



hoogheemraadschap
Hollands
Noorderkwartier

Veiligheidstoets

Boezemkaden Heerhugowaard

Nader onderzoek en hertoetsing 2014

Technisch oordeel + Beheerdersoordeel

Auteur: Leo Kwakman, Jannes Haanstra

Controle vakgenoot:

Registratienummer: 15.008308

Datum: 12 februari 2015

Status: Eindconcept

Afdeling

Ingenieursbureau Cluster Onderzoek



1	Inleiding	4
1.1	Aanleiding	4
1.2	Doel	4
1.3	Werkzaamheden	4
2	Projectgebied	6
2.1	Inleiding	6
2.2	Sectie-indeling	6
3	Veld- en laboratoriumonderzoek	8
3.1	Opzet veld- en laboratoriumonderzoek	8
3.2	Uitgevoerd veldonderzoek	8
3.3	Uitgevoerd laboratoriumonderzoek	8
4	Bodemopbouw en geotechnische parameters	9
4.1	Onderscheiden grondsoorten	9
4.2	Globale bodemopbouw	10
4.3	Volumegewichten en watergehaltes per grondsoort	10
4.4	Effectieve schuifsterkte parameters	11
5	Waterstanden en stijghoogtes	12
5.1	Boezempeilen	12
5.2	Polderpeilen	13
5.3	Meetcampagne peilbuizen	14
5.4	Bepaling maatgevende freatische lijn	16
5.5	Verloop stijghoogte in watervoerende zandlagen	22
6	Overige uitgangspunten	35
6.1	Rekenmodel	35
6.2	Schematiseringsfactor	35



6.3	Modelfactoren	35
6.4	Verkeersbelasting	35
6.5	Stabiliteitsfactor	35
7	Technische oordeel boezemkades	37
7.1	Algemeen	37
7.2	Piping (STPH)	37
7.3	Binnenwaartse macrostabiliteit (STBI)	41
7.4	Buitenwaartse macrostabiliteit (STBU)	43
8	Beheerdersoordeel boezemkaden	44
8.1	Organisatie beheerdersoordeel	44
9	Veiligheidsoordeel boezemkades Heerhugowaard	49
	Literatuurlijst	51
	Bijlage 1 – Sectie indeling & representatieve dwarsprofielen	52
	Bijlage 2 – Veldonderzoek: boezemboringen	53
	Bijlage 3 – Veld- en laboratoriumonderzoek hydraulische kortsluiting	54
	Bijlage 4 – Analyse metingen stijghoogte(verhang) watervoerende lagen	55
	Bijlage 5 – Geotechnisch lengteprofiel (toetsing 2011)	56
	Bijlage 6 – D-geostability binnenwaartse macrostabiliteit	57
	Bijlage 7 – Restbreedtemethode STBI	58
	Bijlage 8 – Sellmeijer met conservatieve uitgangspunten	59
	Bijlage 9 – Sellmeijer met geoptimaliseerde uitgangspunten	60
	Bijlage 10 – D-geostability buitenwaartse macrostabiliteit	61



1 Inleiding

1.1 Aanleiding

Het Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier is beheerder van ruim 1000 kilometer boezemkades. Deze boezemkades beschermen lager gelegen delen tegen overstromingen. Om het wenselijk veiligheidsniveau van deze boezemwaterkeringen te kunnen waarborgen dienen de boezemkades aan een door het Interprovinciaal Overleg (IPO) vastgestelde norm te worden getoetst.

HHNK heeft in december 2010 opdracht gegeven aan ARCADIS om het grondonderzoek en toetsing uit te voeren van de boezemkaden Heerhugowaard en Groet- en Braakpolder. Dit onderzoek is vastgelegd in Lit [1] "Grondonderzoek en toetsing boezemkaden Cluster IIIC: Heerhugowaard, Groet- en Braakpolder, 7 november 2011, 075682827:D - Definitief".

Grote delen van de polder Heerhugowaard scoren in deze toetsing "onvoldoende" op het risico op piping en heave STPH, binnenwaartse macrostabiliteit STBI en buitenwaartse macrostabiliteit STBU. Deze slechte score is voor een groot deel het gevolg van onzekerheid rondom het risico en de gevolgen van hydraulische kortsluiting. Daarnaast viel het uitvoeren van een restbreedte analyse buiten het kader van de opdracht.

Dit betekent dat er nog een aanzienlijke optimalisatie mogelijk is ten aanzien van het toetsoordeel voor deze drie faalmechanismen. In oktober 2013 is door de afdeling onderzoek gestart met vervolgonderzoek. Deze rapportage beschrijft de resultaten van het aanvullende onderzoek en de hertoetsing.

1.2 Doel

Doel van dit project is het nader onderzoeken en toetsen van de boezemkaden rond de polder Heerhugowaard volgens de vigerende leidraden. Het onderzoek en de rapportage zijn zodanig van opzet, dat alle eindresultaten reproduceerbaar zijn.

De toetsing van waterkerende kunstwerken en bijzonder waterkerende constructies (bwc's) alsmede de invloed van niet-waterkerende objecten (nwo's) op of in de boezemkade vindt separaat plaats.

1.3 Werkzaamheden

Voor dit onderzoek zijn in de periode oktober 2013 tot november 2014 de volgende werkzaamheden verricht:

- Veldonderzoek:
 - 20 handboringen in boezembodem, onderzoek intredeweerstand;
 - inrichting 10 meetraaien met in totaal 30 peilbuizen voor meting stijghoogteverloop onder de kade;
 - peilbuismetingen gedurende 6 weken 1/week;
 - constant head proeven op 30 peilbuizen, bepaling k-waarde watervoerende lagen;
 - EC metingen water uit peilbuizen;



- Laboratoriumonderzoek: bepaling 30 korrelverdeling inclusief bezinken voor monsters watervoerende lagen.
- Uitwerking peilbuismetingen in dwarsprofielen met ingerichte meetraaien, informatie waterstanden, bodemopbouw, dikte boezembodem, gemeten stijghoogtes, intredeweerstand en kwelweglengte.
- Gedetailleerde beoordeling risico en invloed hydraulische kortsluiting conform "Richtlijnen technische toetsing en ontwerp regionale keringen (operationeel kader)".
- Gedetailleerde toetsing piping volgens methode Sellmeijer.
- Controle sectie-indeling toetsing 2011 middels veldbezoek.
- Herzien bepaling maatgevende freatische lijn uit toetsing 2011 op basis van veldwaarnemingen beheerder
- Herberekening D-geostability sommen macrostabiliteit binnenwaarts en buitenwaarts op basis van aangepast stijghoogteverloop, freatische lijn en regionale proevenverzameling HHNK, versie oktober 2014.
- Restbreedteanalyse binnenwaartse macrostabiliteit.
- Beheerdersoordeel per sectie.
- Rapportage.



2 Projectgebied

2.1 Inleiding

Deze rapportage beschrijft de toetsing van de boezemkaden gelegen rond de polder Heerhugowaard met een lengte van 32 km.

2.2 Sectie-indeling

Voor de toetsing is de polder van Heerhugowaard opgedeeld in 17 hoofdsecties. Binnen drie secties is nog een sub-indeling gemaakt. In tabel 1 en Figuur 1 is de sectie-indeling weergegeven.

Bij het opstellen van de sectie-indeling is rekening gehouden met variaties in:

- de geometrie van dijklichaam in combinatie met het boezem- en polderpeil;
- de (globale) grondopbouw en geohydrologische situatie;
- IPO-klasse.

sectie	van dijkpaal	tot dijkpaal	lengte (m)	beschrijving
1	HH039	HH054+35m	1.520	Oostdijk
2	HH054+35m	HH059	465	Oostdijk
3	HH059	HH072+45m	1.345	Oostdijk
4	HH072+45m	HH087+30m	1.485	Oostdijk
5a ¹	HH087+30m	HH95+50m	820	Oostdijk
5b	HH95+50m	HH108+35m	1.285	Huygendijk N508 (Oostdijk – Polderweg)
6	HH108+35m	HH126+25m	1.790	Huygendijk N508 (Polderweg – Otelekerweg)
7	HH126+25m	HH158	3.175	Huygendijk N508 (Oterleek - 't Hengeltje)
8	HH158	HH160	200	Huygendijk ('t Hengeltje)
9	HH160	HH169+55m	920	Huygendijk (Viaduct Nollenweg - De Overtoom)
9a ²	HH161+20	HH161+55	35	Watergang t.h.v. Huygendijk 16
10	HH169+55m	HH184+55m	1.500	Westerweg N242 (De Overtoom – Spoorbrug)
11	HH184+55m	HH209+80m	2.525	Westdijk (Spoorbrug - De Stoof)
12	HH209+80m	HH254	4.420	Westerweg N242 (De Stoof – Roskamsluis)
13	HH254	HH291	3.700	Waarddijk
14	HH291	HH298+30m	730	Niedorperdijk
15	HH298+30m	HH310+40m	1.210	A.C. de Graafweg N241
16	HH310+40m	HH326	1.554	A.C. de Graafweg N241 (Polder Veenhuizen)
17a ³	HH000	HH010+40m	1.040	Dijkweg (Polder Veenhuizen)
17b	HH010+40m	HH032+95m	2.280	Dijkweg (Polder Veenhuizen)

Tabel 1: Sectie-indeling

¹ Sectie 5 is opgedeeld in 5a en 5b op basis van verschil in boezempeil tussen de Schermerboezem en VRNK boezem Langereis

² Binnen sectie 9 is over een lengte van 35 meter sprake van een sterk afwijkende geometrie, dit deel is benoemd als sectie 9a

³ Sectie 17 is opgedeeld in 17a en 17b vanwege verschil in het stijghoogteverloop in het watervoerend pakket onder de kade



Figuur 1: Sectie-indeling



3 Veld- en laboratoriumonderzoek

Het veld- en laboratoriumonderzoek is uitgevoerd door Inpijn Blokpoel. Het onderzoek is uitgevoerd gedurende de periode van oktober 2013 tot juni 2014.

3.1 Opzet veld- en laboratoriumonderzoek

Het betreft vervolgonderzoek op de in 2011 opgeleverde "Grondonderzoek en toetsing boezemkaden Cluster IIIC: Heerhugowaard, Groet- en Braakpolder, 7 november 2011, 075682827:D - Definitief". Het vervolgonderzoek richt zich op het nader in kaart brengen van de risico's en gevolgen van hydraulische kortsluiting voor secties die in 2011 onvoldoende scoorden en is opgezet conform Lit [3] "Richtlijnen technische toetsing en ontwerp regionale keringen (operationeel kader)".

Op basis van informatie over de dikte van de slecht doorlatende lagen onder de boezembodem uit de boring in de boezembodem en de al bekende informatie opgenomen in het geotechnisch lengteprofiel zijn de 10 meest risicovolle locaties geselecteerd in relatie tot hydraulische kortsluiting tussen de boezem en het watervoerend pakket. Op deze locaties zijn meetraaien ingericht met peilbuizen onder de buitenkruinlijn, binnenkruinlijn en in het achterland om het verloop van de stijghoogte onder de kade door te meten.

Hiermee wordt bij streefpeil vastgesteld:

1. Wat het verloop is van de stijghoogte onder de kade door.
2. Of er sprake is van een (sterke) toename van het verhang richting de boezem, dat is een indicatie voor verhoogde indringing/hydraulische kortsluiting.

Daarnaast zijn korrelverdelingen bepaald op basis van zandmonsters en zijn op locatie proeven uitgevoerd om de doorlatendheid van de watervoerende lagen te meten.

3.2 Uitgevoerd veldonderzoek

Voor dit onderzoek zijn de volgende veldwerkzaamheden verricht:

- 20x handboringen vanaf het water tot 2 a 3 m-mv in de boezembodem;
- 30x handboringen -3 tot -6 m -mv inclusief plaatsen peilbuizen
- 30x peilbuismetingen gedurende 6 weken 1/week;
- 30x constant head proeven, bepaling k-waarde watervoerende lagen;
- 30x EC metingen water uit peilbuizen.

3.3 Uitgevoerd laboratoriumonderzoek

Voor dit onderzoek zijn de volgende laboratoriumwerkzaamheden verricht:

- 30x korrelverdeling inclusief bezinken monsters watervoerende lagen.

Het uitgevoerde veld- en laboratoriumonderzoek is opgenomen in bijlage 2 en 3.



4 Bodemopbouw en geotechnische parameters

4.1 Onderscheiden grondsoorten

De onderscheiden grondsoorten zijn beschreven in Lit[1], toetsing 2011. Het onderscheid is in eerste instantie gemaakt op basis van de (diepte)ligging, kennis van regionale geologische afzettingen, boorbeschrijvingen en interpretatie van de sondeergegevens. Vervolgens is in een iteratief proces verder onderscheid gemaakt op basis van de geotechnische eigenschappen zoals volumegewicht, watergehalte en de bijbehorende sterkte-eigenschappen. Verder is onderscheid gemaakt tussen de eigenschappen van de antropogene toplaag in de kade en in het achterland.

De volgende grondsoorten zijn onderscheiden. In de tabel is de benaming uit de toetsing 2011 weergegeven en tevens de nieuwe benaming uit de regionale proevenverzameling 2014 voor zover van toepassing Lit[2].

Benaming toetsing 2011	Benaming proevenverzameling HHNK 2014	Beschrijving
Antropogeen kademateriaal klei	Klei_dijkmateriaal z_s	Klei, sterk zandig, zwak tot matig humeus, zwak tot matig grindig, met wortel- en schelpresten
Antropogeen kademateriaal zand		Zand, zeer tot matig fijn, siltig/kleiig, zwak tot matig humeus, zwak wortelhoudend/roesthoudend
Antropogene deklaag van klei (achterland)	Klei_dijkmateriaal z_s	Klei, sterk zandig, zwak tot matig humeus
Antropogene deklaag van zand (achterland)		Zelfde als kademateriaal
Duinkerke klei, humeus	Klei_bovenveen s_z_h	Klei, zwak zandig, zwak tot matig siltig, matig tot sterk humeus
Hollandveen onder kruin	Hollandveen_o_dijk DM	Veen, sterk kleiig, of klei weinig
Hollandveen onder berm	Hollandveen_o_dijk DM	-
Hollandveen achterland	Hollandveen_n_dijk	-
Calais klei	Klei_onderveen s_z_h	Klei, sterk zandig, zwak tot matig humeus
	Klei_onderveen s_z_h_n_dijk	
Calais zand, kleiig, gelaagd		Zand, zeer fijn, kleiig, gelaagd
Calais zand		Zand, matig tot zeer grof, zwak siltig, zwak schelphoudend
Basisveen		-
Pleistocene zand		-

Tabel 2: Onderscheiden grondsoorten



4.2 Globale bodemopbouw

Op basis van het uitgevoerde grondonderzoek is in Lit[1] de bodemopbouw geschematiseerd ter plaatse van de kruin van de waterkering en ter plaatse van de binnenteen. De schematisatie is weergegeven in het geotechnisch lengteprofiel. Deze is opgenomen in bijlage 5.

De kade bestaat uit opgebracht zandig en kleiig materiaal. Hieronder zijn achtereenvolgens een laag humeuze (Duinkerke) klei en Hollandveen te onderscheiden. Deze lagen variëren samen in dikte tussen de 1 en 4 m en zijn in het achterland grotendeels afwezig.

Onder het Hollandveen is een kleiige afzetting (van Calais) aanwezig. Deze gaat geleidelijk over in een zeer gelaagd wadzandpakket, bestaande uit overwegend kleiig zand, zandige klei en siltig zand, maar er zijn ook gedeelten waar deze laag uit vrij schoon zand bestaat.

In totaal is de holocene deklaag circa 15-25 m dik. Onder de holocene deklaag is op veel locaties de laag basisveen te herkennen, waaronder het pleistocene zandpakket voorkomt (bestaande uit de formaties van Boxtel en Kreftenheye).

Samenvattend bestaat de globale grondopbouw achtereenvolgens uit ter plaatse van de kruin:

- antropogene toplaag van zand en klei;
- humeuze (Duinkerke) klei en Hollandveen (in achterland grotendeels afwezig);
- zandige klei (Calais);
- wadzandpakket met afwisselend kleiig zand;
- basisveen (soms weggeërodeerd);
- Pleistoceen zand.

Interpretatie grondonderzoek ten behoeve van lengteprofiel

Bij het opstellen van het geotechnisch lengteprofiel is geconstateerd dat in een aantal gevallen de boringen en sonderingen tegenstrijdige informatie leveren over de aangetroffen grondsoorten. Het is hier in de praktijk moeilijk gebleken om in het veld (visueel) onderscheid te maken tussen bijvoorbeeld zandige klei en kleiig zand.

Bij interpretatie van het grondonderzoek voor het geotechnisch lengteprofiel is daarom aangenomen dat de visuele classificatie uit (hand)boringen in mindere mate betrouwbaar is. Om grondlagen te onderscheiden zijn achtereenvolgens de volgende stappen gemaakt:

1. Verwachting bodemopbouw aan de hand van gebiedskennis en ervaringen bij andere polders.
2. Interpretatie grondsoorten op basis van sonderingen, daarbij lettend op de absolute waarden en verhouding van conusweerstand en kleef, 'grilligheid' van de meetwaarden en (abrupte) overgangen in waterspanningen.
3. Controle aan de hand van gegevens uit de in het lab beproefde monsters (classificatie, volumegewicht en watergehalte).
4. Controle aan de hand van laagscheidingen en visuele classificatie (hand)boringen.

4.3 Volumegewichten en watergehalten per grondsoort

Van de verschillende grondsoorten zijn in 2011 Lit[1] in het laboratorium volumegewichten en watergehalten bepaald. Op basis van deze gegevens zijn de voor de geotechnische berekeningen te hanteren volumegewichten vastgesteld. Van niet alle onderscheiden materialen zijn grondmonsters



beschikbaar. Van deze lagen zijn de volumegewichten afgeleid uit Tabel 1 van de oude NEN6740. In Tabel 3 zijn de gemiddelde waarden van de volumegewichten en watergehalten samengevat. Het betreft gemiddelde waarden.

Grondsoort	Volumegew. nat (kN/m ³)	Volumegew. droog (kN/m ³)	Watergehalte (%)
Antropogeen kademateriaal klei	17,7	13,7	30
Antropogeen materiaal zand *)	20	18	-
Antropogene deklaag van klei	13,9	9,3	55
Duinkerke klei, humeus	14,2	7,5	100
Hollandveen onder kruin	11,1	3,3	305
Hollandveen onder berm	11,1	3,3	305
Hollandveen achterland	11,1	3,3	305
Calais klei	16,3	10,9	50
Calais zand, kleilig, gelaagd *)	20	18	-
Calais zand *)	20	18	-
Basisveen *)	12	10	-
Pleistocene zand *)	20	18	-

*) Gemiddelde waarden voor deze grondsoorten afgeleid uit Tabel 1 van NEN6740.

Tabel 3: Overzicht volumegewichten en watergehalten

4.4 Effectieve schuifsterkte parameters

De effectieve schuifsterkteparameters zijn bepaald op basis van de Regionale proevenverzameling, versie 6, 10 oktober 2014 Lit[2] aangevuld met waarden uit de NEN-EN 1997. De parameters zijn weergegeven in Tabel 4.

Grondsoort [-]	$\gamma_{nat/dr}$ [kN/m ³]	W [%]	ϕ_{gem} [°]	c_{gem} [kPa]	ϕ_{kar} [°]	c_{kar} [kPa]	$\gamma_{m,\phi}$ [-]	$\gamma_{m,c}$ [-]	ϕ_{reken} [°]	c_{reken} [kPa]
Zand_dijkmateriaal *)	20,0 / 18,0	-	-	-	30,0	0,0	1,20	1,5	25,7	0,0
Klei_dijkmateriaal z_s	17,7 / 13,7	30	38,7	2,3	36,2	0,0	1,15	1,2	32,4	0,0
Klei_dijkmateriaal _h (deklg klei)	13,9 / 13,9	55	32,1	3,5	27,4	1,1	1,15	1,2	24,3	0,9
Klei_bovenveen s_z_h	14,2 / 7,5	100	38,6	1,5	34,8	0,0	1,15	1,2	31,1	0,0
Hollandveen_o_dijk – DM	11,1 / 3,3	305	25,7	3,0	23,8	1,5	1,15	1,2	20,9	1,3
Hollandveen_n_dijk	9,8 / 1,4	672	25,9	1,0	23,5	0,5	1,15	1,2	20,7	0,4
Kleilig veen / gyttja	11,5 / 4,0	198	23,2	4,8	21,3	2,5	1,15	1,2	18,7	2,1
Klei_onderveen s_z_h_o_dijk	16,3 / 10,9	50	31,7	5,2	30,7	2,9	1,15	1,2	27,3	2,4
Klei_onderveen s_z_h_n_dijk	16,3 / 10,9	50	30,0	4,3	28,0	1,7	1,15	1,2	24,8	1,4
Wadzanden kleilig, gelaagd *)	20,0 / 18,0	-	-	-	27,0	0,0	1,20	1,5	23,0	0,0
Wadzanden schoon *)	20,0 / 18,0	-	-	-	30,0	0,0	1,20	1,5	25,7	0,0
Pleistocene zand *)	20,0 / 18,0	-	-	-	30,0	0,0	1,20	1,5	25,7	0,0

Bijmenging (k2=matig kleilig, s=siltig, z=zandig, h=humeus)
Locatie (o= onder de dijk, n= naast de dijk)
*) Karakteristieke waarden en materiaalfactoren afgeleid uit Tabel 1 van NEN-EN 1997

Tabel 4: Geotechnische parameters



5 Waterstanden en stijghoogtes

Ten behoeve voor de diverse benodigde geotechnische berekeningen is het verloop van de relevante waterlijnen geschematiseerd. Deze zijn afhankelijk van o.a. waterstanden op de boezem, polderpeilen en grondwaterstroming door de watervoerende lagen. Voor Heerhugowaard zijn van belang:

- maatgevende waterstanden op de boezem en in de polders;
- het verloop van de freatische lijn binnen het dijklichaam;
- het verloop van de stijghoogte in de watervoerende zandlagen (wadzanden)

Ook stijghoogten in het dieper gelegen pleistoceen pakket kunnen van invloed zijn op de stabiliteit van de dijk. Aangezien de diepte waar deze laag zich bevindt, is deze echter invloed verwaarloosbaar klein.

5.1 Boezempeilen

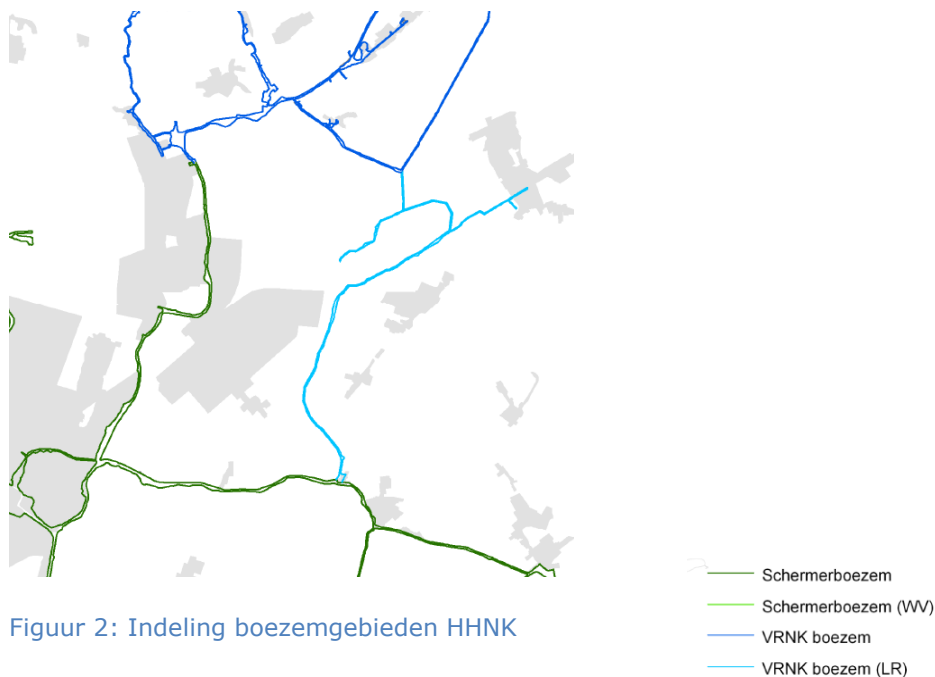
In Tabel 5 zijn de hydraulische randvoorwaarden opgegeven voor de verschillende boezemgebieden rondom de polder Heerhugowaard. Dit is tevens weergegeven in Figuur 2.

Voor de toetsing zijn de volgende buitenwaterstanden gehanteerd:

- Situatie hoogwater: MBP nat – beoordeling macrostabiliteit binnenwaarts;
- Situatie hoogwater: MBP nat – beoordeling piping
- Situatie dagelijkse omstandigheden: streefpeil – beoordeling piping kortsluiting over groot oppervlak als gevolg van baggeren;
- Val water: van MBP nat naar hoogste peil (streefpeil) – beoordeling macrostabiliteit buitenwaarts. Dit is conform de uitgangspunten van het HHNK.

Gebied [-]	Sectie [-]	Maatgevende peil "nat" (maalstoppeil) [NAP m]	Streefpeil [NAP m]	Peil bij extreme droogte [NAP m]	Laagste peil (inlaatverbod polders) [NAP m]
Schermerboezem	5b-12	0,00	-0,50	-0,47	-0,60
VRNK Boezem	13-16	-0,30	-0,60	-0,57	-0,65
VRNK Boezem LR (Langereis)	1-5a, 17	-0,25	-0,60	-0,57	-0,65

Tabel 5: Hydraulische randvoorwaarden HHNK boezemgebieden



Figuur 2: Indeling boezemgebieden HHNK

5.2 Polderpeilen

Binnendijs is sprake van polderpeilen. De polderpeilen per sectie zijn opgenomen in onderstaande tabellen. In alle peilgebieden geldt een vast peil. Wanneer in een sectie meerdere peilgebieden voorkomen, is het laagste peil gehanteerd. Voor de toetsing van de binnenwaartse macrostabiliteit bij de situatie hoogwater is gerekend met vast peil +0,15 m. Voor piping met vast peil.

Polder	Sectie	Peilgebied (code)	Vast peil (m+NAP)
Heerhugowaard	1	03150-22	-3,40
Heerhugowaard	2	03150-28	-3,00
Heerhugowaard	3	03150-27	-3,70
Heerhugowaard	4a	03150-36	-3,35
Heerhugowaard	4b	03150-10	-3,90
Heerhugowaard	5	03150-10	-3,90
Heerhugowaard	6	03150-40	-3,20
Heerhugowaard	7	03150-10	-3,90
Heerhugowaard	8	03350-01	-3,40
Heerhugowaard	9	03150-33	-3,60
Heerhugowaard	10	03150-10	-3,90
Heerhugowaard	11	03150-34	-3,70
Heerhugowaard	12	03150-24, 45	-3,70
Heerhugowaard	13	03150-04, 01, 06	-3,10
Heerhugowaard	14	03150-02	-2,85
Heerhugowaard	15	03150-06	-3,10
Heerhugowaard	16	03130-01	-2,60
Heerhugowaard	17	03130-02	-2,90

Tabel 6: Polderpeilen



5.3 Meetcampagne peilbuizen

5.3.1 Algemeen

Bij de toetsing van de boezemkaden hebben de ligging van de freatische lijn in het dijklichaam en de stijghoogte in de watervoerende zandlagen een zeer grote invloed op de stabiliteit van de kade. Indien beperkt informatie beschikbaar is, moet worden gerekend met een conservatieve inschatting van deze lijnen. Dit leidt echter vaak tot onnodig conservatieve beoordelingen.

Toetsing 2011

Voor dit project zijn in 2011 in totaal 56 peilbuizen geplaatst. Deze peilbuizen zijn over een periode van 5 maanden geplaatst en afgelezen. De hoeveelheid waarnemingen is echter beperkt, omdat de peilbuizen pas in de periode juni-augustus om de week zijn afgelezen. Hierdoor zijn per peilbuis in maximaal circa 8 metingen beschikbaar. Dit is onvoldoende voor een statistische benadering. Ondanks het beperkte aantal waarnemingen is een zeer goed beeld verkregen van het normale verloop van de freatische lijn en stijghoogte en de respons op neerslag in natte periodes. In juli en augustus 2011 is er namelijk zeer veel neerslag gevallen, de maand juli behoorde zelfs tot één van de natste juli-maanden sinds 1901.

Toetsing 2014

Het vervolgonderzoek in 2014 richt zich op het nader in kaart brengen van de risico's en gevolgen van hydraulische kortsluiting voor secties die in 2011 onvoldoende scoorden. Er zijn 10 meetraaien ingericht met in totaal 30 peilbuizen voor meting van het stijghoogteverloop onder de kade conform Lit [3] Richtlijnen technische toetsing, ontwerp en realisatie regionale keringen. De peilbuizen zijn gedurende 6 weken 1 keer per week uitgelezen.

5.3.2 Meetcampagne freatische lijn 2011

In 2011 Lit[1] zijn in de polder Heerhugowaard 6 raaien geplaatst om de ligging van de freatische lijn in kaart te brengen. De ondiepe peilbuizen zijn geplaatst in de buitenkruinlijn, binnenkruinlijn en binnenteen of achterland. In Tabel 7 is een overzicht opgenomen. Bij plaatsing en gedurende de meetperiode zijn om de week handmetingen verricht. Voor de toetsing in 2014 zijn de resultaten opnieuw geïnterpreteerd voor de bepaling van de maatgevende freatische lijn.

Meetraai	Polder	Sectie	Locatie	Meetperiode
Raai 1	Heerhugowaard	3	HH064+30m	11 weken
Raai 2	Heerhugowaard	7	HH130+30m	11 weken
Raai 3	Heerhugowaard	11	HH198+80m	11 weken
Raai 4	Heerhugowaard	12	HH239+20m	11 weken
Raai 5	Heerhugowaard	13	HH264	11 weken
Raai 6	Heerhugowaard	16	HH318+75m	11 weken

Tabel 7: locaties peilbuizen freatische lijn meetcampagne 2011

5.3.3 Meetcampagne stijghoogten watervoerende zandlagen

In 2011 Lit[1] zijn in de polder Heerhugowaard 13 peilbuizen geplaatst in de holocene zandlagen onder het afdekkend pakket. In alle peilbuisraaien zijn 1 of 2 diepe peilbuizen geplaatst, en daarnaast op 4 andere locaties, om een beeld te krijgen van de stijghoogten over het gehele gebied. In Tabel 8 is een overzicht opgenomen. Bij plaatsing en gedurende de meetperiode zijn om de week handmetingen van de stijghoogten verricht.



Peilbuis [-]	Polder [-]	Sectie [-]	Locatie [-]	Filter [m+NAP]	Grondlaag [-]
1-BIKR-D	Heerhugowaard	3	HH063+91m	-8,40	Calais zand (ondiep)
PB02-D	Heerhugowaard	5	HH088+98m	-14,20	Calais zand (diep)
2-BIKR-D	Heerhugowaard	7	HH129+13m	-8,00	Calais zand, kleilig, gelaagd
2-BUKR-D	Heerhugowaard	7	HH129+13m	-14,00	Calais zand (diepe tussenlaag)
PB04-D	Heerhugowaard	8	HH159+62m	-6,00	Calais zand (ondiep)
PB05-D	Heerhugowaard	10	HH179+9m	-4,75	Calais zand (ondiep)
3-BUKR-D	Heerhugowaard	11	HH198+80m	-5,40	Calais zand (ondiep)
4-BUKR-D	Heerhugowaard	12	HH239+4m	-5,25	Calais zand, kleilig, gelaagd
5-BUKR-D	Heerhugowaard	13	HH263+94m	-14,50	Calais zand (diepe tussenlaag)
PB09-D	Heerhugowaard	14	HH294+50m	-10,50	Calais zand (diep)
6-ALAN-D	Heerhugowaard	16	HH319+36m	-13,80	Calais zand (diep)
PB11-D	Heerhugowaard	17	HH027+74m	-8,25	Calais zand, kleilig, gelaagd

Tabel 8: locaties peilbuizen watervoerend pakket meetcampagne 2011

In 2014 zijn in de polder Heerhugowaard 10 meetraaien ingericht met in totaal 30 peilbuizen voor meting van de stijghoogte in de holocene zandlagen onder het afdekkend pakket. De onderzoek locaties zijn weergegeven in Figuur 3. De peilbuizen zijn gedurende 6 weken 1 keer per week uitgelezen.



Figuur 3: Locaties peilbuisraaien meting stijghoogte 2014



5.4 Bepaling maatgevende freatische lijn

5.4.1 Algemeen

Op basis van de beschikbare metingen uit 2011 aangevuld met informatie van de beheerder uit 2014 is per meetraai een maatgevende freatische lijn bepaald voor de beoordeling van de binnenwaartse macrostabiliteit. Per raai zijn in het dwarsprofiel de gemeten waterstanden getekend, namelijk het gemiddelde, de minimale en de maximale gemeten waarde. Vervolgens is per meetraai het verloop van de freatische lijn onder maatgevende omstandigheden ingeschat. Per sectie is tenslotte op basis van de locatie, geometrie en bodemopbouw ingeschat welke meetraai het meest representatief is. Bij het bepalen van de maatgevende freatische lijn is een schatting gemaakt van het effect dat de waterstandsverhoging van streefpeil naar maatgevend boezempeil en neerslag zullen hebben. Daarbij is rekening gehouden met het feit dat de het effect van de neerslag reeds grotendeels is inbegrepen bij de maximaal gemeten waarden, vanwege de uitzonderlijk natte meetperiode.

5.4.2 Overzicht schematisering freatische lijn per sectie

In Tabel 9 is per sectie aangegeven of (en waar) er een meetraai beschikbaar was en welke raai representatief is gesteld voor de betreffende sectie. Er is tevens een korte beschrijving gegeven van het verloop van de freatische lijn. In Figuur 4 t/m Figuur 9 zijn de meetresultaten (uit 2011) per meetraai gepresenteerd en het in 2014 opnieuw geschatte verloop van de freatische lijn onder maatgevende omstandigheden.

Sectie	Meetraai	Representatieve schematisering	Beschrijving schematisering freatische lijn bij hoogwater en streefpeil
1		Sectie 3	Intrede +0,30m, lineair verloop door kade naar uittredepunt bij teensloot
2			
3	HH064+30m		
4		Sectie 7	Intrede +0,00m, lineair verloop kade naar uittredepunt 0,50m boven binnenteen/teensloot
5			
6			
7	HH130+30m		
8		Sectie 11	Intrede +0,00m, lineair verloop door kade naar -0,80m ter hoogte van het binnentalud, naar uittredepunt in teensloot
9			
10		Sectie 12	Brede kruin, Intrede -0,25m, lineair verloop kade, uittredepunt binnenteen
11	HH198+80m	Sectie 11	Intrede +0,00m, lineair verloop door kade naar -0,80m ter hoogte van het binnentalud, naar uittredepunt in teensloot
12	HH239+20m	Sectie 12	Brede kruin, intrede -0,25m, lineair verloop kade, uittredepunt binnenteen
13	HH264+00m	Sectie 13	Intrede -0,5m, lineair verloop door de kade naar het uittredepunt in de teensloot
14		Sectie 16	Brede kruin, intrede +0,00m, lineair verloop naar -0,70m ter hoogte van het binnenkruinlijn, naar uittredepunt in teensloot
15			
16	HH318+75m		
17		Conservatief geschat	Intrede +0,00m, lineair verloop door kade naar uittredepunt bij binnenteen

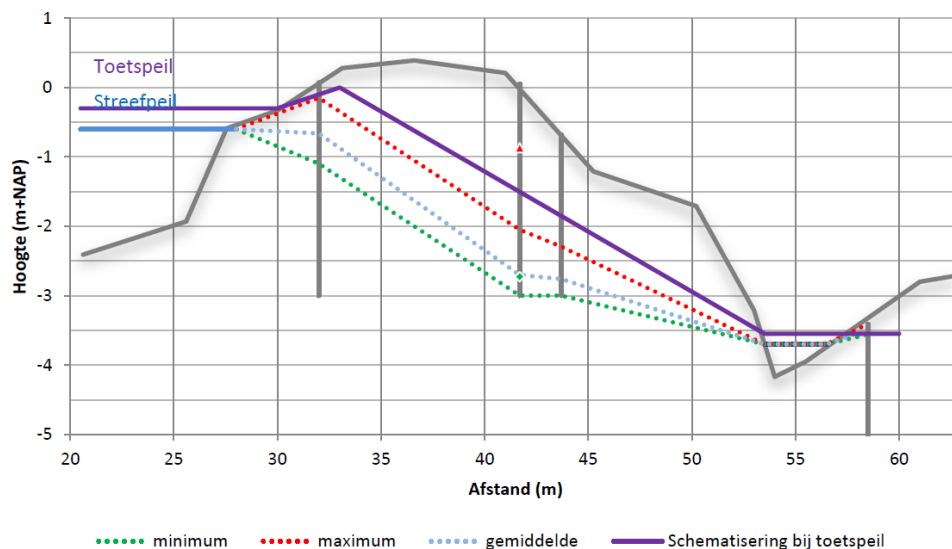
Tabel 9: Schematisering freatische lijn per sectie



5.4.3 Schematisering freatische lijn sectie 1 t/m 3

In Figuur 3 is de analyse weergegeven van de meetraai in sectie 3. Deze locatie is representatief gesteld voor sectie 1 t/m 3. Uit de metingen volgt een sterke respons op neerslag. Ter hoogte van de buitenkruinlijn ligt de gemeten freatische lijn hoger dan het boezempeil. Het gemeten verloop door de kade heen is nagenoeg lineair, er is hier sprake van een goede afwatering. De freatische lijn treedt duidelijk uit bij de teensloot. Er zijn in deze sectie geen problemen bekend vanuit beheer ten aanzien van de afwatering. Voor de schematisering van de freatische lijn bij MBP in combinatie met hoge neerslag is het volgende verloop aangehouden:

1. maatgevend boezempeil ter plaatse van het buitentalud (intredepunt);
2. toename van +0,30 meter t.o.v. intredepunt ter hoogte van de buitenkruinlijn;
3. lineair verloop van buitenkruin naar vast peil +0,15 m in teensloot.



Figuur 4: Analyse meetraai sectie 3

5.4.4 Schematisering freatische lijn sectie 4 t/m 7 (natte onderberm)

In Figuur 5 is de analyse weergegeven van de meetraai in sectie 7. Deze locatie is representatief gesteld voor sectie 4 t/m 7. Uit de metingen volgt een sterke respons op neerslag. Het gemeten verloop door de kade heen bij hoge neerslag is nagenoeg lineair. De freatische lijn treedt in deze situatie uit in de binnenteen.

Vanuit beheer zijn in deze secties een aantal meldingen bekend:

- Bij hoogwater in 1994 en 1998 was sprake van een sterk verzadigde onderberm langs de Huijgendijk;
- Fietzers melden geregeld dat er water op het fietspad staat;
- Er vaak sprake van een natte berm, ook in het droge seizoen. Aannemers lopen geregeld vast op de natte berm tijdens maaiwerkzaamheden.

De meest waarschijnlijke oorzaak voor een natte onderberm is water dat direct door de kade heen loopt. Uit de peilbuismetingen in sectie 7 (2011) van de freatische lijn volgen relatief hoge waarden. De freatische lijn treedt op deze locatie bij streefpeil al uit in de binnenteen. Als de freatische lijn in de dijk tijdelijk toe neemt door een hoger boezempeil of verhoogde indringing door



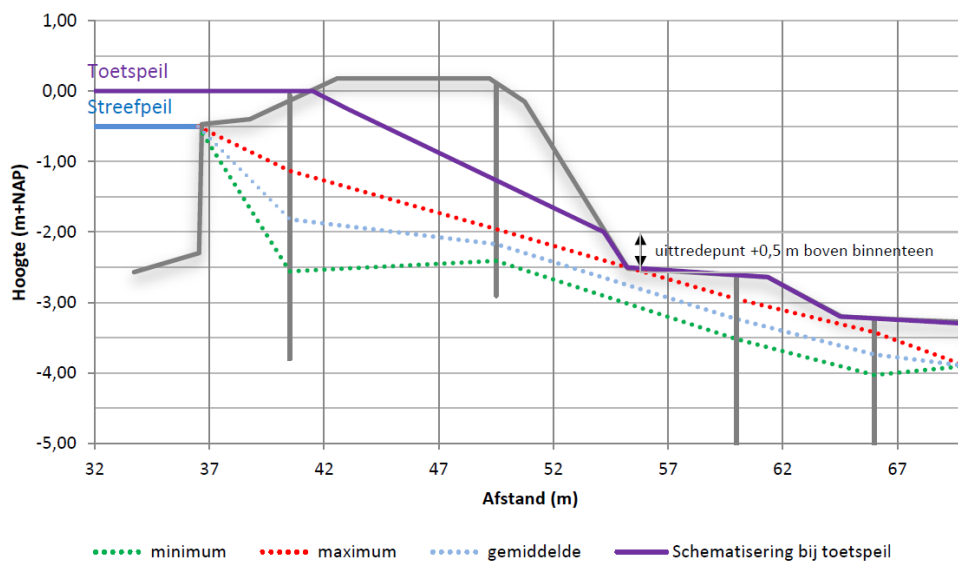
droogtescheuren ligt het voor de hand dat het water op een hoger punt in het binnentalud uittreedt.

Kwel vanuit de zandondergrond ligt niet voor de hand. Uit peilbuismetingen in sectie 6 en 7 (2011 en 2014) van de stijghoogte onder de berm volgen waarden tot maximaal 0,50 meter boven het polderpeil. Het maaiveldniveau van de berm ligt aanzienlijk hoger. De transmissiviteit van de watervoerende zandlagen direct onder de kade is zeer laag, hierdoor kan over de zandlaag wel een relatief groot verhang ontstaan. Uit gevoeligheidsberekeningen met Mseep volgt echter dat ook bij "kortsluiting" de stijghoogte onder de berm waarschijnlijk niet zo sterk toeneemt dat er kwel ontstaat ter hoogte van de berm.

Uit de boringen uitgevoerd in de berm van sectie 6 en 7 volgt dat de toplaat veelal uit zand bestaat. Dit zou moeten resulteren in een goed drainerende berm. Gezien de waarnemingen kan het water blijkbaar niet goed weg, mogelijk is er geen sprake van een aaneengesloten zandlaag en "hoopt" het water zich op in de berm.

Voorgenoemde in acht nemende is ervoor gekozen om onder maatgevende omstandigheden te rekenen met het volgende verloop:

1. maatgevend boezempeil ter plaatse van het buitentalud (intredepunt);
2. lineair verloop naar het uittredepunt aangenomen op 0,50 meter boven de binnenteen;
3. freatische lijn gelijk aan maaiveld in de berm verlopend naar vast peil +0,15 m in teensloot.



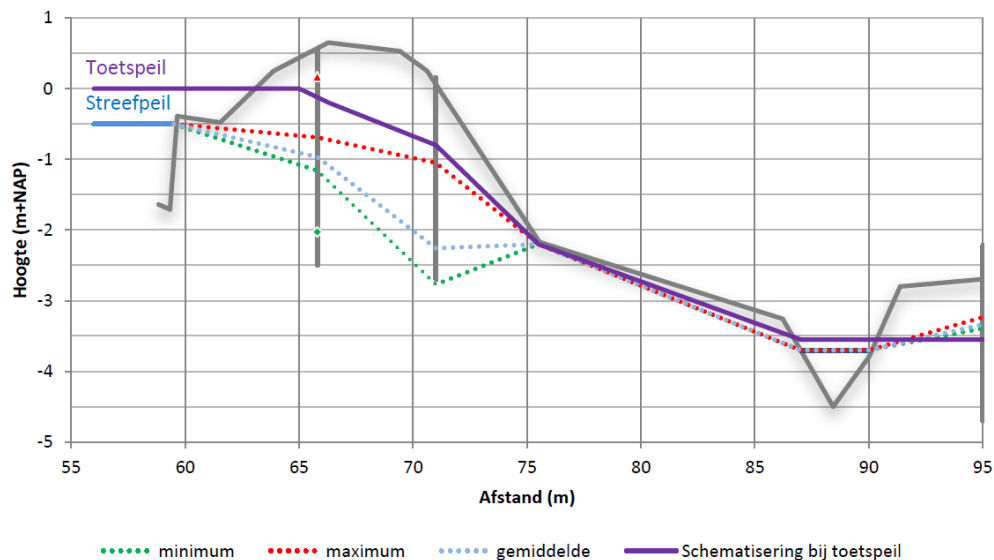
Figuur 5: Analyse meetraai sectie 7

5.4.5 Schematisering freatische lijn sectie 8, 9 en 11

In Figuur 6 is de analyse weergegeven van de meetraai in sectie 11. Deze locatie is representatief gesteld voor sectie 8, 9 en 11. In sectie 10 is sprake van een veel bredere kruin. Uit de metingen volgt een sterke respons op neerslag. Ter hoogte van de buitenkruinlijn ligt de freatische lijn ongeveer gelijk aan boezempeil. Er is bij neerslag duidelijk sprake van een sterke opbolling van de freatische lijn in de kade. Vanuit beheer is bekend dat in sectie 8 sprake is van uittredend water in de binnenteen. Voor de schematisering van de freatische lijn bij MBP in combinatie met hoge neerslag is het volgende verloop aangehouden:



1. maatgevend boezempeil ter plaatse van het buitentalud (intredepunt);
2. freatische lijn gelijk aan maatgevend boezempeil ter hoogte van de buitenkruinlijn;
3. opbolling freatische lijn in kade, niveau ter hoogte van de binnenkruinlijn op MBP -0,80 meter;
4. lineair verloop van binnenkruinlijn naar binnenteen of naar vast peil +0,15 m in teensloot.

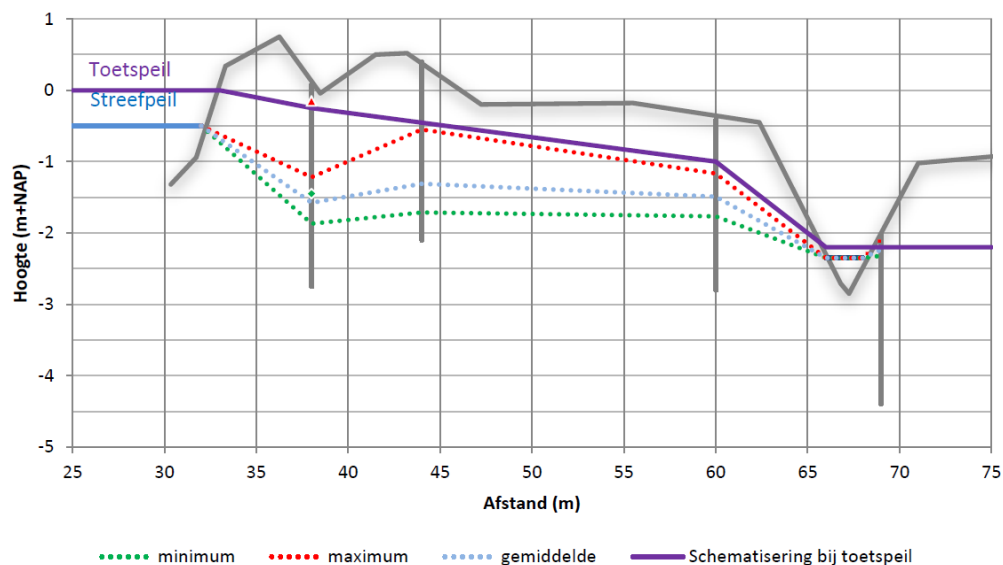


Figuur 6: Analyse meetraai sectie 11

5.4.6 Schematisering freatische lijn sectie 10 en 12 (brede kruin)

In Figuur 7 is de analyse weergegeven van de meetraai in sectie 12. Deze locatie is representatief gesteld voor sectie 10 en 12. Er is op deze locaties sprake van een zeer brede kruin. Hier loopt namelijk de provinciale weg N242 (Westerweg) op/langs de kade. De meetraai ter plaatse van de brede kade laat zien dat de freatische lijn vrij constant hoog blijft binnen het dijklichaam. Voor deze situatie is bij hoogwater volgende schematisering gekozen:

1. maatgevend boezempeil ter plaatse van het buitentalud (intredepunt);
2. freatische lijn gelijk aan op MBP -0,25 meter ter hoogte van de buitenkruinlijn;
3. lineair verloop naar MBP -1,00 m ter hoogte van de binnenkruinlijn;
4. lineair verloop van binnenkruin naar vast peil + 0,15 m in poldersloot.

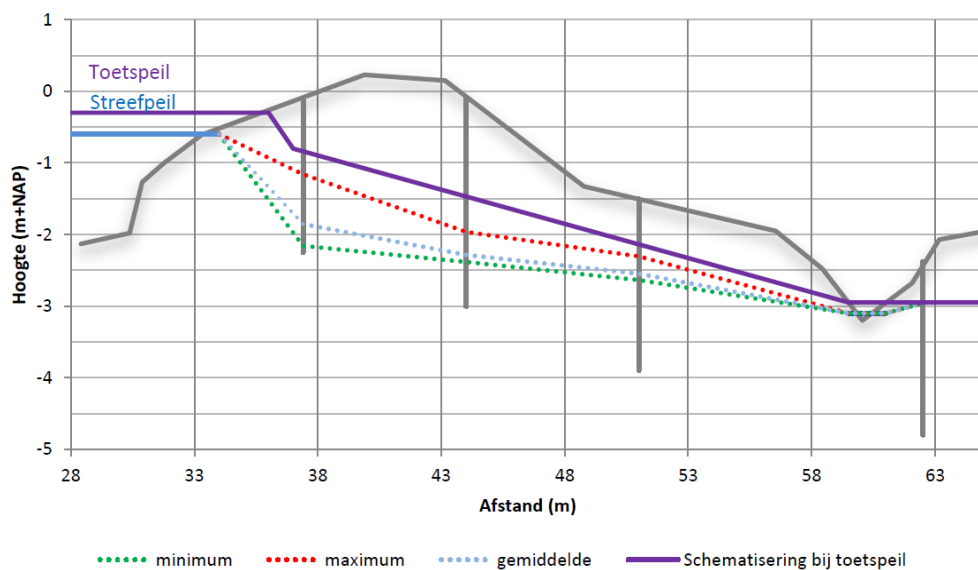


Figuur 7: Analyse meetraai sectie 12

5.4.7 Schematisering freatische lijn sectie 13

In Figuur 8 is de analyse weergegeven van de meetraai in sectie 13. Deze locatie is alleen representatief gesteld voor sectie 13. Uit de metingen volgt een beperkte respons op neerslag. Het gemeten verloop door de kade heen bij hoge neerslag is nagenoeg lineair. De freatische lijn treedt uit in de teensloot. Er zijn in deze sectie geen problemen bekend vanuit beheer ten aanzien van de afwatering. Voor de schematisering van de freatische lijn bij MBP in combinatie met hoge neerslag is het volgende verloop aangehouden:

1. maatgevend boezempeil ter plaatse van het buitentalud (intredepunt);
2. freatische lijn gelijk aan op MBP -0,50 meter ter hoogte van de buitenkruinlijn;
3. lineair verloop van buitenkruinlijn naar vast peil + 0,15 m in poldersloot.



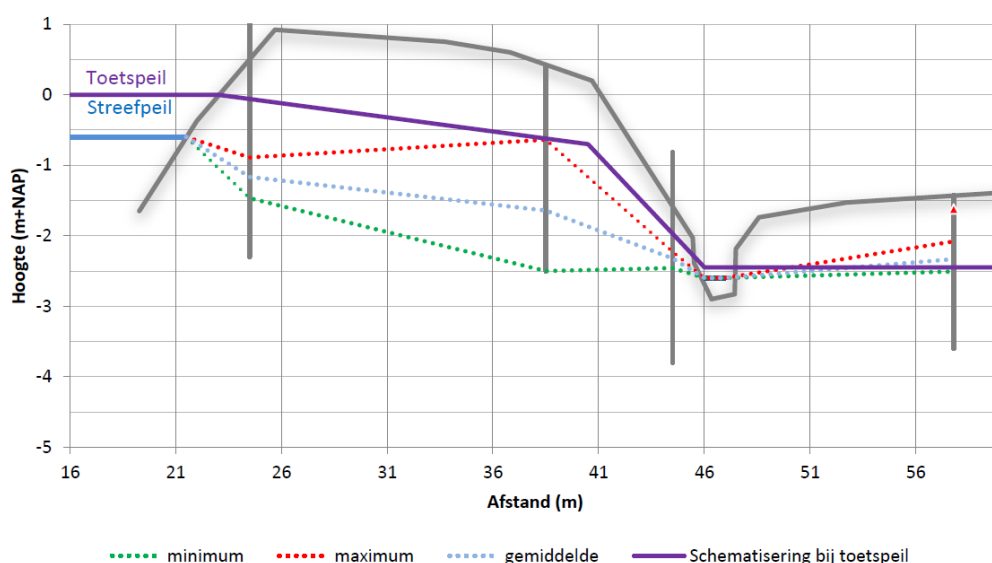
Figuur 8: Analyse meetraai sectie 13



5.4.8 Schematisering freatische lijn sectie 14 t/m 16 (brede kruin)

In Figuur 9 is de analyse weergegeven van de meetraai in sectie 16. Deze locatie is representatief gesteld voor sectie 14 t/m 16. Er is op deze locaties sprake van een zeer brede kruin. Hier loopt namelijk de provinciale weg N241 (A.C. de Graafweg) op/langs de kade. De meetraai ter plaatse van de brede kade laat zien dat de freatische lijn vrij constant hoog blijft binnen het dijklichaam. Voor deze situatie is bij hoogwater volgende schematisering gekozen:

1. maatgevend boezempeil ter plaatse van het buitentalud (intredepunt);
2. lineair verloop naar MBP -0,80 m ter hoogte van de binnenkruinlijn;
3. lineair verloop van binnenkruin naar vast peil + 0,15 m in poldersloot.



Figuur 9: Analyse meetraai sectie 16

5.4.9 Schematisering freatische lijn sectie 17

Voor sectie 17 is een afwijkende schematisering opgesteld. Geen van de meetraaien wordt representatief geacht voor deze sectie. Het verloop is conservatief geschat. Voor deze situatie is bij hoogwater volgende schematisering gekozen:

1. maatgevend boezempeil ter plaatse van het buitentalud (intredepunt);
2. lineair verloop van buitentalud naar uittredepunt in binnenteen;
3. freatische lijn gelijk aan maaiveld in de berm aflopend naar vast peil +0,15 m in teensloot.

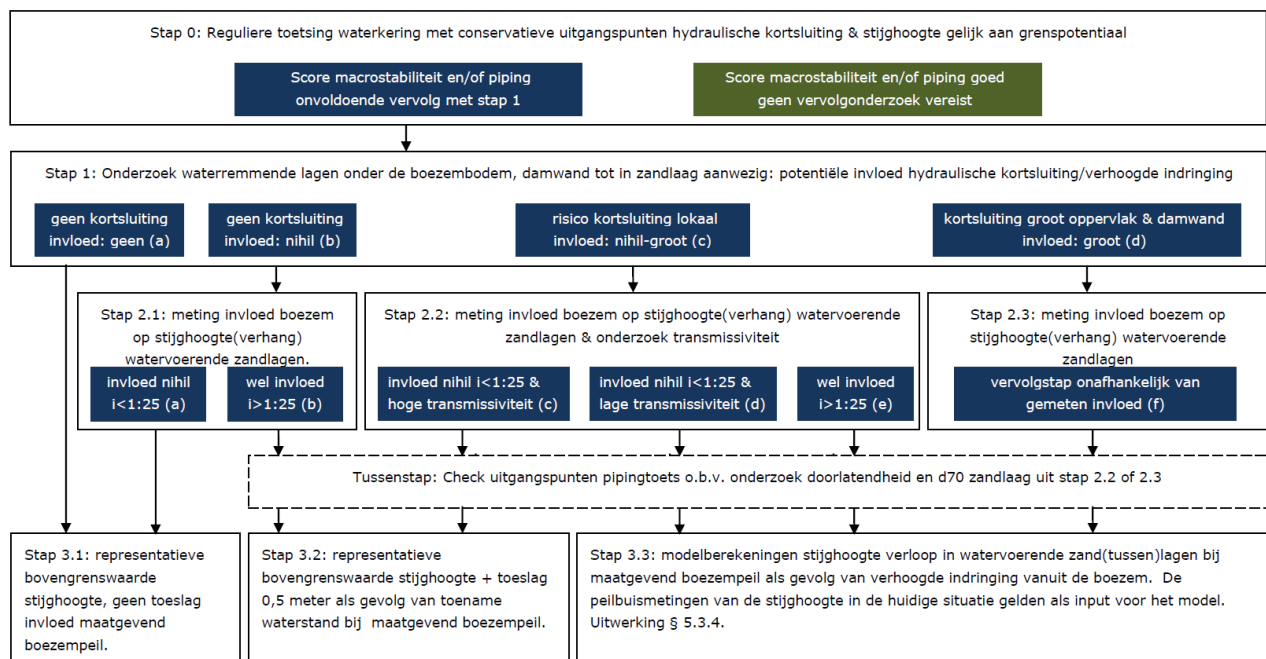


5.5 Verloop stijghoogte in watervoerende zandlagen

5.5.1 Algemeen

Het verloop van de stijghoogte(verloop) watervoerende zand(tussen)lagen onder maatgevende omstandigheden is bepaald conform paragraaf 5.3.3 beoordeling risico en invloed hydraulische kortsluiting uit Lit [3]. Het stappenplan is weergegeven in Figuur 10.

Voor de boezemkaden van de polder Heerhugowaard is conform het stappenplan onderzoek uitgevoerd in 2014. Op basis van informatie over de dikte van de slecht doorlatende lagen onder de boezembodem uit de boring in de boezembodem en de al bekende informatie opgenomen in het geotechnisch lengteprofiel zijn de 10 meest risicovolle locaties geselecteerd in relatie tot hydraulische kortsluiting tussen de boezem en het watervoerend pakket. Op deze locaties zijn meetraaien ingericht met peilbuizen onder de buitenkruinlijn, binnenkruinlijn en in het achterland om het verloop van de stijghoogte onder de kade door te meten. Naast het nieuwe onderzoek zijn ook nog peilbuismetingen beschikbaar uit 2011 (dit betreft geen volledig ingerichte meetraaien). Een van de twee door HHNK uitgevoerde hydraulische kortsluiting (piping)proeven is bovendien ook uitgevoerd in de polder Heerhugowaard, deze resultaten zijn ook meegewogen.



Figuur 10: Schematisering stijghoogte(verloop) uit Lit[3]

5.5.2 Overzicht schematisering stijghoogte lijn per sectie

In Tabel 10 is per sectie een korte beschrijving gegeven van het gekozen verloop van de stijghoogte. Dit verloop is gebruikt voor de toetsing van de binnenwaartse macrostabiliteit en piping.

In de tabel is tevens aangegeven of (en waar) er een meetraai beschikbaar was en volgens welke stap conform Figuur 10 de schematisering is bepaald. Bij deze toetsing betreft dat een van de volgende opties:

- Stap 0, conservatieve toets: bij een voldoende score voor zowel macrostabiliteit als piping bij toetsing van de waterkering met conservatieve uitgangspunten. Er is dan gerekend met



hydraulische kortsluiting (geen intredeweerstand), stijghoogte gelijk aan de grenspotentiaal (opbarsten), een ongunstig aangenomen d70 (pipingtoets) en hoge doorlatendheid (pipingtoets).

- Tussenstap, conservatieve toets geoptimaliseerd: bij een voldoende score voor zowel macrostabiliteit als piping op basis van de geoptimaliseerde uitgangspunten voor de doorlatendheid en d70 van de zandlaag volgend uit het onderzoek van stap 2.1, 2.2 en 2.3. De uitgangspunten voor hydraulische kortsluiting (geen intredeweerstand) en stijghoogte gelijk aan de grenspotentiaal (opbarsten) hoeven niet nader te worden onderzocht.
- Stap 3.1 representatieve bovengrenswaarde stijghoogte, geen toeslag invloed maatgevend boezempeil. Bij een onvoldoende score op stap 0 is op een representatieve bovengrenswaarde gekozen op basis van de metingen. In deze sectie is het risico op hydraulische kortsluiting zeer klein (categorie B) en valt de gemeten invloed uit stap 2.1 in de categorie nihil.
- Stap 3.3 modelberekeningen: bij een onvoldoende score op stap 0 of de tussenstap zijn modelberekeningen uitgevoerd voor de bepaling van het stijghoogte verloop in de watervoerende zand(tussen)lagen bij maatgevend boezempeil als gevolg van verhoogde indringing vanuit de boezem. De peilbuismetingen van de stijghoogte in de huidige situatie uit stap 2.2 of 2.3 gelden als input voor het model.

De gevolgde stappen zijn verder toelicht in paragraaf 5.5.3 tot 5.5.8. In deze paragrafen zijn de stappen uit Figuur 10 doorlopen.

Sectie	Meetraai	Schematisering conform stap	Beschrijving schematisering stijghoogte bij hoogwater (tenzij anders benoemd)
1	n.v.t	Stap 0	geen intredeweerstand (kortsluiting), lineair verloop naar grenspotentiaal = polderpeil, teensloot direct in verbinding WVP
2	n.v.t	Stap 0	geen intredeweerstand (kortsluiting), stijghoogte gelijk aan maatgevend boezempeil. Dit resulteert niet in opbarsten, in sectie 2 is sprake van een hoog achterland.
3	HH0072+00	Stap 3.2 /3.3 *1	geen intredeweerstand ("kortsluiting", volgt uit meting), lineair verloop naar polderpeil = NAP -3,55 voor sectie 3, naar grenspotentiaal op respectievelijk NAP -3,37 m voor sectie 4, gemeten stijghoogte +0,1 m = NAP -3,30 voor sectie 5 en gemeten stijghoogte +0,1 m = NAP -2,97 voor sectie 6
4	-		
5	HH0089+50		
6	HH0120+00		
7	n.v.t	Stap 3.1	Intredeweerstand -3,40m (geen kortsluiting), lineair verloop naar grenspotentiaal = polderpeil, teensloot direct in verbinding WVP.
8	-	Stap 3.3 *3	- intredeweerstand -2,40m (kortsluiting lokaal), geen verloop, teensloot ontbreekt *4 - intredeweerstand -1,00 m (kortsluiting groot oppervlak in combinatie met streefpeil), geen verloop, teensloot ontbreekt *4
9	HH0163 *2.		- intredeweerstand -2,40m (kortsluiting lokaal), BUK -3,00m, verloop naar grenspotentiaal op NAP -3,35 m. - intredeweerstand -1,00 m (kortsluiting groot oppervlak in combinatie met streefpeil, BUK -1,50m, BIT -2,35m, verloop naar grenspotentiaal op NAP -3,35 m.
10	n.v.t	Stap 0	geen intredeweerstand (kortsluiting), lineair verloop naar grenspotentiaal = polderpeil, teensloot direct in verbinding WVP.



Sectie	Meetraai	Schematisering conform stap	Beschrijving schematisering stijghoogte bij hoogwater (tenzij anders benoemd)
11	HH0187+90 HH0193+90	Stap 3.3 *3	- intredeweerstand -2,40m (kortsluiting lokaal), BUK -3,00m, verloop naar polderpeil, teensloot direct in verbinding WVP - intredeweerstand -1,00 m (kortsluiting groot oppervlak in combinatie met streefpeil, BUK -1,50m, BIT -2,35m, verloop naar polderpeil, teensloot direct in verbinding WVP.
12	n.v.t	Stap 0	geen intredeweerstand (kortsluiting), lineair verloop naar grenspotentiaal = polderpeil, teensloot direct in verbinding WVP
13	HH0259+50 HH0284+70	Tussenstap	geen intredeweerstand (kortsluiting, volgt uit meting), lineair verloop naar grenspotentiaal = polderpeil, teensloot direct in verbinding WVP.
14	-	Tussenstap	geen intredeweerstand (kortsluiting, volgt uit meting), lineair verloop naar grenspotentiaal = polderpeil, teensloot direct in verbinding WVP.
15	HH0306+00		
16	-		
17 17	HH0006+00 HH0017+00	Tussenstap	geen intredeweerstand (kortsluiting, volgt uit meting), lineair verloop naar grenspotentiaal = polderpeil, teensloot direct in verbinding WVP.

Tabel 10: Schematisering stijghoogteverloop per sectie

*1. Bij deze secties is geen intredeweerstand in rekening gebracht, dit volgt uit de peilbuismetingen. Voor de bepaling van het verloop van de stijghoogte ter plaatse van de teensloot onder maatgevende omstandigheden zijn modelberekeningen uitgevoerd met behulp van MSeep conform stap 3.3.

*2. In sectie 9 is de Hydraulische kortsluiting proef (pipingproef) uitgevoerd. Bij de proef zijn de waterremmende lagen onder de boezembodem over circa 20 m² weggegraven om een lokale kortsluiting te simuleren. Uit de peilbuismetingen volgde dat dit nauwelijks invloed had op het verloop van de stijghoogte onder de kade.

*3. Bij deze secties zijn modelberekeningen uitgevoerd conform stap 3.3. De berekeningen zijn uitgevoerd voor sectie 11. Deze berekeningen zijn ook representatief gesteld voor sectie 8 en 9.

*4. Vanwege het ontbreken van de teensloot is als conservatief uitgangspunt aangenomen dat de stijghoogte niet afneemt in de richting van het achterland. Er is in deze sectie sprake van relatief hoog achterland, deze stijghoogtes leiden niet tot opbarsten.

5.5.3 Stap 0: Reguliere toetsing waterkering met conservatieve uitgangspunten

Stap 0 betreft het toetsen van de faalmechanisme piping (STPH) en binnenwaartse macrostabiliteit (STBI) op basis van conservatieve uitgangspunten ten aanzien van het risico op hydraulische kortsluiting. Uit deze toetsing volgt of de waterkering potentieel gevoelig is voor een hydraulische kortsluiting voor het faalmechanisme piping (STPH) en de binnenwaartse macrostabiliteit (STBI).

Indien voldaan werd aan de volgende voorwaarden is geen vervolgonderzoek uitgevoerd. In alle andere gevallen is vervolgd met stap 1.

1. De waterkering scoort "goed" bij de gedetailleerde toets op de binnenwaartse macrostabiliteit bij toepassen stijghoogte in watervoerende lagen gelijk aan toetspeil, doch nooit hoger dan de grenspotentiaal (indien opbarstveiligheid <1,0). Of de waterkering scoort "goed" op de binnenwaartse macrostabiliteit op basis van ruime geometrie/eenvoudige toets.
2. De waterkering scoort "goed" op het risico op opbarsten bij toepassen stijghoogte in watervoerende lagen gelijk aan toetspeil -1 meter (opbarstveiligheid >1,1) of de waterkering scoort "goed" op het risico op piping op basis van Bligh ($L > 18 (\Delta H - 0,3d)$) of een gedetailleerde toets met Sellmeijer.



De resultaten zijn weergegeven in Tabel 11. Alleen de secties die op piping voldoende scores zijn weergegeven. De toetsing zelf is opgenomen in hoofdstuk 7.

Sectie	Toetsing binnenwaartse macrostabiliteit (STBI)	Toetsing piping (STPH)	Score stap 0
1	Score: voldoende, stabiliteitsfactor < eis, maar profiel scoort voldoende op restbreedte, betreft brede kering met overhoogte.	Score: voldoende toelaatbaar verval ($\Delta H_c / \gamma$) = 3,72 aanwezig verval ($\Delta H - 0,3d$) = 3,15	Voldoende
2	Score: voldoende, stabiliteitsfactor > eis	Score: voldoende, hoog achterland	Voldoende
7	Score: onvoldoende, stabiliteitsfactor < eis	Score: voldoende toelaatbaar verval ($\Delta H_c / \gamma$) = 4,11 aanwezig verval ($\Delta H - 0,3d$) = 3,81	Onvoldoende
8	Score: onvoldoende, stabiliteitsfactor < eis	Score: voldoende, geen opbarsten	Onvoldoende
9	Score: onvoldoende, stabiliteitsfactor < eis	Score: voldoende toelaatbaar verval ($\Delta H_c / \gamma$) = 3,79 aanwezig verval ($\Delta H - 0,3d$) = 3,51	Onvoldoende
10	Score: voldoende, stabiliteitsfactor > eis	Score: voldoende toelaatbaar verval ($\Delta H_c / \gamma$) = 5,93 aanwezig verval ($\Delta H - 0,3d$) = 3,90	Voldoende
12	Score: voldoende, stabiliteitsfactor > eis	Score: voldoende toelaatbaar verval ($\Delta H_c / \gamma$) = 3,93 aanwezig verval ($\Delta H - 0,3d$) = 2,85	Voldoende

Tabel 11: Stap 0, conservatieve toetsing STBI en STPH

5.5.4 Stap 1: Onderzoek waterremmende lagen onder de boezembodem

Stap 1 betreft een onderzoek naar de dikte van de waterremmende lagen onder de waterbodem en of er damwanden/beschoeiingen aanwezig zijn die tot in de zand(tussen)laag staan. Uit stap 1 volgt of er een risico bestaat op hydraulische kortsluiting danwel een significante invloed is te verwachten op de stijghoogte in de watervoerende zand(tussen)lagen als gevolg van indringing van water uit de boezem.

De beoordeling potentiële invloed kortsluiting op stijghoogte WVP wordt uitgevoerd conform Tabel 12. Voor de polder Heerhugowaard zijn er drie verschillende vervolgstappen, 2.1, 2.2 of 2.3. Dit betreft in alle gevallen metingen van het stijghoogte(verhang) in de watervoerende zandlagen en de transmissiviteit. Voor vier secties is er geen vervolgstap, deze zijn al goedgekeurd bij stap 0. De resultaten zijn weergegeven in Tabel 13.

	dikte laag * ¹ >12 kN/m ³	totale dikte deklaag	risico kortsluiting	potentiële invloed op stijghoogte	vervolg- stap
a	>=2,0 m	>=2,0 m	geen (conform LTV)	geen	3.1
b	>=0,5 m	>=2,0 m	geen	nihil	2.1
	>=1,0 m	>=1,5 m	geen	nihil	2.1
c	>=0,5 m	<2,0 m	kortsluiting lokaal	nihil – groot	2.2
	>=1,0 m	<1,5 m	kortsluiting lokaal	nihil – groot	2.2
	<0,5 m	>=1,0 m	kortsluiting lokaal	nihil – groot	2.2
d	<0,5 m	<1,0 m	kortsluiting groot oppervlak	groot	2.3

Tabel 12: Toets potentiële invloed kortsluiting op stijghoogte WVP (stap 1)



Sectie	dikte diklaag >12kN/m ³ [m]	totaal [m]	bron: opbouw deklaag [-]	risico kortsluiting [-]	potentiele invloed stijghoogte [-]	vervolg- stap [-]
1	0,85	1,44	*1/*2	lokaal	nihil - groot (c)	geen
2	0,85	2,08	*1/*2	geen	nihil (b)	geen
3	0,50	1,10	*1/*2	lokaal	nihil - groot (c)	2.2
4	0,85	2,83	*1/*2	geen	nihil (b)	2.1
5	1,45	2,21	*1/*2	geen	nihil (b)	2.1
6	0,86	2,46	*1/*2	geen	nihil (b)	2.1
7	0,65	2,25	*1/*2	geen	nihil (b)	2.1
8	0,30	0,30	*1/*2	groot oppervlak	groot (d)	2.3
9	0,00	0,35	*1/*2	groot oppervlak	groot (d)	2.3
10	0,00	0,30	*1/*2	groot oppervlak	groot (d)	geen
11	0,25	0,48	*1/*3	groot oppervlak	groot (d)	2.3
12	0,00	0,00	*1/*2	groot oppervlak	groot (d)	geen
13	0,00	0,10	*1/*3	groot oppervlak	groot (d)	2.3
14	0,00	0,00	*1/*2	groot oppervlak	groot (d)	2.3
15	0,00	0,00	*1/*2	groot oppervlak	groot (d)	2.3
16	0,00	0,00	*1/*2	groot oppervlak	groot (d)	2.3
17a	0,25	0,38	*1/*3	groot oppervlak	groot (d)	2.3
17b	0,50	1,05	*1/*3	lokaal	nihil - groot (c)	2.2

*1. Bodemligging volgt uit ingemeten profiel
*2 Opbouw deklaag op basis van mechanische boring en sondering in de kruin van de kade
*3. Opbouw deklaag op basis van boring in de boezembodem

Tabel 13: Resultaten toets potentiële invloed kortsluiting op stijghoogte WVP (stap 1)

5.5.5 Stap 2.1, 2.2 en 2.3 meting stijghoogte(verhang) & onderzoek transmissiviteit

In Tabel 14 zijn de resultaten weergegeven van het onderzoek naar de metingen van het stijghoogte(verhang) onder de kade en de transmissiviteit van de watervoerende zandlagen.

Voor het bepalen van de benodigde vervolgstap zijn twee afwegingen gemaakt.

1. Is er sprake van een significant gemeten verhang onder de kade. Een verhang <1:25 wordt als significant beschouwd, er is dan potentieel sprake van een aanzienlijke stroming (=potentieel risico piping) onder de kade door. Een verhang <1:25 wordt als nihil beschouwd.
2. Daarnaast is de transmissiviteit onderzocht. Een transmissiviteit van meer dan 100 m²/dag wordt als hoog beschouwd. In die situaties wordt verwacht dat de invloed van een eventuele lokale kortsluiting beperkt is, alleen kortsluiting over een groot oppervlak heeft in die situaties naar verwachting een grote invloed.

De metingen van het verhang en de transmissiviteit ondersteunen elkaar. Bij de secties waar sprake is van een hoge transmissiviteit is ook geen significant verhang gemeten. Dit is ook de verwachting wanneer sprake is van een hoge transmissiviteit. Bij de secties waar sprake is van een lage transmissiviteit wordt onder normale omstandigheden in veel gevallen al een significant verhang gemeten. Dit is ook de verwachting wanneer sprake is van een lage transmissiviteit.



Sectie	locatie	verval	verhang i	intrede-	invld boezem	dikte	doorlat-	KD	transmis-	vervolg-
		totaal	BIK-sloot	weerstand	op verloop	WVP	endheid		siviteit	stap
[-]	[-]	[m]	[1:n]	[m]	[-]	[m]	[m/dag]	[m ² /dag]	[-]	[-]
1	nvt, stap 0	-	-	-	-	6,9	15	103	nvt	nvt
2	nvt, stap 0	-	-	-	-	6,4	15	96	nvt	nvt
3	HH072+00	2,8	14,0	1,0	significant	1,5	0,40	0,6	zeer laag	3.2/3.3
4	HH089+50	3,3	18,0	0,0	significant	1,0	0,40	0,4	zeer laag	3.2/3.3
5	HH089+50	3,3	18,0	0,0	significant	1,5	0,25	0,4	zeer laag	3.2/3.3
6	HH120+00	2,6	24,0	1,2	significant	2,0	0,60	1,2	zeer laag	3.2/3.3
7	HH130+30('11)	3,9	1300,0	3,4	nihil	5,0	5,0	25	laag	3.1
8	nvt, stap 0	3,6	50,7	1,7	nihil	16,2	8,0	130	hoog	3.3
9	Kortsluitingprf	3,6	50,7	1,7	nihil	16,3	8,0	130	hoog	3.3
10	nvt, stap 0	-	-	-	-	16,3	15	245	nvt	nvt
11	HH198+80	3,2	126	-	nihil	16,6	8,0	133	hoog	3.3
11	HH187+90	3,2	115	2,9	nihil					3.3
11	HH193+90	3,2	163	2,9	nihil					3.3
12	nvt, stap 0	-	-	-	-	16,5	15	247	nvt	nvt
13	HH259+50	2,5	21,0	0,0	significant	4,0	0,70	2,8	zeer laag	nvt
13	HH284+70	1,8	23,0	0,5	significant					nvt
14	HH306+00	1,5	26,0	0,0	significant	8,0	0,40	3,0	zeer laag	nvt
15	HH306+00	1,5	26,0	0,0	significant	8,0	0,40	3,0	zeer laag	nvt
16	HH006+00	2,3	26,0	0,0	significant	4,0	0,60	2,4	zeer laag	nvt
17a	HH006+00	2,3	26,0	0,0	significant	5,0	0,60	3,0	zeer laag	nvt
17b	HH017+00	2,3	85,0	0,0	nihil	5,0	0,90	4,5	zeer laag	nvt

Tabel 14: Resultaten meting stijghoogte en transmissiviteit (stap 2.1, 2.2 en 2.3)

Meting stijghoogte(verhang)

De in Tabel 14 gepresenteerde resultaten volgen uit de peilbuismetingen. Op 10 locaties zijn meetraaien ingericht met peilbuizen voor meting van de stijghoogte onder de kruin, de berm en in het achterland ter plaatse van het theoretische uittredepunt bij opbarsten. Per onderzoeksraai is de intredeweerstand berekend op basis van extrapolatie naar het gekozen intredepunt van de gemeten verhanglijn.

De meetresultaten zijn geanalyseerd en gepresenteerd in figuren met de volgende informatie:

- dwarsprofiel geometrie boezemkade inclusief het onderwaterprofiel;
- kwelweglengte (L);
- ligging bovenzijde watervoerend pakket inclusief schatting transmissiviteit;
- locaties peilbuizen en filters;
- buitenwaterstand en binnenwaterstand, totaal verval (H);
- gemeten stijghoogte, minimaal, maximaal en gemiddeld;
- verhang tussen buitenkruinlijn en binnenkruinlijn en binnenteen;
- intredeweerstand bij geëxtrapoleerde verhanglijn.

Een voorbeeld van deze uitwerking is weergegeven in Figuur 11. De resultaten van de afzonderlijke meetraaien zijn gepresenteerd in bijlage 4.



Voor de bepaling van de transmissiviteit is informatie vereist over de dikte van de watervoerende zandlagen direct onder de kade en de doorlatendheid van deze lagen. De dikte van de watervoerende lagen is bepaald op basis van de sonderingen en boringen in het geotechnisch lengteprofiel.

Op alle locaties zijn monsters gestoken van de watervoerende zandlaag voor de bepaling van de korrelverdeling inclusief de fijne fractie. Uit de korrelverdeling volgt de D70 percentiel waarde, dit betreft vereiste invoer voor de Sellmeijer toets. Daarnaast geeft dit informatie over de doorlatendheid van de zandlagen.

Uit de korrelverdelingen blijkt dat de watervoerende lagen met uitzondering van sectie 1 t/m 2 en 8 t/m 12 zeer fijne sterk siltige zanden betreffen. Op basis van de D50(Bligh) of D70 Sellmeijer zijn dit potentieel pipinggevoelige zandlagen waar een grote kwelweglengte vereist is om te voldoen aan de norm. De doorlatendheid van deze zanden is echter beperkt vanwege de hoge percentages silt en lutum in deze zanden. Dit heeft een gunstige invloed op het risico op piping. De bestaande methodiek geeft echter geen mogelijkheden om deze invloed mee te nemen. Bij de pipingtoets met Sellmeijer wordt de doorlatendheid bepaald op basis van de D10 van de zandfractie volgens Den Rooijen. Voor correctie van de aanwezige silt en leemfractie wordt verwezen naar Van den Akker. Deze methode is echter alleen geldig voor grove tot matig fijne zanden. Voor fijne en zeer fijne zanden wordt in de huidige methodiek geen correctiefactor gegeven. De invloed van de (zeer) fijne fractie op de doorlatendheid is aanzienlijk. Het niet meenemen van deze invloed op de doorlatendheid resulteert in het onterecht afkeuren van grote dijkstrekkings op piping.



Om meer informatie te verzamelen over de doorlatendheid van de zandlagen zijn daarom in het veld aanvullend constant head proeven uitgevoerd op de peilbuizen. Hieruit volgt dat de doorlatendheid in werkelijkheid inderdaad aanzienlijk lager is dan berekend op basis van de formule van Den Rooijen. De in het veld gemeten waarden variëren bij de fijne ($D_{10} = 71 \mu\text{m}$) sterk siltige (lutumgehalte 2,5 tot 10%) zanden waarden tussen circa 0,25 m/dag en 1,00 m/dag. Uit de formule van Den Rooijen volgt na correctie volgens Van den Akker een doorlatendheid van 5,0 m/dag. In Tabel 14 zijn de representatief gekozen doorlatendheden per sectie weergegeven.

5.5.6 Tussenstap: Toetsing waterkering met geoptimaliseerde uitgangspunten

De tussenstap betreft het opnieuw toetsen op basis van de onderzoeksresultaten uit stap 2.1, 2.2 en 2.3 van het faalmechanisme piping (STPH) van de vakken die onvoldoende scores bij stap 0.

Dit betreft 30 aanvullende korrelverdelingen voor een nauwkeurigere bepaling van de D_{70} , D_{10} , en D_{60}/D_{10} . De volgende laag representatieve waarden zijn gehanteerd voor de toetsing:

- Sectie 3 t/m 6: $D_{70} = 110 \mu\text{m}$
- Sectie 11: $D_{70} = 262 \mu\text{m}$
- Sectie 13 t/m 17: $D_{70} = 100 \mu\text{m}$

Daarnaast zijn 30 constant head proeven uitgevoerd op de peilbuizen voor de bepaling van de doorlatendheid. De volgende hoog representatieve waarden zijn gehanteerd voor de toetsing:

- Sectie 3 t/m 6: $k = 1 \text{ m/dag}$
- Sectie 11: $k = 8 \text{ m/dag}$
- Sectie 13 t/m 17: $k = 1 \text{ m/dag}$

De resultaten zijn weergegeven in Tabel 15. In de tabel zijn ook de scores van de conservatieve toetsing uit stap 0 voor de binnenwaartse macrostabiliteit weergegeven. Deze zijn relevant voor de vervolgstap. Bij een voldoende score voor zowel piping als macrostabiliteit is er geen vervolgstap.

Sectie	Hertoets piping (STPH)	Conservatieve toets macrostabiliteit (STBI)	Score tussenstap	Vervolgstap
1	nvt, voldoende stap 0	nvt, voldoende stap 0	nvt	nvt
2	nvt, voldoende stap 0	nvt, voldoende stap 0	nvt	nvt
3	voldoende	voldoende	voldoende	nvt
4	voldoende	onvoldoende	onvoldoende	3.2/3.3
5	voldoende	onvoldoende	onvoldoende	3.2/3.3
6	voldoende	onvoldoende	onvoldoende	3.2/3.3
7	nvt, voldoende stap 0	onvoldoende	onvoldoende	3.1
8	nvt, voldoende stap 0	onvoldoende	onvoldoende	3.3
9	nvt, voldoende stap 0	onvoldoende	onvoldoende	3.3
10	nvt, voldoende stap 0	nvt, voldoende stap 0	nvt	nvt
11	onvoldoende	onvoldoende	onvoldoende	3.3
12	nvt, voldoende stap 0	nvt, voldoende stap 0	nvt	nvt
13	voldoende	voldoende	voldoende	nvt
14	voldoende	voldoende	voldoende	nvt
15	voldoende	voldoende	voldoende	nvt
16	voldoende	voldoende	voldoende	nvt
17	voldoende	voldoende	voldoende	nvt

Tabel 15: Tussenstap, toetsing STPH op basis van geoptimaliseerde uitgangspunten



Er is een deklaag van slib en klei aanwezig onder de boezembodem met een dikte van 2,5 meter. De watervoerende laag is circa 1,5 meter dik en bestaat uit uiterst fijn sterk siltig/kleilig zand met een relatief lage doorlatendheid (ca. 0,4 m/dag, bepaald op basis van constant head proeven). De teensloot staat niet in contact met het watervoerend pakket. Onder normale omstandigheden is al sprake van een sterke invloed van de boezem op het stijghoogteverloop onder de kade. Op basis



van extrapolatie van de verhanglijn tussen de buitenkruinlijn en de binnenkruinlijn wordt geen enkele intredeweerstand berekend. De stijghoogte neemt echter snel af richting de teensloot.

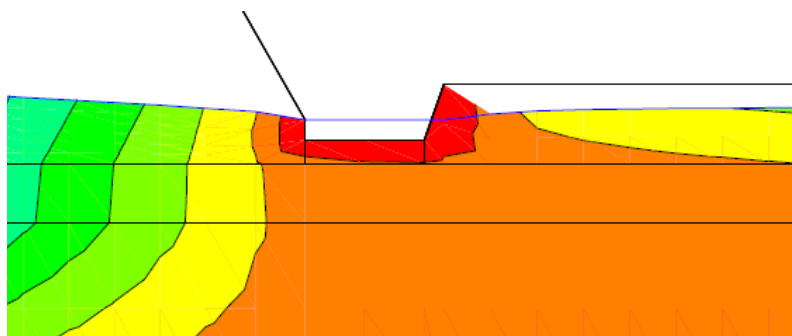
Analyse invloed stijging boezempeil op stijghoogteverloop

Vanwege de lage transmissiviteit van de watervoerende laag ($0,6 \text{ m}^2/\text{dag}$) wordt in de peilbuizen waarschijnlijk eerder de freatische lijn gemeten, dan indringing van water vanuit de boezem naar de watervoerende zandlaag. Dit is echter niet zeker. Bij een stijging van het boezempeil zal de stijghoogte ter plaatse van de buitenkruinlijn waarschijnlijk 1:1 meebewegen, de vraag is in hoeverre de stijghoogte onder de berm en teensloot stijgt als gevolg van een hogere boezemwaterstand. Een toename van de stijghoogte onder de teensloot kan resulteren in opbarsten en een afname van de macrostabiliteit.

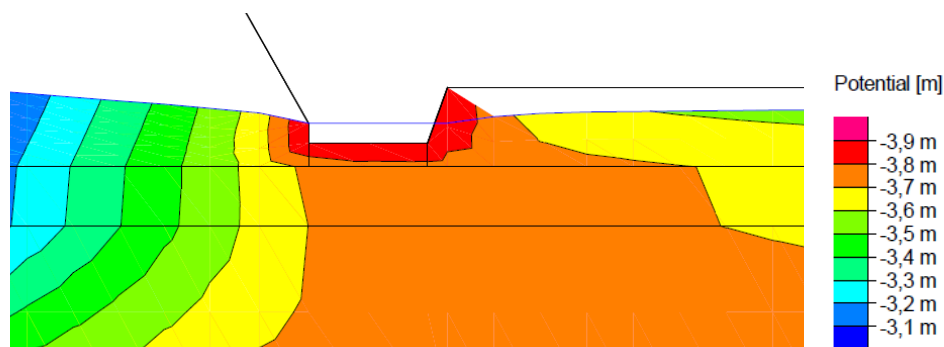
Om dit nader te onderzoeken zijn er een drietal berekeningen uitgevoerd met MSeep.

1. 0-situatie, narekenen van de situatie onder normale omstandigheden (streefpeil) geijkt op basis van de metingen
2. MHW-situatie, boezempeil stijgt met 0,5 meter, verder geen wijzigingen in het model.
3. MHW-situatie, boezempeil stijgt met 0,5 meter + afname weerstand boezembodem van 0,1 m/dag naar 0,4 m/dag (gelijk aan de watervoerende zandlaag)

De berekende toename van de stijghoogte bij de binnenteen als gevolg van MHW en een afname van de weerstand van de boezembodem is minder dan 0,1 meter ter plaatse van de teensloot. In Figuur 13 en Figuur 14 is de uitvoer van de MSeep berekeningen weergegeven voor de 0-situatie en MHW inclusief afname boezembodem. Er is in de toetsing veiligheidshalve gerekend met een toename van 0,1 meter ter hoogte van de teensloot.



Figuur 13: Sectie 5, MSeep berekening 0-situatie

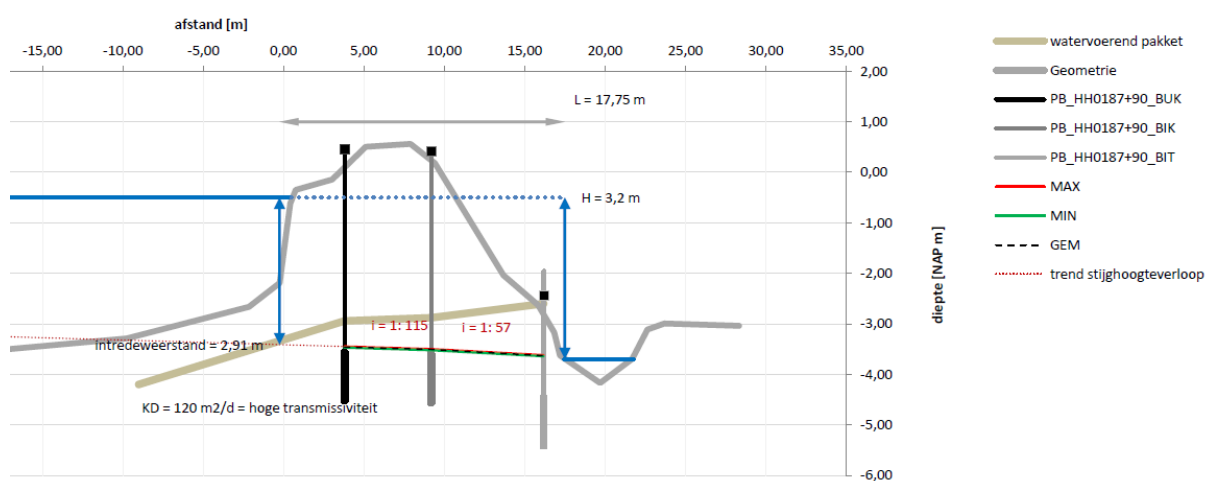


Figuur 14: Sectie 5, MSeep berekening MHW +afname weerstand

Dit resulteert in de volgende schematisering: geen intredeweerstand ("kortsluiting", volgt uit meting), lineair verloop naar polderpeil = NAP -3,55 m voor sectie 3, grenspotential = NAP -3,37 m voor sectie 4, gemeten stijghoogte +0,1 m = NAP -3,30 voor sectie 5 en gemeten stijghoogte +0,1 m = NAP -2,97 voor sectie 6.

Voor sectie 11 zijn modelberekeningen uitgevoerd met Mseep. Deze berekeningen zijn gebaseerd op basis van de metingen van het stijghoogteverloop in sectie 11, zie Figuur 15. Deze berekeningen zijn ook representatief gesteld voor sectie 8 en 9, de geometrie in sectie 9, maar met name de bodemopbouw en transmissiviteit van de zandlagen is in deze secties vergelijkbaar met sectie 11.

Er is een deklaag van slib, veen en klei aanwezig onder de boezembodem met een dikte van 0,5 tot 1,0 meter. De watervoerende laag is circa 16,5 meter dik en bestaat uit matig grof zand met een relatief hoge doorlatendheid (ca. 8 m/dag, bepaald op basis van constant head proeven). De teensloot staat in contact met het watervoerend pakket. Onder normale omstandigheden is er nagenoeg geen invloed meetbaar van de boezem op het stijghoogteverloop onder de kade. Op basis van extrapolatie van de verhanglijn tussen de buitenkruinlijn en de binnenkruinlijn wordt een intredeweerstand van 2,90 meter berekend.



Figuur 15: Analyse stijghoogte(verhang), sectie 11 HH187+90

Vanwege de hoge transmissiviteit van de watervoerende laag (133 m²/dag), is ondanks de relatief dunne deklaag, de indringing van water vanuit de boezem naar de watervoerende zandlaag nauwelijks meetbaar. Een stijging van het boezempeil zal onder normale omstandigheden niet of nauwelijks leiden tot een toename van de stijghoogte in het watervoerend pakket.

Conform het richtlijnendocument Lit[3] moet bij een geringe deklaagdikte echter rekening worden gehouden met verschillende belastingscenario's in combinatie met hydraulische kortsluiting. Door hydraulische kortsluiting kan de invloed van de boezem op het stijghoogte(verloop) sterk toenemen. Een toename van de stijghoogte onder de teensloot kan resulteren in opbarsten (nvt in sectie 11), een verhoogd risico op piping en een afname van de macrostabiliteit.



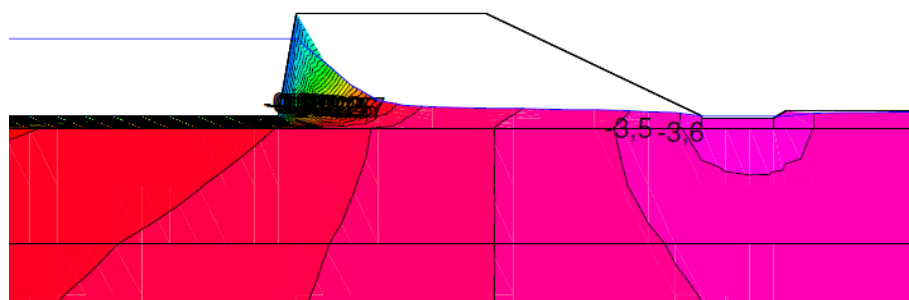
Om dit nader te onderzoeken zijn er een vijftal belastingsituaties berekend met behulp van MSeep.

1. 0-situatie, narekenen van de situatie onder normale omstandigheden (streefpeil) geijkt op basis van de metingen
2. MHW-situatie, boezempeil stijgt met 0,5 meter, verder geen wijzigingen in het model.
3. MHW-situatie, boezempeil stijgt met 0,5 meter, lokale kortsluiting over 20 m² vertaald in 2D model naar een spleetbreedte met een lagere weerstand van de boezembodem van 1 dag in plaats van 25 dagen.
4. Streefpeil, geen toename boezempeil, kortsluiting groot oppervlak als gevolg van te diep baggeren⁴, vertaald in 2D berekening naar een verlaging van de weerstand van de boezembodem van 25 dagen naar 1 dag.
5. Streefpeil, geen toename boezempeil, kortsluiting langs damwand door krimp bij droogte vertaald in 2D berekening naar een verlaging van de weerstand van de boezembodem naast de damwand over een breedte van 0,15 meter van 25 dagen naar 0 dagen.

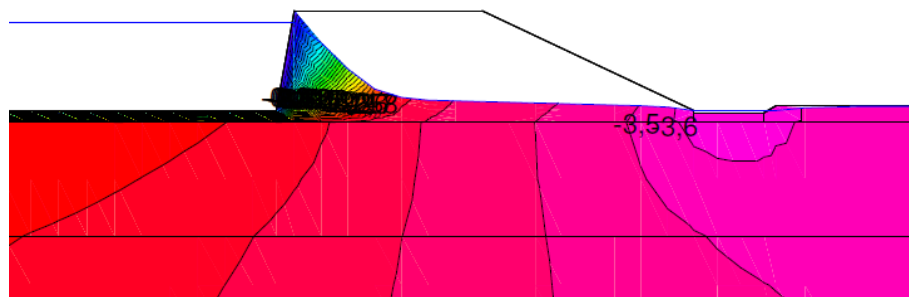
De resultaten zijn samengevat in Tabel 16. In Figuur 16 t/m Figuur 20 is de uitvoer van de berekeningen weergegeven.

belastinggeval [-]	Waterstand NAP m / waterstand t.o.v. boezempeil			waterstand sloot
	Intrede [NAP m/ m]	BUK [NAP m/ m]	BIT [NAP m / m]	Sloot [NAP m/ m]
0-situatie (streefpeil)	-3,20 / 2,70	-3,30 / 2,80	-3,50 / 3,00	-3,70 / 3,20
0-situatie (MHW)	-3,15 / 3,15	-3,25 / 3,25	-3,50 / 3,50	-3,70 / 3,70
Kortsluiting lokaal (MHW)	-2,40 / 2,40	-3,00 / 3,00	-3,30 / 3,30	-3,70 / 3,70
Kortsluiting groot (streefpeil)	-1,50 / 1,00	-2,00 / 1,50	-2,85 / 2,35	-3,70 / 3,20
Kortsluiting damwand (strfpeil)	-0,50 / 0,00	-2,50 / 2,00	-3,10 / 2,60	-3,70 / 3,20

Tabel 16: Belastingsituaties modelberekeningen sectie 11

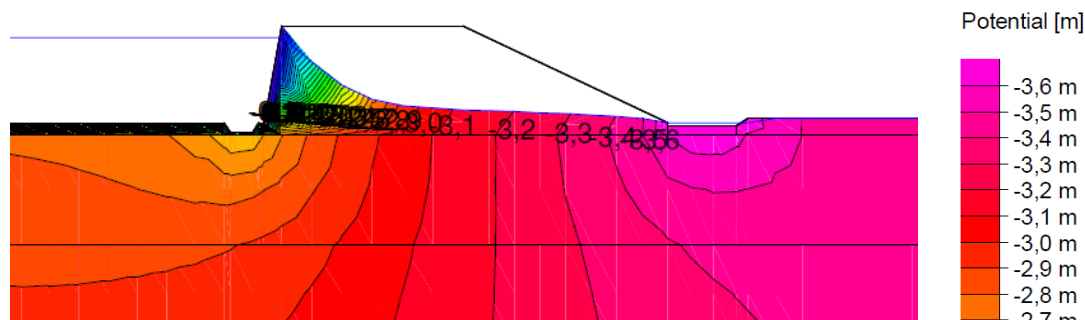


Figuur 16: Sectie 11, MSeep berekening 0-situatie (streefpeil)

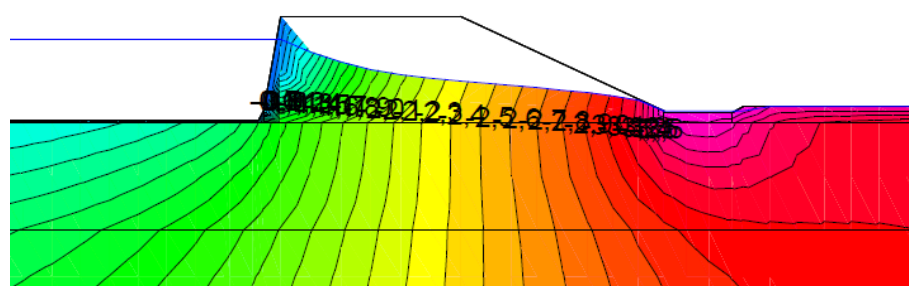


Figuur 17: Sectie 11, MSeep berekening 0-situatie (MHW)

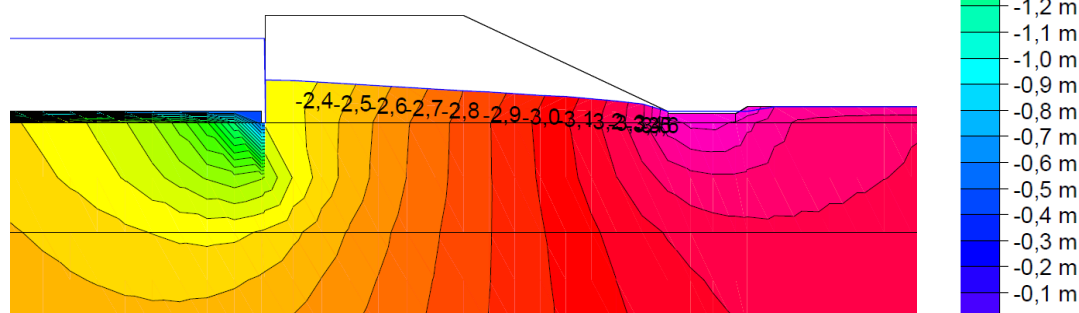
⁴ Baggeren gebeurt alleen bij streefpeil en na verloop van tijd neemt de weerstand van de boezembodem weer toe. Daarom wordt de combinatie van kortsluiting over een groot oppervlak en maatgevend boezempeil als onwaarschijnlijk gezien en niet nader beschouwd.



Figuur 18: Sectie 11, MSeep berekening Kortsluiting lokaal (MHW)



Figuur 19: Sectie 11, MSeep berekening Kortsluiting groot (streefpeil)



Figuur 20: Sectie 11, MSeep berekening Kortsluiting damwand (streefpeil)

Schematisering stijghoogteverloop

Uit deze berekeningen volgen twee maatgevende schematiseringen voor het verloop van de stijghoogte. Één schematisering bij streefpeil en één bij maatgevend boezempeil:

- De maatgevende schematisering bij streefpeil betreft de combinatie met kortsluiting over een groot oppervlak als gevolg van te diep baggeren. Kortsluiting langs de damwand heeft minder invloed.
- De maatgevende schematisering bij MHW betreft de combinatie met lokale kortsluiting. Een lokale kortsluiting kan diverse oorzaken hebben.



6 Overige uitgangspunten

6.1 Rekenmodel

De stabiliteit van de kaden is geanalyseerd met behulp van het programma D-Geo Stability (versie 10.1.2.3). Dit programma is ontwikkeld voor het ontwerp en de controle op stabiliteit van grondlichamen. De berekeningen zijn uitgevoerd met de standaard module (Bishop) en de Uplift module. Bij de methode Bishop wordt de veiligheidsfactor van een grondmoot langs een cirkelvormig glijvlak berekend. Bij de methode Uplift Van wordt de stabiliteit bij een deels horizontaal glijvlak beschouwd.

6.2 Schematiseringsfactor

Voor de toetsing wordt een schematiseringfactor van 1,05 toegepast.

6.3 Modelfactoren

Voor Bishop wordt een modelfactor van 1,00 aangehouden. Bij Uplift Van geldt een modelfactor van 1,05 voor de natte situatie indien er sprake is van opdrijven van het achterland, in andere gevallen is de modelfactor 1,00.

6.4 Verkeersbelasting

Voor secties waar sprake is van een wegverharding wordt met een ongedraineerde bovenbelasting (0% consolidatie) van 13 kN/m² over een breedte van 2,50 m gerekend. Voor secties waar sprake is van een groene kade, ontoegankelijk voor zwaar verkeer, wordt gerekend met een ongedraineerde bovenbelasting (0% consolidatie) van 5 kN/m² over een breedte van 2,50 m.

6.5 Stabiliteitsfactor

De vereiste stabiliteitsfactor is opgebouwd uit de minimaal vereiste IPO-klasse vermenigvuldigt met de schematiseringfactor.

Polder	Sectie	IPO-klasse	Schade-factor	Schematiserings-factor	Vereiste stabiliteitsfactor
Heerhugowaard	1	V	1,00	1,05	1,05
Heerhugowaard	2	V	1,00	1,05	1,05
Heerhugowaard	3	V	1,00	1,05	1,05
Heerhugowaard	4	V	1,00	1,05	1,05
Heerhugowaard	5	V	1,00	1,05	1,05
Heerhugowaard	6	V	1,00	1,05	1,05
Heerhugowaard	7	V	1,00	1,05	1,05
Heerhugowaard	8	V	1,00	1,05	1,05
Heerhugowaard	9	V	1,00	1,05	1,05
Heerhugowaard	10	V	1,00	1,05	1,05



Polder	Sectie	IPO- klasse	Schade- factor	Schematiserings- factor	Vereiste stabiliteitsfactor
Heerhugowaard	11	V	1,00	1,05	1,05
Heerhugowaard	12	V	1,00	1,05	1,05
Heerhugowaard	13	V	1,00	1,05	1,05
Heerhugowaard	14	V	1,00	1,05	1,05
Heerhugowaard	15	V	1,00	1,05	1,05
Heerhugowaard	16	I	0,80	1,05	0,84
Heerhugowaard	17	I	0,80	1,05	0,84

Tabel 17: Vereiste stabiliteitsfactoren per sectie



7 Technische oordeel boezemkades

7.1 Algemeen

De technische beoordelingen van de boezemkaden is uitgevoerd conform de "Leidraad toetsen op veiligheid regionale keringen" [1] en het "Addendum op de Leidraad toetsen op veiligheid regionale keringen betreffende de boezemkaden" [2]. Aanvullend is gebruik gemaakt van "Richtlijnen technische toetsing, ontwerp en realisatie regionale keringen, 19 februari 2014, 14.0008530" [3].

De volgende faalmechanismen zijn opnieuw beschouwd:

- Piping (STPH)
- Binnenwaartse macrostabiliteit (STBI)
- Buitenwaartse macrostabiliteit (STBU)

7.2 Piping (STPH)

7.2.1 Algemeen

Stabiliteitsverlies door piping kan ontstaan wanneer te veel gronddeeltjes uit de onderliggende grondlagen worden meegevoerd door een kwelstroom bij (langdurige) hoge waterstanden. Piping kan alleen optreden onder een doorgaande slecht waterdoorlatende laag, zoals klei of veen. Bovendien moet er zowel een intrede- als een uittredepunt zijn. Onder intredepunt wordt de toestroom van water vanuit de boezem naar de watervoerende zandlagen bedoeld. Als er geen water toestroomt vanuit de boezem, kan er ook geen stroming onder de kade ontstaan, daarmee is piping uitgesloten. Onder uittredepunt wordt de uitstroom van water in het achterland of watergang bedoeld. Als aanwezige slecht waterdoorlatende lagen niet kunnen opbarsten is piping ook uitgesloten.

7.2.2 Eindscore toetsing

In Tabel 18 zijn de eindscores van de toetsing op piping weergegeven. De eindscore is voor alle secties voldoende. Twee secties zijn goedgekeurd op basis van de eenvoudige toets, wel of geen risico op opbarsten. Vijf secties zijn goedgekeurd met de methode Sellmeijer op basis van conservatieve uitgangspunten. Tien secties zijn goedgekeurd met de methode Sellmeijer op basis van de geoptimaliseerde uitgangspunten op basis van aanvullend veld- en laboratoriumonderzoek. Een sectie is goedgekeurd met de methode Sellmeijer na het in rekening brengen van de aangetoonde intredeweerstand.

Sectie [-]	Score _{;eenvoudig} [-]	Score _{;Sellmeijer;stap 0} [-]	Score _{;Sellmeijer;tussenstap} [-]	Score _{;Sellmeijer;tussenst;intredeweerst} [-]	Eindscore [-]
1	-	voldoende *1.	→	→	voldoende
2	voldoende	→	→	→	voldoende
3	-	onvoldoende *1.	voldoende *2.	→	voldoende
4	-	onvoldoende *1.	voldoende *2.	→	voldoende
5	-	onvoldoende *1.	voldoende *2.	→	voldoende
6	-	onvoldoende *1.	voldoende *2.	→	voldoende
7	-	voldoende *1.	→	→	voldoende



Sectie [-]	Score _{;eenvoudig} [-]	Score _{;Sellmeijer;stap 0} [-]	Score _{;Sellmeijer;tussenstap} [-]	Score _{;Sellmeijer;tussenst;intredeweerst} [-]	Eindscore [-]
8	voldoende	→	→	→	voldoende
9	-	voldoende *1.	→	→	voldoende
9a	-	onvoldoende *1.	voldoende *2.	→	voldoende
10	-	voldoende *1.	→	→	voldoende
11	-	onvoldoende *1.	onvoldoende *2.	voldoende *3.	voldoende
12	-	voldoende *1.	→	→	voldoende
13	-	onvoldoende *1.	voldoende *2.	→	voldoende
14	-	onvoldoende *1.	voldoende *2.	→	voldoende
15	-	onvoldoende *1.	voldoende *2.	→	voldoende
16	-	onvoldoende *1.	voldoende *2.	→	voldoende
17	-	onvoldoende *1.	voldoende *2.	→	voldoende

*1. Maximaal toelaatbaar verval is berekend met de methode Sellmeijer op basis van (zeer) conservatieve uitgangspunten voor de doorlatendheid en d70

*2. Maximaal toelaatbaar verval is berekend met de methode Sellmeijer met doorlatendheden bepaald op basis van bovengrenswaarden uit constant head proeven uitgevoerd op locatie en d70 op basis van laboratoriumonderzoek (zie paragraaf 5.5.6.).

*3. Voor dit profiel is een minimale intredeweerstand berekend van 1 meter voor de meest ongunstige belastingcombinatie, hydraulische kortsluiting over een groot oppervlak als gevolg van (te diep) baggeren. Na het in rekening brengen van deze intredeweerstand is het aanwezige verval kleiner dan het maximaal toelaatbare verval volgens Sellmeijer (zie paragraaf 5.5.8, Sectie 11 – MSeep berekening invloed kortsluiting).

Tabel 18: Eindscore toetsing piping

7.2.3 Eenvoudige toets opbarsten (stap 0)

Voor de eenvoudige toets is beoordeeld of er een uittredepunt aanwezig is, of dat deze kan ontstaan als gevolg van opbarsten.

Bij een deel van de secties snijdt de bodem van de watergang de watervoerende zand(tussen)laag, dit betekend dat er uittredepunt aanwezig is. De toetsing is voor die secties vervolgt met een beoordeling met de methode Sellmeijer. Bij de overige secties is wel een afsluitende laag aangetroffen tussen de watervoerende zandlaag en de slootbodem (of het maaiveld). Voor deze secties is de veiligheid op opbarsten beoordeeld op basis van een zeer conservatieve aanname voor de stijghoogte (stijghoogte = toetspeil-1 meter). Bij een opbarstveiligheid kleiner dan 1,1 is de toetsing vervolgt met een beoordeling met de methode Sellmeijer. De resultaten zijn samengevat in Tabel 19.

Toetsing met de methode Bligh is niet uitgevoerd. Uit de toetsing uitgevoerd in 2011 bleek al dat het met deze methode niet mogelijk was om tot een voldoende oordeel te komen.

Sectie [-]	Uittredepunt [-]	Stijghoogte [NAP m]	Opbarstveiligheid [-]	Risico opbarsten($\gamma < 1,1$) [-]	Grenspotentiaal [NAP m]	Score _{;eenvoudig} [-]
1	teensloot	-1,25	-	n.v.t. geen deklaag	polderpeil	onvoldoende
2	achterland	-1,25	1,61	nee	0,72	voldoende
3	teensloot	-1,25	-	n.v.t. geen deklaag	polderpeil	onvoldoende



Sectie [-]	Uittredepunt [-]	Stijghoogte [NAP m]	Opbarstveiligheid [-]	Risico opbarsten($\gamma < 1,1$) [-]	Grenspotentiaal [NAP m]	Score; eenvoudig [-]
4	teensloot	-1,25	0,35	ja	-3,40	onvoldoende
5	teensloot	-1,00	0,45	ja	-3,25	onvoldoende
6	teensloot	-1,00	0,47	ja	-2,75	onvoldoende
7	teensloot	-1,00	-	n.v.t. geen deklaag	polderpeil	onvoldoende
8	achterland	-1,00	1,14	nee	-0,47	voldoende
9	teensloot	-1,00	0,27	ja	-3,35	onvoldoende
9a	teensloot	-1,00	0,27	ja	-3,35	onvoldoende
10	teensloot	-1,00	-	n.v.t. geen deklaag	polderpeil	onvoldoende
11	teensloot	-1,00	-	n.v.t. geen deklaag	polderpeil	onvoldoende
12	teensloot	-1,00	-	n.v.t. geen deklaag	polderpeil	onvoldoende
13	teensloot	-1,30	-	n.v.t. geen deklaag	polderpeil	onvoldoende
14	teensloot	-1,30	-	n.v.t. geen deklaag	polderpeil	onvoldoende
15	teensloot	-1,30	-	n.v.t. geen deklaag	polderpeil	onvoldoende
16	teensloot	-1,30	-	n.v.t. geen deklaag	polderpeil	onvoldoende
17	teensloot	-1,25	-	n.v.t. geen deklaag	polderpeil	onvoldoende

Tabel 19: Eenvoudige toets piping

7.2.4 Toetsing met methode Sellmeijer (stap 0)

Voor de toetsing op piping is conform stap 0 uit het toetsschema "Schematisering stijghoogteverloop" (zie Figuur 10) allereerst een beoordeling met de methode Sellmeijer uitgevoerd met conservatieve uitgangspunten voor de doorlatendheid en d70. Er wordt bovendien aangenomen dat overal sprake is van volledige hydraulische kortsluiting, dus geen enkele intredeweerstand. Alle secties die op basis van deze uitgangspunten voldoende scores zijn zeker goed.

Voor de overige secties is vervolgonderzoek uitgevoerd naar de dikte en hydraulische weerstand van de deklaag onder de boezembodem, de transmissiviteit en d70 van de watervoerend zand(tussen)lagen. Op basis van deze onderzoeksresultaten is een vervolgttoetsing uitgevoerd. Deze is opgenomen in paragraaf 7.2.5.

De resultaten van alle secties die voldoende scores op piping zijn weergegeven in Tabel 20. De Sellmeijer berekeningen zijn opgenomen in bijlage 8.

Sectie [-]	Aanwezig verval ($\Delta H - 0,3d$) [m]	Toelaatbaar verval ($\Delta H_c / \gamma$) [m], Sellmeijer 1999	Score; Sellmeijer; stap 0
1	3,15	4,14	voldoende
2	nvt, geen opbarsten	nvt, geen opbarsten	voldoende
7	3,81	4,11	voldoende
8	nvt, geen opbarsten	nvt, geen opbarsten	voldoende
9	3,51	3,79	voldoende
10	3,90	5,93	voldoende
12	2,85	3,93	voldoende

Tabel 20: Toetsing Sellmeijer met conservatieve uitgangspunten



7.2.5 Toetsing met methode Sellmeijer (tussenstap)

De vervolgstap (tussenstap) betreft het opnieuw toetsen op basis van de onderzoeksresultaten uit stap 2.1, 2.2 en 2.3 (zie Figuur 10) van het faalmechanisme piping (STPH) van de vakken die onvoldoende scores bij stap 0.

Dit betreft 30 aanvullende korrelverdelingen voor een nauwkeurigere bepaling van de D70, D10, en D60/D10. De volgende laag representatieve waarden zijn gehanteerd voor de toetsing:

- Sectie 3 t/m 6: D70 = 110 μm
- Sectie 11: D70 = 262 μm
- Sectie 13 t/m 17: D70 = 100 μm

Daarnaast zijn 30 constant head proeven uitgevoerd op de peilbuizen voor de bepaling van de doorlatendheid. De volgende hoog representatieve waarden zijn gehanteerd voor de toetsing:

- Sectie 3 t/m 6: k = 1 m/dag
- Sectie 11: k = 8 m/dag
- Sectie 13 t/m 17: k = 1 m/dag

De resultaten zijn weergegeven in Tabel 21. De Sellmeijer berekeningen zijn opgenomen in bijlage 9. Alle secties met uitzondering van sectie 11 scoren voldoende.

Sectie [-]	Aanwezig verval ($\Delta H - 0,3d$) [m]	Toelaatbaar verval ($\Delta H_c / \gamma$) [m], Sellmeijer 1999	Score _{Sellmeijer;tussenstap}
3	3,39	5,31	voldoende
4	3,56	5,05	voldoende
5	3,90	6,31	voldoende
6	3,11	5,46	voldoende
9a	3,51	3,51	voldoende
11	3,20	2,42	onvoldoende
13	2,80	3,58	voldoende
14	2,55	3,54	voldoende
15	2,80	4,39	voldoende
16	2,30	4,27	voldoende
17	2,60	2,97	voldoende

Tabel 21: Toetsing Sellmeijer met geoptimaliseerde uitgangspunten

7.2.6 Toetsing met methode Sellmeijer en intredeweerstand

Voor sectie 11 zijn modelberekeningen uitgevoerd met Mseep. Deze berekeningen zijn geijkt op basis van de metingen van het stijghoogteverloop in sectie 11. De analyse er resultaten van deze berekeningen zijn opgenomen in paragraaf 5.5.8.

In Tabel 22 zijn de resultaten van de meest maatgevende belastingsituatie samengevat. Onder normale omstandigheden is een intredeweerstand gemeten van 2,70 meter. De meest ongunstige belastingsituatie treedt op na een veronderstelde hydraulische kortsluiting over een groot oppervlak als gevolg van (te diep) baggeren. In deze situatie is nog altijd een intredeweerstand berekend van circa 1 meter. Deze belastingcombinatie wordt verondersteld alleen op te treden bij streefpeil. Een lokale kortsluiting heeft aanzienlijk minder invloed.



belastinggeval [-]	Waterstand NAP m / waterstand t.o.v. boezempeil			waterstand sloot
	Intrede [NAP m/ m]	BUK [NAP m/ m]	BIT [NAP m / m]	Sloot [NAP m/ m]
0-situatie (streefpeil)	-3,20 / 2,70	-3,30 / 2,80	-3,50 / 3,00	-3,70 / 3,20
0-situatie (MHW)	-3,15 / 3,15	-3,25 / 3,25	-3,50 / 3,50	-3,70 / 3,70
Kortsluiting lokaal (MHW)	-2,40 / 2,40	-3,00 / 3,00	-3,30 / 3,30	-3,70 / 3,70
Kortsluiting groot (streefpeil)	-1,50 / 1,00	-2,00 / 1,50	-2,85 / 2,35	-3,70 / 3,20

Tabel 22: Maatgevende belastingsituaties modelberekeningen sectie 11

In Tabel 23 is het resultaat van de toetsing met Sellmeijer weergegeven wanneer rekening wordt gehouden met de intredeweerstand. Sectie 11 scoort voldoende.

Sectie [-]	Aanwezig verval ($\Delta H - 0,3d$ -intrede) [m]	Toelaatbaar verval ($\Delta H_c / \gamma$) [m], Sellmeijer 1999	Score _{Sellmeijer;tussenstap;intrede}
11	2,20	2,42	voldoende

Tabel 23: Toetsing Sellmeijer met geoptimaliseerde uitgangspunten en intredeweerstand

7.3 Binnenwaartse macrostabiliteit (STBI)

7.3.1 Algemeen

Bij het faalmechanisme binnenwaartse macrostabiliteit wordt het afschuiven van grote delen grond richting de binnenzijde van de boezem beschouwd.

7.3.2 Eindscore toetsing

In Tabel 24 zijn de eindscores van de toetsing van de binnenwaartse macrostabiliteit weergegeven. De eindscore is voor zeven secties onvoldoende over een totale lengte van 11,3 kilometer en voor elf secties voldoende over een totale lengte van 20,7 kilometer. Van de elf goedgekeurde secties zijn er twee goedgekeurd op basis van de eenvoudige toets, acht op basis van de gedetailleerde toets en één op basis van de restbreedtemethode.

Sectie [-]	Score _{eenvoudig} [-]	SF _{min} [-]	SF _{norm} [-]	Score _{Dgeostab.} [-]	Restbreedte [m]	Eis [m]	Score _{restbr} [-]	Eindscore [-]
1	-	0,82	1,05	Onvoldoende	+7,8	1,5	Voldoende	Voldoende
2	-	2,37	1,05	Voldoende	→	→	→	Voldoende
3	-	1,20	1,05	Voldoende	→	→	→	Voldoende
4	-	0,83	1,05	Onvoldoende	-0,7	1,5	Onvoldoende	Onvoldoende
5	-	0,90	1,05	Onvoldoende	+1,0	1,5	Onvoldoende	Onvoldoende
6	-	1,01	1,05	Onvoldoende	+0,6	1,5	Onvoldoende	Onvoldoende
7	-	0,74	1,05	Onvoldoende	-1,9	1,5	Onvoldoende	Onvoldoende
8	-	0,90	1,05	Onvoldoende	+0,7	1,5	Onvoldoende	Onvoldoende
9	-	1,16	1,05	Voldoende	→	→	→	Voldoende
9a	-	0,86	1,05	Onvoldoende	-3,6	1,5	Onvoldoende	Onvoldoende
10	-	1,26	1,05	Voldoende	→	→	→	Voldoende
11	-	0,72	1,05	Onvoldoende	-2,9	1,5	Onvoldoende	Onvoldoende
12	-	2,41	1,05	Voldoende	→	→	→	Voldoende
13	-	1,08	1,05	Voldoende	→	→	→	Voldoende
14	Voldoende	→	→	→	→	→	→	Voldoende



Sectie [-]	Score _{;eenvoudig} [-]	SF _{;min} [-]	SF _{;norm} [-]	Score _{;Dgeostab.} [-]	Restbreedte [m]	Eis [m]	Score _{;restbr} [-]	Eindscore [-]
15	-	1,22	1,05	Voldoende	→	→	→	Voldoende
16	Voldoende	→	→	→	→	→	→	Voldoende
17	-	1,08	0,84	Voldoende	→	→	→	Voldoende

Tabel 24: Eindscore toetsing binnenwaartse macrostabiliteit

7.3.3 Eenvoudige toets

De eenvoudige toets is uitgevoerd bij de toetsing in 2011, dit oordeel is ongewijzigd overgenomen. Alleen sectie 14 en 16 zijn goedgekeurd op basis van de eenvoudige geometrische toets.

7.3.4 Gedetailleerde toets D-geostability

In Tabel 25 zijn de resultaten van de gedetailleerde toets met behulp van D-geostability weergegeven. Acht secties scoren voldoende en acht secties scoren onvoldoende. Voor de secties die onvoldoende scoren is nog een beoordeling op basis van de restbreedtemethode uitgevoerd. De uitvoer van de D-geostability berekeningen is opgenomen in bijlage 6.

Sectie [-]	SF _{;bishop;MHW} [-]	SF _{;Uplift;MHW} [-]	SF _{;bishop;kortsl gr.} [-]	SF _{;min} [-]	SF _{;norm} [-]	Score _{;Dgeostability}
1	0,82	0,82 (0,78)		0,82	1,05	Onvoldoende
2	2,37	-		2,37	1,05	Voldoende
3	1,20	1,20 (1,14)		1,20	1,05	Voldoende
4	0,83	0,83 (0,80)		0,83	1,05	Onvoldoende
5	0,90	0,99 (0,95)		0,90	1,05	Onvoldoende
6	1,01	1,04 (0,99)		1,01	1,05	Onvoldoende
7	0,74	0,74 (0,71)		0,74	1,05	Onvoldoende
8	0,90	-	0,94	0,90	1,05	Onvoldoende
9	1,16	2,16 (2,06)	1,25	1,16	1,05	Voldoende
9a	0,86	1,02 (0,97)	0,91	0,86	1,05	Onvoldoende
10	1,33	1,26 (1,2)		1,26	1,05	Voldoende
11	0,74	0,72 (0,69)	0,89	0,72	1,05	Onvoldoende
12	2,41	2,92 (2,78)		2,41	1,05	Voldoende
13	1,08	1,08 (1,03)		1,08	1,05	Voldoende
15	1,23	1,22 (1,16)		1,22	1,05	Voldoende
17	1,10	1,08 (1,03)		1,08	0,84	Voldoende

Tabel 25: Gedetailleerde toetsing binnenwaartse macrostabiliteit

7.3.5 Toetsing volgens restbreedtemethode

In Tabel 26 zijn de resultaten van de toetsing met behulp van de restbreedtemethode weergegeven. Zowel de gedetailleerde als de geavanceerde restbreedtemethode is toegepast. Alleen sectie 1 scoort (ruim) voldoende op basis van de restbreedtemethode.

Sectie [-]	Restbreedte _{;gedetailleerd} [m]	Restbreedte _{;geavanceerd} [m]	Eis [m]	Score _{;restbreedte} [-]
1	+6,6	+7,8	1,5	Voldoende
4	-2,3	-0,7	1,5	Onvoldoende



Sectie [-]	Restbreedte; _{gedetailleerd} [m]	Restbreedte; _{geavanceerd} [m]	Eis [m]	Score; _{restbreedte} [-]
5	+0,1	+1,0	1,5	Onvoldoende
6	+0,7	+0,7	1,5	Onvoldoende
7	-3,5	-1,9	1,5	Onvoldoende
8	-0,4	+0,7	1,5	Onvoldoende
9a	-4,6	-3,6	1,5	Onvoldoende
11	-3,6	-2,9	1,5	Onvoldoende

Tabel 26: Gedetailleerde toets restbreedtemethode

7.4 Buitenwaartse macrostabiliteit (STBU)

Met buitenwaartse macro-instabiliteit wordt het afschuiven van grote delen van een grondlichaam in de richting van het buitenwater bedoeld. De methodiek voor de beoordeling van de macrostabiliteit buitentalud is verder vergelijkbaar met de binnenwaartse stabiliteit.

7.4.1 Eindscore toetsing

In Tabel 24 zijn de eindscores van de toetsing van de buitenwaartse macrostabiliteit weergegeven. De eindscore is voor zes secties onvoldoende over een totale lengte van 8,7 kilometer en voor elf secties voldoende over een totale lengte van 23,3 kilometer. De uitvoer van de D-geostability berekeningen is opgenomen in bijlage 10.

Sectie [-]	SF; _{min} [-]	SF; _{norm} [-]	Score; _{Dgeostab.} [-]	Eindscore [-]
1	0,89	1,05	Onvoldoende	Onvoldoende
2	hoog achterland		n.v.t	Voldoende
3	0,64	1,05	Onvoldoende	Onvoldoende
4	0,71	1,05	Onvoldoende	Onvoldoende
5	1,14	1,05	Voldoende	Voldoende
6	1,05	1,05	Voldoende	Voldoende
7	0,96	1,05	Onvoldoende	Onvoldoende
8	0,64	1,05	Onvoldoende	Onvoldoende
9	0,86	1,05	Onvoldoende	Onvoldoende
9a	0,86	1,05	Onvoldoende	Onvoldoende
10	1,07	1,05	Voldoende	Voldoende
11	1,12	1,05	Voldoende	Voldoende
12	1,07	1,05	Voldoende	Voldoende
13	1,29	1,05	Voldoende	Voldoende
14	1,14	1,05	Voldoende	Voldoende
15	1,14	1,05	Voldoende	Voldoende
16	1,14	0,84	Voldoende	Voldoende
17	1,36	0,84	Voldoende	Voldoende

Tabel 27: Eindscore toetsing buitenwaartse macrostabiliteit



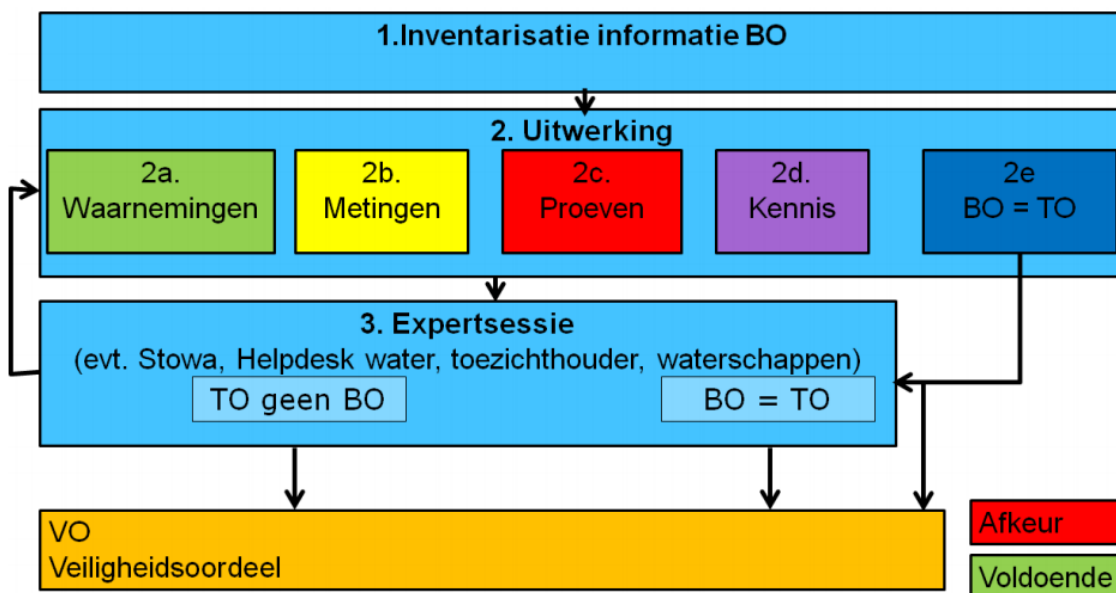
8 Beheerdersoordeel boezemkaden

Het beheerdersoordeel van de boezemkaden is uitgevoerd conform de "Leidraad toetsen op veiligheid regionale keringen" en ook conform het document "Beheerdersoordeel als onderdeel van het HHNK-veiligheidsoordeel" [4]. Het beheerdersoordeel is tot stand gekomen in samenspraak met de dagelijksbeheerders.

8.1 Organisatie beheerdersoordeel

Om te komen tot een beheerdersoordeel worden in [4] 4 stappen beschreven om te komen tot een zo goed mogelijk onderbouwd beheerdersoordeel. De stappen zijn gepresenteerd in Figuur .

Figuur 8.1 Stappen beheerdersoordeel



Deze stappen zijn doorlopen en uitgewerkt in onderstaande paragrafen.

8.1.1 Stap 1 inventarisatie informatie BO

Bij de totstandkoming van het technisch oordeel is gebruik gemaakt van documentatie van de hoog waters in 1994 en 1998.

Ook is niet gedocumenteerde informatie gebruikt, hiervoor is op 9 september 2014 een overleg georganiseerd met Adri Terhoeve en Alex Hendriks (respectievelijk specialist en dagelijks beheer regionale keringen bij het HHNK). Met Adri en Alex is gesproken over de staat van de waterkering en hun ervaringen in het veld.

De ervaring per sectie is gepresenteerd in Tabel 8.1.



Tabel 8.1 Beoordeling per faalmechanisme beheerder (2014)

Sectie [-]	van dijkpaal	tot dijkpaal	Opmerkingen	Oordeel [-]
Algemeen			Spoelgaten (buitenzijde) zijn rond de polder Heerhugowaard nauwelijks bekend (alleen zeer lokaal) bij de beheerders. Hier hoeft in de dijkversterking geen aandacht aan te worden besteed. Dit kan worden opgepakt in de onderhoudscyclus (beheer).	
1	HH039	HH054+35 m	Geen afwijkingen bij de beheerders bekend.	TO = BO
2	HH054+35 m	HH059	Geen afwijkingen bij de beheerders bekend.	TO = BO
3	HH059	HH072+45 m	Geen afwijkingen bij de beheerders bekend.	TO = BO
4	HH072+45 m	HH087+30 m	Tijdens hoogwater in 1998 was de dijk in een deel van sectie 4 (direct ten oosten van de Rustenburgerweg) verweekt (in slechte, zompige staat).	TO = BO
5	HH087+30 m	HH108+35m	Geregeld melden fietsers dat er plassen op het fietspad naast de Huijgendijk staan (sectie 7). Er is op de Huijgendijk vaak sprake van een natte onderberm (ook in het droge seizoen). Ook lopen aannemers geregeld vast met materieel op de onderberm tijdens	TO = BO
6	HH108+35 m	HH126+25 m		TO = BO



Sectie [-]	van dijkpaal	tot dijkpaal	Opmerkingen	Oordeel [-]
7	HH126+25 m	HH158	maaiwerkzaamheden. Er zijn geen grote stabiliteitsproblemen (scheuren, verzakkingen) bekend bij de beheerders. In 1994 is de Huijgendijk bij hoog water uit voorzorg afgesloten voor zwaar verkeer, om belasting van de doorweekte kade (en ramptoerisme) zo veel mogelijk te voorkomen. Direct ten oosten van de Rustenburgerweg (sectie 5) staan grote bomen (iepen) op buitentalud van de Oostdijk. NB. De meest waarschijnlijke oorzaak van een natte onderberm is water dat direct door de kade heen loopt. Uit peilbuismetingen in sectie 7 (2011) volgen hoge waarden voor de freatische lijn. Die treedt op deze locatie onder normale omstandigheden al uit in de binnenteen. Als de freatische lijn in de dijk tijdelijk toeneemt door een hoger boezempeil of verhoogde indringing door bijvoorbeeld droogtescheuren ligt het voor de hand dat het water op een hoger punt (in het binnentalud) uittreedt. Uit peilbuismetingen in sectie 6 en 7 (2011 en 2014) van de stijghoogte onder de berm volgen waarden tot maximaal 0,20 m boven het polderpeil. In sectie 5 tot maximaal 0,5 m boven het polderpeil. Deze waarden liggen ruim onder het maaiveldniveau van de berm. Als ook onder normale omstandigheden af en toe water op het fietspad staat, ligt kwel vanuit de zandondergrond niet voor de hand. De transmissiviteit van de watervoerende zandlagen direct onder de kade is zeer laag, hierdoor kan over de zandlaag wel een relatief groot verhang ontstaan. Uit gevoeligheidsberekeningen met MSEP volgt echter dat ook bij "kortsluiting" de stijghoogte onder de berm waarschijnlijk niet zo sterk toeneemt dat er kwel ontstaat ter hoogte van de berm. Uit boringen uitgevoerd in de berm van sectie 6 en 7 volgt dat de top laag veelal uit zand bestaat. Dit zou moeten resulteren in een goed drainerende berm. Gezien de waarnemingen kan het water blijkbaar niet goed weg. Mogelijk is er sprake van een aaneengesloten zandlaag en hoopt het water zich op in de berm. In de toetsing van 2011 is niet gerekend met een volledig verzadigde onderberm en een uittredepunt van de freatische lijn in het binnentalud boven de berm. De zandige bodemopbouw en peilbuismetingen geven ook niet direct aanleiding voor een dergelijke schematisering. Op basis van de waarnemingen, de natte berm en hoog water problematiek in 1994 en 1998 lijkt het correct om hier wel rekening mee te houden. Dat heeft uiteraard invloed op het toetsoordeel. Sectie 4 tot en met 7 werd op basis van de toetsing 2011 schematisering al deels afgekeurd op basis van de stabiliteitsberekeningen. Er is echter voldoende restbreedte aanwezig waardoor het uiteindelijke oordeel op voldoende uitkomt voor deze secties. Als in de stabiliteitsberekeningen uitgegaan wordt van de verhoogde freatische lijn (in lijn met de waarnemingen) wordt de uitkomst aanzienlijk slechter. Er is dan waarschijnlijk onvoldoende restbreedte aanwezig. Een dergelijk toetsoordeel komt beter overeen met het beheerdersoordeel (maar wijkt af van water er eerder gecommuniceerd is).	TO = BO
8	HH158	HH160	Bij botenverhuur 't Hengelaartje (hoek Huijgendijk) zitten 2 kwelplekken, waardoor de berm daar vrijwel altijd nat is.	TO = BO
9	HH160	HH169+55 m	Geen afwijkingen bij de beheerders bekend.	TO = BO
9a	HH161+20	HH161+55	Binnen sectie 9 is over een lengte van 35 meter sprake van een sterk afwijkende geometrie. Het profiel is smal en er ligt een smalle sloot kort op de kade. Hier ligt op de kruin een weg.	TO = BO



Sectie [-]	van dijkpaal	tot dijkpaal	Opmerkingen	Oordeel [-]
10	HH169+55 m	HH184+55 m	Bomen op het binnentalud naast fietspad veroorzaken lengte scheuren in het asfalt.	TO = BO
11	HH184+55 m	HH209+80 m	Op de westdijk (grenzend aan de in ontwikkeling zijnde woonwijk Broekhorn) is sprake van een steil talud en een korte berm. Er vindt afkalving plaats van de teensloot. Bij roeivereniging Ossa zijn in het verleden planken/scheren in de dijk gedrukt om lekkages te verhelpen.	TO = BO
12	HH209+80 m	HH254	Geen grote afwijkingen bekend bij de beheerders. De dijk ligt er prima bij. Bomen aan de buitenkant van de kruin veroorzaken scheuren in het asfalt (vooral in droge periodes). De provincie herstelt dit geregeld door het asfalt te overlagen.	TO = BO
13	HH254	HH291	Geen afwijkingen bij de beheerders bekend.	TO = BO
14	HH291	HH298+30 m	Geen afwijkingen bij de beheerders bekend. Er is een mooie rietkraag aanwezig. Bij 't Verlaat (ter plaatse van de woonboot) ligt een smal stukje dijk (Niedorperdijk).	TO = BO
15	HH298+30 m	HH310+40 m		
16	HH310+40 m	HH326		
17	HH000	HH032+95 m	Geen afwijkingen bij de beheerders bekend. Het dijkje is hier eigenlijk te smal voor verkeer. De groenstenen naast de weg verzakken (buitenkant instabiel), waarschijnlijk door (zwaar) verkeer.	TO = BO

8.1.2 Stap 2 uitwerking BO

In stap 2 zijn de resultaten van stap 1 verwerkt om te komen tot een concept beheerdersoordeel, hierbij is gebruikgemaakt van de bouwstenen zoals weergegeven bij stap 2 in Figuur 8.1. Per faalmechanisme is bekeken welke bouwsteen kan worden toegepast, het resultaat is gepresenteerd in Tabel 8.2.

Tabel 8.2 Bouwstenen beheerdersoordeel (2014)

Sectie [-]	van dijkpaal	tot dijkpaal	STPH BO	STBI BO	STBU BO
1	HH039	HH054+35m	TO = BO	TO = BO	TO = BO
2	HH054+35m	HH059			
3	HH059	HH072+45m			
4	HH072+45m	HH087+30m			
5	HH087+30m	HH108+35m			
6	HH108+35m	HH126+25m			
7	HH126+25m	HH158			
8	HH158	HH160			
9	HH160	HH169+55m			
9a	HH161+20	HH161+55			
10	HH169+55m	HH184+55m			
11	HH184+55m	HH209+80m			
12	HH209+80m	HH254			
13	HH254	HH291			
14	HH291	HH298+30m			



Sectie [-]	van dijkpaal	tot dijkpaal	STPH BO	STBI BO	STBU BO
15	HH298+30m	HH310+40m			
16	HH310+40m	HH326			
17	HH000	HH032+95m			

8.1.3 Stap 3 Beheerdersoordeel

Tijdens de uitwerking van het BO is vast gesteld dat voor alle secties het technisch oordeel gelijk is aan het beheerdersoordeel (TO=BO). Het uiteindelijke beheerdersoordeel is gepresenteerd in Tabel 8.3.

Tabel 8.3 Resultaat beheerdersoordeel

Sectie [-]	Van dijkpaal	Tot dijkpaal	STPH BO	STBI BO	STBU BO
1	HH039	HH054+35m	V	V	O
2	HH054+35m	HH059	V	V	V
3	HH059	HH072+45m	V	V	O
4	HH072+45m	HH087+30m	V	O	O
5	HH087+30m	HH108+35m	V	O	V
6	HH108+35m	HH126+25m	V	O	V
7	HH126+25m	HH158	V	O	O
8	HH158	HH160	V	O	O
9	HH160	HH169+55m	V	V	O
9a	HH161+20	HH161+55	V	O	O
10	HH169+55m	HH184+55m	V	V	V
11	HH184+55m	HH209+80m	V	O	V
12	HH209+80m	HH254	V	V	V
13	HH254	HH291	V	V	V
14	HH291	HH298+30m	V	V	V
15	HH298+30m	HH310+40m	V	V	V
16	HH310+40m	HH326	V	V	V
17	HH000	HH032+95m	V	V	V



9 Veiligheidsoordeel boezemkades Heerhugowaard

Het uiteindelijke veiligheidsoordeel bestaat uit de technische beoordeling (TO) en het beheerdersoordeel (BO). De resultaten van zowel het technisch oordeel als beheerdersoordeel zijn gepresenteerd in Tabel 9.1 en Tabel 9.2. Het veiligheidsoordeel is gepresenteerd in Tabel 9.3.

Tabel 9.1 Resultaat technisch oordeel

Sectie [-]	Van dijkspaal	Tot dijkspaal	STPH TO	STBI TO	STBU TO
1	HH039	HH054+35m	V	V	O
2	HH054+35m	HH059	V	V	V
3	HH059	HH072+45m	V	V	O
4	HH072+45m	HH087+30m	V	O	O
5	HH087+30m	HH108+35m	V	O	V
6	HH108+35m	HH126+25m	V	O	V
7	HH126+25m	HH158	V	O	O
8	HH158	HH160	V	O	O
9	HH160	HH169+55m	V	V	O
9a	HH161+20	HH161+55	V	O	O
10	HH169+55m	HH184+55m	V	V	V
11	HH184+55m	HH209+80m	V	O	V
12	HH209+80m	HH254	V	V	V
13	HH254	HH291	V	V	V
14	HH291	HH298+30m	V	V	V
15	HH298+30m	HH310+40m	V	V	V
16	HH310+40m	HH326	V	V	V
17	HH000	HH032+95m	V	V	V

Tabel 9.2 Resultaat beheerdersoordeel

Sectie [-]	Van dijkspaal	Tot dijkspaal	STPH BO	STBI BO	STBU BO
1	HH039	HH054+35m	V	V	O
2	HH054+35m	HH059	V	V	V
3	HH059	HH072+45m	V	V	O
4	HH072+45m	HH087+30m	V	O	O
5	HH087+30m	HH108+35m	V	O	V
6	HH108+35m	HH126+25m	V	O	V
7	HH126+25m	HH158	V	O	O
8	HH158	HH160	V	O	O
9	HH160	HH169+55m	V	V	O
9a	HH161+20	HH161+55	V	O	O
10	HH169+55m	HH184+55m	V	V	V
11	HH184+55m	HH209+80m	V	O	V



12	HH209+80m	HH254	V	V	V
13	HH254	HH291	V	V	V
14	HH291	HH298+30m	V	V	V
15	HH298+30m	HH310+40m	V	V	V
16	HH310+40m	HH326	V	V	V
17	HH000	HH032+95m	V	V	V

Tabel 9.3 Resultaat veiligheidsoordeel

Sectie [-]	Van dijkpaal	Tot dijkpaal	STPH VO	STBI VO	STBU VO
1	HH039	HH054+35m	V	V	O
2	HH054+35m	HH059	V	V	V
3	HH059	HH072+45m	V	V	O
4	HH072+45m	HH087+30m	V	O	O
5	HH087+30m	HH108+35m	V	O	V
6	HH108+35m	HH126+25m	V	O	V
7	HH126+25m	HH158	V	O	O
8	HH158	HH160	V	O	O
9	HH160	HH169+55m	V	V	O
9a	HH161+20	HH161+55	V	O	O
10	HH169+55m	HH184+55m	V	V	V
11	HH184+55m	HH209+80m	V	O	V
12	HH209+80m	HH254	V	V	V
13	HH254	HH291	V	V	V
14	HH291	HH298+30m	V	V	V
15	HH298+30m	HH310+40m	V	V	V
16	HH310+40m	HH326	V	V	V
17	HH000	HH032+95m	V	V	V



Literatuurlijst

Lit [1] Grondonderzoek en toetsing boezemkaden Cluster IIIC: Heerhugowaard, Groet- en Braakpolder, 7 november 2011, 075682827:D - Definitief

Lit [2] Regionale proevenverzameling HHNK, versie 6.0, 10 oktober 2014, 14.02889

Lit [3] Richtlijnen technische toetsing, ontwerp en realisatie regionale keringen, 19 februari 2014, 14.0008530

Lit. [4] Beheerdersoordeel als onderdeel van het HHNK-veiligheidsoordeel, corsa: 14.36136



Bijlage 1 – Sectie indeling & representatieve dwarsprofielen



Bijlage 2 – Veldonderzoek: boezemboringen



Bijlage 3 – Veld- en laboratoriumonderzoek hydraulische kortsluiting



Bijlage 4 – Analyse metingen stijghoogte(verhang) watervoerende lagen



Bijlage 5 – Geotechnisch lengteprofiel (toetsing 2011)



Bijlage 6 – D-geostability binnenwaartse macrostabiliteit



Bijlage 7 – Restbreedtemethode STBI



Bijlage 8 – Sellmeijer met conservatieve uitgangspunten



Bijlage 9 – Sellmeijer met geoptimaliseerde uitgangspunten



Bijlage 10 – D-geostability buitenwaartse macrostabiliteit