 330 [0000-0220] is voor de woning een beschoeiing in het buitentalud aanwezig, echter is bij de visuele inspectie gebleken dat de beschoeiing uitbuigt. Daarom zijn de sterkte eigenschappen onzeker en wordt de beschoeiing in dit vak verder niet beschouwd als onderdeel van de waterkering.

In tabel 5-11 staan de resultaten van de restbreedte analyse uitgevoerd voor kadevakken 329 [1312-1443] metrering [1403-1443] (stalen damwand) en 329 [1443-1564] (houten beschoeiing). In bijlage L is de uitgebreide analyse gegeven.

Tabel 5-11: Restbreedte toets stabiliteit buitentalud

Kadevak		Kruinbreedte op MBP [m]	Vereiste kruinbreedte [m]	Vereiste restbreedte (m)	Eindoordeel
329	[1403-1443]	>1,5	>1,5	>1,5	✓ Voldoende
	[1443-1564]	<1,5	>1,5	>1,5	× Onvoldoende

5.6.2 Eenvoudige toets – situatie hoogwater

Macro-instabiliteit van het buitentalud kan verschillende oorzaken hebben, die overwegend gerelateerd zijn aan een snelle daling van de waterstand:

- Extreem laag water door natuurlijke variatie (bij boezemkaden en rivierkeringen);
- Val van het waterpeil door een calamiteit elders;
- Verdieping van de waterbodem (baggeren) of vooroever door erosie (stroming of scheepvaart) en schade aan beschoeiing;
- Extreme belastingen, bijvoorbeeld door zwaar verkeer;
- Extreem laagwater door (tijdelijke) verlaging van de waterstand door menselijke activiteiten.

De toetsing op STBU hoeft niet gedaan te worden als bovenstaande situaties kunnen worden uitgesloten, of als er sprake is van een voorland dat hoger ligt dan geldend toetspeil. Bij de boezemkaden in het gebied van HDSR kan sprake zijn van een val van het waterpeil door een calamiteit elders. Hoewel er gecompartimenteerd kan worden, zal er gedurende de eerste periode na bezwijking een waterstandsverlaging optreden. In het geval van een calamiteit elders staat het boezempeil in de maatgevende situatie voor STBU heel laag. Er is in dit geval waarschijnlijk geen sprake van een overstroming van de beoordeelde kade en een onveilige situatie voor het achterland. De schade die dit mechanisme aan de kade kan aanbrengen, en de kosten en tijd die nodig zijn om dit te herstellen, hebben HDSR doen besluiten om dit toetsspoor toch uitgebreid te beoordelen.

5.6.3 Gedetailleerde toets – situatie hoogwater

Alle profielen zijn gedetailleerd getoetst door middel van stabiliteitsberekeningen volgens de methode Bishop. Ook kadevak 329 [1443-1564] is gedetailleerd getoetst ter volledigheid, echter is hier langs het gehele buitentalud een beschoeiing aanwezig, zie tabel 5-11. Omdat er geen informatie beschikbaar is over de beschoeiing in dit kadevak is besloten de

beschoeiing niet te schematiseren in de stabiliteitstoets. Als meer informatie beschikbaar komt over de eigenschappen van de beschoeiing kan een beter oordeel gegeven worden. De resultaten van de gedetailleerde toetsing met D-Geo Stability zijn bijgevoegd in bijlage L en weergegeven in tabel 5-12.

Tabel 5-12: Resultaten gedetailleerde toetsing STBU

Kadevak		Damwand / houten beschoeiing	γ situatie peilval BS	Vereiste γ BS	Oordeel
329	[0000-0375]	Nee	0,51	0,97	× Onvoldoende
	[0375-0900]	Nee	-	0,97	× Onvoldoende
	[0900-1312]	Nee	0,52	0,97	× Onvoldoende
	[1312-1443]	Ja, metrering [1403-1443]	0,81	0,97	× Onvoldoende
	[1443-1564]	Ja	0,41	0,97	× Onvoldoende
330	[0000-0220]	Ja	0,50	0,97	× Onvoldoende
	[0220-1025]	Nee	0,70	0,97	× Onvoldoende
	[1025-1313]	Nee	0,52	0,97	× Onvoldoende
	[1313-1538]	Nee	0,95	0,97	× Onvoldoende

5.6.4 Eindresultaat toets op macrostabiliteit buitentalud

In tabel 5-13 is het eindresultaat voor de toetsing op macrostabiliteit buitentalud gegeven. In bijlage L is een overzichtskaart van het projectgebied toegevoegd met daarin het oordeel voor STBU. In deze bijlage staan ook de uitkomsten van de restbreedte analyse en de gedetailleerde stabiliteitsberekeningen.

Tabel 5-13: Eindresultaat toetsing macrostabiliteit buitentalud

Kadevak		Restbreedte	Gedetailleerde toets	Oordeel
329	[0000-0375]	n.v.t.	Onvoldoende	× Onvoldoende
	[0375-0900]	n.v.t.	Onvoldoende	× Onvoldoende
	[0900-1312]	n.v.t.	Onvoldoende	× Onvoldoende
	[1312-1403]	n.v.t.	Onvoldoende	× Onvoldoende
	[1403-1443]	Voldoende	n.v.t.	✓ Voldoende
	[1443-1564]	Onvoldoende	Onvoldoende	× Onvoldoende
330	[0000-0220]	n.v.t.*	Onvoldoende	× Onvoldoende
	[0220-1025]	n.v.t.	Onvoldoende	× Onvoldoende
	[1025-1313]	n.v.t.	Onvoldoende	× Onvoldoende
	[1313-1538]	n.v.t.	Onvoldoende	× Onvoldoende

* afgekeurd op basis van visuele inspectie.

5.7 Microstabiliteit

Micro-instabiliteit is het uitspoelen van zand uit het binnentalud van de kade door uittredend grondwater. De toetsing van dit faalmechanisme is alleen relevant indien er zand in de kade voorkomt.

5.7.1 Aanwezigheid zand in de kade

Microstabiliteit treedt alleen op als er zand in de kade aanwezig is. Indien dit niet het geval is, kan aan dit toetsspoor een oordeel voldoende worden toegekend.

Een analyse van het beschikbare grondonderzoek is uitgevoerd om te beoordelen of er zand in de kruin van de waterkering aanwezig is. In het grondonderzoek van kadevakken 329 en 330 is in de kruin van de waterkering geen zand gevonden met uitzondering van het funderingspakket van de wegverharding op de kruin bij kadevak 329. Omdat er geen zand aanwezig is in de kern van de waterkering wordt voldaan aan faalmechanisme STMI voor beide kadevakken. Daarom is de score ‘goed’ voor microstabiliteit binnenwaarts voor de kadevakken 329 en 330, zie tabel 5-14 , dit is meteen ook het eindoordeel voor faalmechanisme STMI, een verdere beoordeling is niet benodigd.

Tabel 5-14:Eindoordeel toetsing STMI

Kadevak		Zand in kern van waterkering?	Eindoordeel
329	[0000-0375]	Nee	✓ Voldoende
	[0375-0900]	Nee	✓ Voldoende
	[0900-1312]	Nee	✓ Voldoende
	[1312-1443]	Nee	✓ Voldoende
	[1443-1564]	Nee	✓ Voldoende
330	[0000-0220]	Nee	✓ Voldoende
	[0220-1025]	Nee	✓ Voldoende
	[1025-1313]	Nee	✓ Voldoende
	[1313-1538]	Nee	✓ Voldoende

5.8 Bekledingen

Conform de opdracht is geen toets op STBK uitgevoerd.

5.9 Stabiliteit voorland

Conform de opdracht is geen toets op STVL uitgevoerd.

5.10 Waterkerende objecten

In paragraaf 2.2 staan onder andere de waterkerende objecten genoemd, hieronder worden de constructies die zich bevinden in of langs de waterkering beoordeeld, zie tabel 5-22.

Tabel 5-15: Toetsing overige constructies

Type	Kunstwerknr.	Locatie	Wijze van beoordelen	Oordeel
Houten beschoeiing	-	330 [0000-0220] buitentalud	Visuele inspectie	× Onvoldoende
Houten beschoeiing	-	329 [1443-1564] buitentalud	Beschikbare informatie	Geen oordeel
Stalen damwand	-	329 [1403-1443] buitentalud	Beschikbare informatie	Geen oordeel
Afsluitbare duiker	DK5045	329 [1312-1443] In kering	Beschikbare informatie	Geen oordeel

De houten beschoeiing langs het buitentalud bij kadevak 330 [0000-0220] is bij de visuele inspectie afgekeurd op basis van het uitbuigen van de damwandplanken, zie paragraaf 2.4.

Om de overige kunstwerken te kunnen beoordelen zijn as-built tekeningen met daarin informatie over afmetingen en gebruikt materiaal benodigd. Ook een inspectie naar de staat waarin het kunstwerk verkeert is benodigd om een oordeel te kunnen geven. Omdat er niet voldoende informatie beschikbaar is van de kunstwerken kan geen beoordeling gegeven worden.

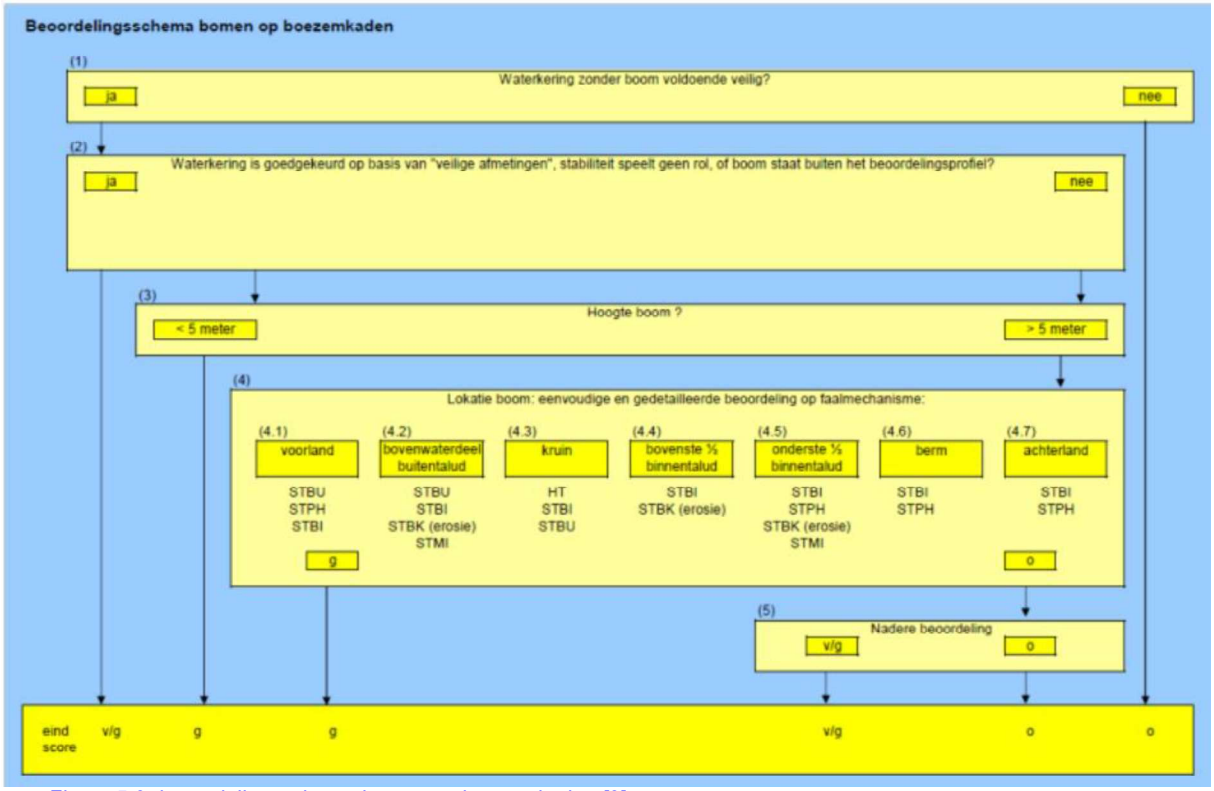
5.11 Niet-Waterkerende Objecten (NWO's)

In deze paragraaf zijn de volgende niet-waterkerende objecten op de kade behandeld:

- Bomen;
- Bebouwing;
- Kabels en leidingen;
- Overige constructies.

5.11.1 Toetsing bomen

De aanwezige bomen/boomgroepen en boomrijen zijn getoetst en beoordeeld volgens Bijlage 6 van de Leidraad Toetsen op Veiligheid Regionale Keringen [3]. De toetsing verloopt volgens onderstaande beoordelingsschema.



Figuur 5-2: beoordelingsschema bomen op boezemkaden [3]

Indien uit de stabiliteitsberekening (exclusief bomen) blijkt dat de betreffende kade instabiel is, worden de bomen op de kade automatisch als onvoldoende beoordeeld en niet nader beschouwd. De aanwezige bomen op de kade in het projectgebied bevinden zich allemaal in het beoordelingsprofiel van de kade. Bomen in het beoordelingsprofiel van de (stabiele) kade met een hoogte lager dan 5,0 m worden beoordeeld met de score goed. Hogere bomen worden beoordeeld met een eenvoudige of gedetailleerde toetsing, zie ook onderstaande tabel.

Op basis van het beoordelingsschema worden alle bomen op de kade beoordeeld met de score “onvoldoende”.

Tabel 5-16: Overzicht bomen op de kade

Kadevak		Kade stabiel?		Doorsnijdt profiel?	Hoogte bomen [m]			Eindoordeel
		STBI	STBU		Binnen	Kruin	Buiten	
329	[0000-0375]	Nee	Nee	Ja	> 5	-	> 5	✗ Onvoldoende
	[0375-0900]	Nee	Nee	Ja	> 5	-	< 5	✗ Onvoldoende
	[0900-1312]	Nee	Nee	Ja	> 5	-	< 5	✗ Onvoldoende
	[1312-1443]	Ja	Ja	Ja	< 5	-	< 5	✓ Voldoende
	[1443-1564]	Nee	Nee	Ja	-	> 5	-	✗ Onvoldoende
330	[0000-0220]	Nee	Nee	Ja	-	> 5	-	✗ Onvoldoende
	[0220-1025]	Ja	Nee	-	-	-	-	n.v.t.
	[1025-1313]	Ja	Nee	-	-	-	-	n.v.t.
	[1313-1538]	Nee	Nee	-	-	-	-	n.v.t.

5.11.2 Toetsing bebouwing

In de oost- en westzijde van het projectgebied bevinden zich woningen op de kruin en het binnentalud van de kade die naar verwachting het beoordelingsprofiel van de kade snijden. Tijdens deze toetsing waren geen funderingsgegevens van de betreffende belendingen beschikbaar.

De woningen op en naast de kade zijn beoordeeld met de score “geen oordeel”.

5.11.3 Toetsing kabels en leidingen

Bestaande kabel- en leidingtracés in of bij de waterkering zijn getoetst volgens de leidraad toetsen regionale keringen [3]. Het Voorschrift Toetsen op Veiligheid Primaire Waterkeringen 2006 (VTV 2006) [10] geeft het algemene beoordelingsschema voor NWO's.

Middels de uitgevoerde KLIC-meldingen, zie bijlage M, is inzichtelijk gemaakt welke kabels en leidingen aanwezig zijn in het plangebied. Op basis van paragraaf 4.4 uit Katern 10 van de VTV 2006 is bepaald welke kabels en leidingen nader beschouwd dienen te worden.

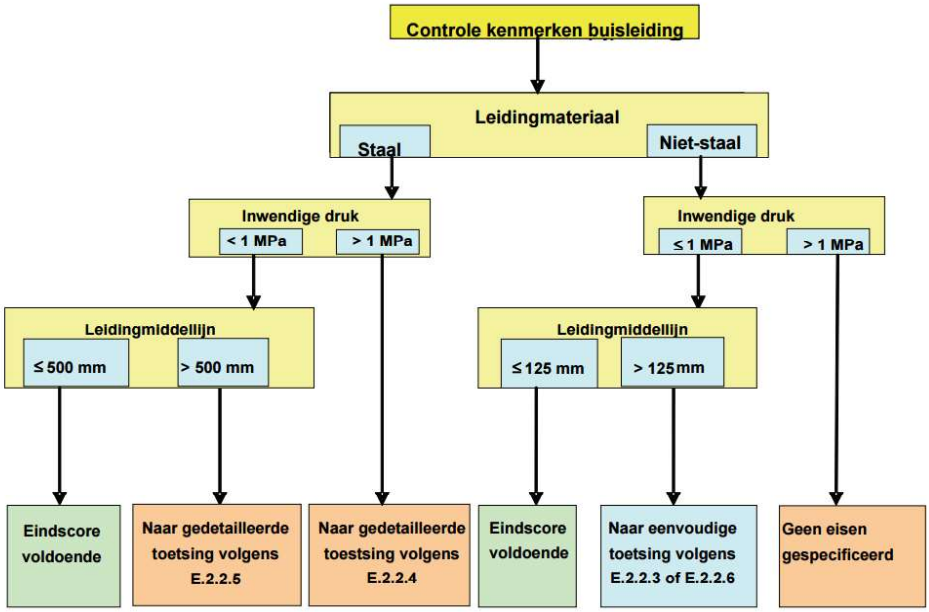
Kabels worden conform de VTV 2006 niet getoetst. Eventuele mantelbuizen zijn getoetst als drukloze leidingen. Huisaansluitingen zijn niet beschouwd. In onderstaande tabel 5-17 een overzicht van de nader te beschouwen onderdelen.

Tabel 5-17: Overzicht nader te beschouwen K&L

Soort	Beheerder	Type	Nader te beschouwen volgens VTV 2006
Laagspanning	Stedin	Kabel	Nee
Laagspanning	Gemeente Krimpenerwaard	Kabel	Nee
Middenspanning	Stedin	Kabel + mantelbuis	Ja
Data	Stedin	Kabel	Nee
Data	KPN	Kabel + mantelbuis	Ja
Data	SREK	Kabel + mantelbuis	Ja
Gas, lage druk	Stedin	Leiding + HDD	Ja
Drinkwater	Vitens	Leiding	Ja
Drinkwater	Oasen	Leiding	Ja
Riool, vrij verval	Gemeente Lopik	Leiding	Ja
Riool, vrij verval	Gemeente Krimpenerwaard	Leiding	Ja
Riool, pers	Gemeente Lopik	Leiding	Ja
Riool, pers	Gemeente Krimpenerwaard	Leiding	Ja

HDD = horizontaal gestuurd boring

Bestaande leidingen worden getoetst volgens figuur E.1 uit paragraaf E.2.2.2 van de NEN 3651:2012 [11], zie onderstaande figuur 5-3.



Figuur 5-3: Schema vaststelling risiconiveau en noodzaak vervolgbeoordeling [11]

Gas, lage druk

In deze paragraaf worden alle lage druk gasleidingen die niet door middel van een horizontaal gestuurde boring zijn aangelegd getoetst.

Aan de oost- en westzijde van het projectgebied bevinden zich lage druk gasleidingen. De bedrijfsdruk van de gasleidingen is niet bekend. De verwachte werkdruk voor lage druk gasleidingen is ongeveer 100 mbar. Bij de toetsing is aangenomen dat de bedrijfsdruk lager is dan 1 MPa.

In onderstaande tabel zijn de gegevens en het oordeel per leiding weergegeven. Alle lage druk gasleidingen zijn beoordeeld met de score voldoende.

Tabel 5-18: Toetsing lage druk gasleidingen

Beheerder	Jaar van aanleg	Druk * [bar]	Materiaal	Diameter [mm]	Oordeel
Stedin	onbekend	< 10	PVC / CPE	32	✓ Voldoende
Stedin	1999	< 10	PVC / CPE	63	✓ Voldoende
Stedin	1988	< 10	PVC / CPE	110	✓ Voldoende
Stedin	1991	< 10	PVC / CPE	110	✓ Voldoende

** werkdruk niet bekend*

Drinkwater

In deze paragraaf worden alle drinkwaterleidingen die niet door middel van een horizontaal gestuurde boring zijn aangelegd getoetst.

Aan de oost- en westzijde van het projectgebied bevinden zich drinkwaterleidingen. De bedrijfsdruk van de drinkwaterleidingen is niet bekend. De verwachte werkdruk voor drinkwaterleidingen is ongeveer 3,5 bar. Bij de toetsing is aangenomen dat de bedrijfsdruk lager is dan 1 MPa.

In onderstaande tabel zijn de gegevens en het oordeel per leiding weergegeven. Alle drinkwaterleidingen zijn beoordeeld met de score voldoende.

Tabel 5-19: Toetsing drinkwaterleidingen

Beheerder	Jaar van aanleg	Druk * [bar]	Materiaal	Diameter [mm]	Oordeel
Oasen	onbekend	< 10	HPE	110	✓ Voldoende
Vitens	onbekend	< 10	PE	40	✓ Voldoende
Vitens	onbekend	< 10	PE	63	✓ Voldoende

** werkdruk niet bekend*

Riolering, vrij verval

Aan de oost- en westzijde van het projectgebied bevinden zich diverse drukloze rioleringsputten, welke deel uit maken van het systeem met rioleringspersleidingen. Deze putten zijn niet beoordeeld in deze toetsing.

Riolering, persleiding

In deze paragraaf worden alle persleidingen van het rioleringssysteem die niet door middel van een horizontaal gestuurde boring zijn aangelegd getoetst.

Aan de oost- en westzijde van het projectgebied bevinden zich rioolpersleidingen. In onderstaande tabel zijn de gegevens en het oordeel per leiding weergegeven. De persleidingen in het oosten zijn door gebrek aan gegevens niet beoordeeld. De overige persleidingen zijn beoordeeld met de score voldoende.

Tabel 5-20: Toetsing persleidingen riolering

Beheerder	Jaar van aanleg	Druk * [bar]	Materiaal	Diameter [mm]	Oordeel
Gem. Krimpenerwaard	onbekend	< 10	PE	63	✓ Voldoende
Gem. Lopik	onbekend	< 10	onbekend	onbekend	Geen oordeel

** werkdruk niet bekend*

Horizontaal gestuurde boringen en mantelbuizen

In het projectgebied bevinden zich de volgende gestuurde boringen (HDD) of mantelbuizen. Op basis van de uitgevoerde KLIC-meldingen is door gebrek aan gegevens over de gestuurde boringen en mantelbuizen geen toetsing uitgevoerd, zie tabel 5-21.

Tabel 5-21: Toetsing horizontaal gestuurde boringen en mantelbuizen

Type	Beheerder	Jaar van aanleg	Wijze van aanleg	Materiaal	Diameter [mm]	Oordeel
Middenspanning	Stedin	onbekend	onbekend	onbekend	onbekend	Geen oordeel
Lage druk gas	Stedin	onbekend	HDD	HDPE	110	Geen oordeel
Data	KPN	onbekend	onbekend	onbekend	onbekend	Geen oordeel
Data	SREK	onbekend	onbekend	onbekend	onbekend	Geen oordeel

Conclusie toetsing K&L

De toetsing van de kabels en leidingen is uitgevoerd op basis van de informatie uit de KLIC-meldingen. In verband met ontbrekende gegevens (werkdruk leidingen) kunnen de bestaande leidingen niet definitief beoordeeld worden. De gepresenteerde resultaten betreffen voorlopige toetsresultaten. Voor de ontbrekende gegevens zijn veilige richtwaarden gehanteerd.

De leidingen zijn getoetst volgens paragraaf E.2.2.2 van de NEN 3651:2012. Hierbij is het grootste deel van de leidingen met een score voldoende beoordeeld. De overige leidingen, mantelbuizen en HDD zijn door het gebrek aan gegevens niet beoordeeld. Deze gegevens dienen bij de betreffende kabels en leidingbeheerder opgevraagd te worden om de toetsing te vervolledigen.

Kabels worden conform de VTV 2006 niet nader getoetst. Huisaansluitingen zijn in deze beoordeling niet beschouwd.

5.11.4 Toetsing overige constructies

In paragraaf 2.2 staan de overige constructies binnen het projectgebied genoemd, hieronder worden de constructies die zich bevinden in of langs de waterkering beoordeeld, zie tabel 5-22.

Tabel 5-22: Toetsing overige NWO's

Type	Kunstwerknr.	Locatie	Wijze van beoordelen	Oordeel
Inlaat	IN0007	330 [0000-0220] In kernzone	Beschikbare informatie	Geen oordeel
Inlaat (vispassage)	IN0006 / VP0307	330 [1025-1313] In kernzone	Beschikbare informatie	Geen oordeel
Duiker	DK3433	329 [1312-1443] In kernzone	Beschikbare informatie	Geen oordeel
Sifon	SY5044	329 [1312-1443] In kernzone	Beschikbare informatie	Geen oordeel

Om de overige constructies te kunnen beoordelen zijn as-built tekeningen met daarin informatie over afmetingen en gebruikt materiaal benodigd. Ook een inspectie naar de staat waarin het kunstwerk verkeert is benodigd om een oordeel te kunnen geven. Omdat er niet voldoende informatie beschikbaar is van de kunstwerken kan geen beoordeling gegeven worden.

6 Conclusie

6.1 Overzicht toetsing

Op basis van voorgaande hoofdstukken kan geconcludeerd worden dat de kadevakken 329 en 330 van de Grote Kerkvlietkade het oordeel “onvoldoende” krijgen. Alleen een deel van kadevak 329 [1312-1443] metrering [1403-1443] scoort op alle getoetste faalmechanismen een score ‘voldoende’.

Geen enkel geheel kadevak voldoet aan alle getoetste faalmechanismes die binnen de scope van dit project zijn vastgelegd, zie tabel 6-1. De faalmechanismes STBK en STVL zijn niet getoetst, en voor de NWO’s zijn alleen de bomen, bebouwing en kabels en leidingen getoetst.

Alle kadevakken waar bomen aanwezig zijn, zijn afgekeurd in de bomentoets behalve kadevak 329 [1312-1443].

Voor de bebouwing aan de oost- en westzijde van het projectgebied is de score ‘geen oordeel’ gegeven omdat er geen gegevens van de fundering beschikbaar zijn.

De drinkwaterleidingen en de lage druk gasleidingen zijn beoordeeld met een score ‘voldoende’ evenals het persriool van de gemeente Krimpenerwaard. Van het persriool van de gemeente Lopik zijn te weinig gegevens bekend om een oordeel te kunnen geven. In het projectgebied bevinden zich een aantal horizontaal gestuurde boringen met kabels en een leiding, omdat hier te weinig gegevens van bekend zijn kan geen oordeel gegeven worden.

De aanwezige kunstwerken binnen het projectgebied kunnen niet beoordeeld worden omdat er niet voldoende informatie (as-built tekeningen, inspectie) beschikbaar is. Met as-built tekeningen en een inspectie van de constructies langs de Grote Kerkvlietkade kan wel een oordeel gegeven worden over deze constructies.

De houten beschoeiing in kadevak 330 [0000-0220] is op basis van de visuele inspectie afgekeurd. De beschoeiing in kadevak 329 [1443-1564] is nu beoordeeld met een onvoldoende, indien meer informatie over de eigenschappen van de beschoeiing verkregen wordt kan wellicht het oordeel bijgesteld worden naar voldoende. Het deel met metrering [1403-1443] in kadevak 329 [1312-1443] waar een stalen damwand aanwezig is, is goedgekeurd op STBU op basis van de restbreedte analyse. Het blijft echter onbekend wat de staat is van de stalen damwand door gebrek aan informatie, de stalen damwand zelf kan daarom niet beoordeeld worden.

Tabel 6-1: Eindoordeel toetsing Grote Kerkvlietkade, kadevakken 329 en 330

	Kadevak	HT	STPH	STBI	STBU	STMI	Eindoordeel
329	[0000-0375]	V	V	O	O	V	× Onvoldoende
	[0375-0900]	V	O	O	O	V	× Onvoldoende
	[0900-1312]	V	V	O	O	V	× Onvoldoende
	[1312-1403]	V	V	V	O	V	× Onvoldoende
	[1403-1443]	V	V	V	V	V	✓ Voldoende
	[1443-1564]	O	V	V	O	V	× Onvoldoende
330	[0000-0220]	O	V	O	O	V	× Onvoldoende
	[0220-1025]	O	V	V	O	V	× Onvoldoende
	[1025-1313]	O	V	V	O	V	× Onvoldoende
	[1313-1538]	O	V	O	O	V	× Onvoldoende

6.2 Aanbevelingen

Aanbevolen wordt om de kruin van kadevakken 329 en 330 te verhogen voor de deelvakken waar een hoogtetekort is aangetroffen. Belangrijk is dat de kruin met een breedte van groter dan 1,5 m voldoet aan de leggerhoogte. Een meekoppelkans kan zijn om de beheerder/eigenaar van de weg op de kruin te benaderen om te bekijken of de weg aan vervanging toe is en deze werkzaamheden gelijktijdig met het versterken van de waterkering uit te voeren.

Voor de bestaande bomen op de kade wordt geadviseerd de bomentoets nader te beschouwen bij eventuele ontwerpwerkzaamheden in het vervolgtraject en deze terug te snoeien / kandelaberen tot een hoogte < 5 m.

Daarnaast dient het binnentalud versterkt te worden in een aantal deelvakken, dit kan gebeuren met een grondoplossing of een constructieve oplossing zoals een stabiliteitsscherm of palenrij in het binnentalud.

Voor de meeste deelvakken is de buitenwaartse stabiliteit onvoldoende, de buitenwaartse stabiliteit kan verbeterd worden met een grondoplossing of een constructieve oplossing zoals een stabiliteitsscherm van hout of staal.

Bij de toetsing van de kade is gebruikt gemaakt van de grondparameterset uit het kadeverbeteringsproject “Vlistkade Oost”. Een deel van het beschikbare grondonderzoek is slechts beperkt bruikbaar. Bij eventuele ontwerpwerkzaamheden in het vervolgtraject van de Grote Kerkvlietkade wordt aangeraden aanvullend, lokaal laboratorium onderzoek uit te voeren.

Voor de kunstwerken die nu beoordeeld zijn met de score “geen oordeel” is nader onderzoek benodigd om tot een definitief oordeel te komen. Hierbij zijn de as-built tekeningen en inspecties benodigd.

Voor de kabels en leidingen die nu beoordeeld zijn met de score “geen oordeel” is nader onderzoek benodigd om tot een definitief oordeel te komen. De ontbrekende informatie dient opgevraagd te worden bij de betreffende netbeheerders.

Literatuur

[1] Waterverordening Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden, Provinciale staten van Utrecht en Zuid-Holland, december 2009.

[2] Leidraad toetsen op veiligheid regionale waterkeringen, Stichting toegepast onderzoek Waterbeheer (STOWA), STOWA 2007, Amersfoort.

[3] Leidraad toetsen op veiligheid regionale waterkeringen, Stichting toegepast onderzoek Waterbeheer (STOWA), STOWA 2015 15, mei 2015, Amersfoort.

[4] Peilbesluit Lopikerwaard, HDSR, 2013.

[5] Kijk op de dijk: Oriëntatie bij kadeverbetering Grote Kerkvlietkade noord en zuid, Sweco, 2016

[6] Geotechnisch ontwerp van constructies – Deel 1: Algemene regels, (NEN), NEN 9997-1:2016 nl, juni 2016.

[7] Uitgangspuntennotitie Vlistkade Oost, Iv-Infra, R-001, juni 2016.

[8] Gedetailleerde beoordeling STPH Vlistkade Oost, Iv-Infra, R-004, juni 2016.

[9] Onderzoeksrapport Zandmeevoerende Wellen, Deltares, 1202123-003, maart 2012

[10] Voorschrift Toetsen op Veiligheid Primaire Waterkeringen, Ministerie van Verkeer en Waterstaat, september 2007.

[11] Aanvullende eisen voor buisleidingen in of nabij belangrijke waterstaatswerken, (NEN), NEN 3651:2012 nl, juni 2012.

[12] Addendum op Leidraad toetsen op veiligheid regionale waterkeringen betreffende de boezemkaden, Stichting toegepast onderzoek Waterbeheer (STOWA), STOWA 2010, Amersfoort.

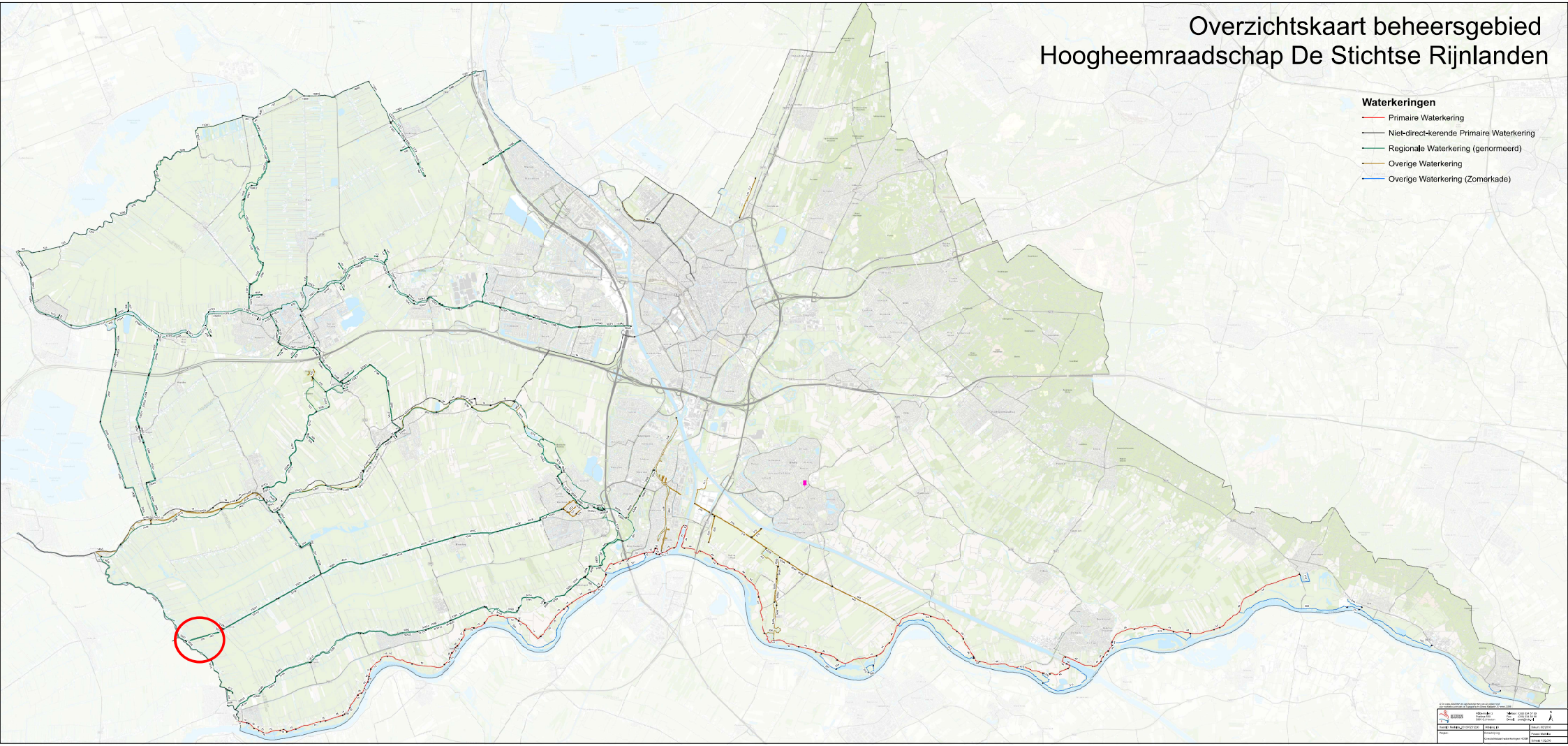
[13] Technisch Rapport Actuele sterkte van dijken, Ministerie van Verkeer en Waterstaat, maart 2009.

[14] Arcadis / Rijkswaterstaat Waterdienst, Stappenplan schematiseringsfactor, 11 juni 2010

Bijlagen

Bijlage A – Overzichtskaart

Overzichtskaart beheersgebied Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden



Bijlage B – Kadevakindeling


0 25 50 75 100 m
Legenda
kadevakindeling
329 [0-375]
329 [375-900]
329 [900-1312]
329 [1312-1443]
329 [1443-1564]
330 [0-220]
330 [220-1025]
330 [1025-1313]
330 [1313-1538]
329 [0-375]
329 [375-900]
329 [900-1312]
329 [1312-1443]
329 [1443-1564]
330 [0-220]
330 [220-1025]
330 [1025-1313]
330 [1313-1538]
Opdrachtgever: HDSR
Project: Toetsing Grote Kerkvlietkade
Projectnummer: INFR160789
Status: Definitief
Datum: 01-05-2017
HOOGHEEMRAADSCHAP DE STICHTSE RIJNLANDEN
Iv-Infra

Bijlage C – Bestuurskaarten peilbesluit Lopikerwaard (selectie)