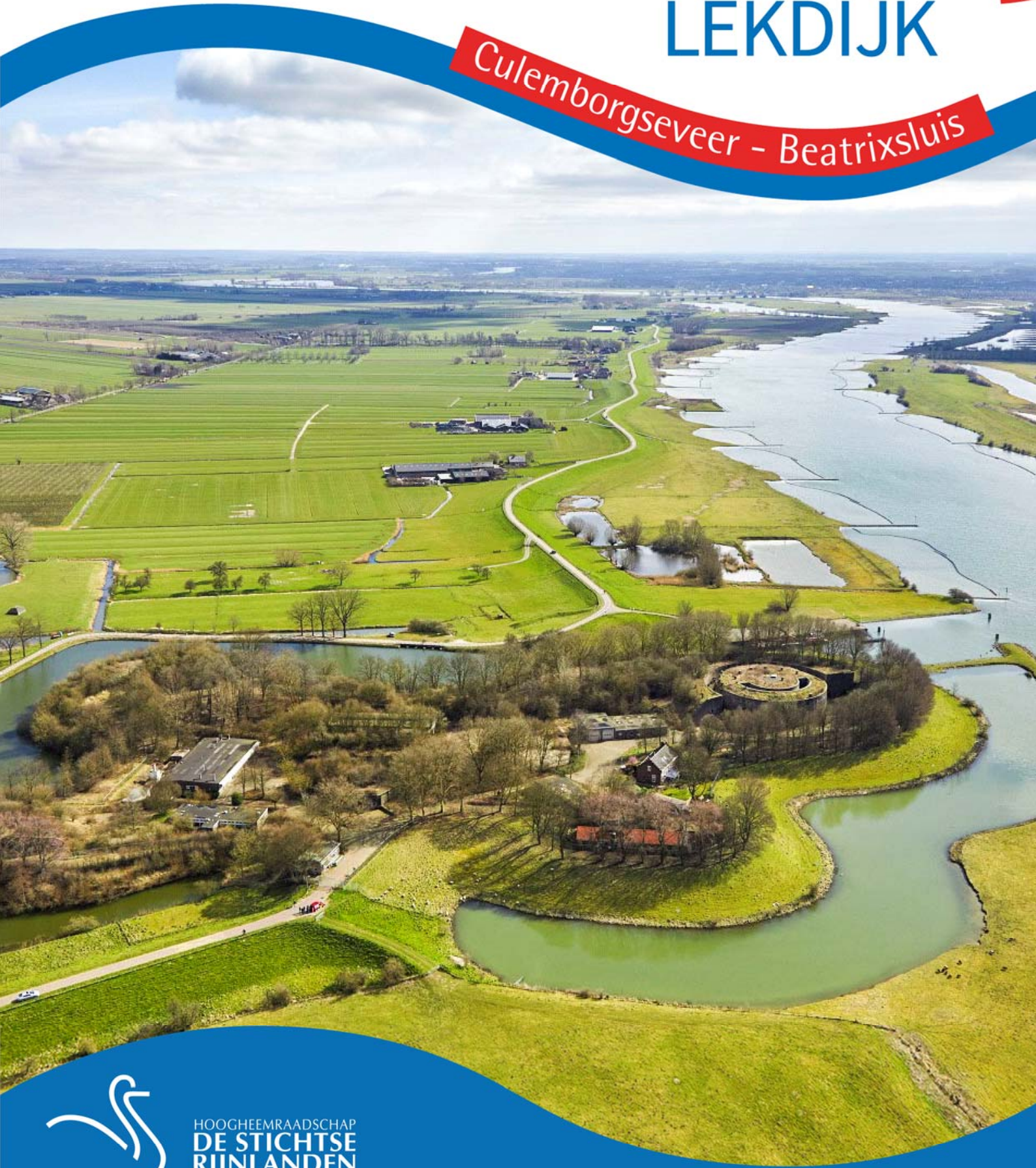


Veiligheidsanalyse bijzondere waterkerende
constructies

STERKE LEKDIJK

Culemborgseveer - Beatrixsluis



HOOGHEEMRAADSCHAP
DE STICHTSE
RIJNLANDEN

Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden

Poldermolen 2
3994 DD Houten

030 634 57 00 T
sterkelekdijk@hdr.nl E
hdr.nl/sterkelekdijk W

STERKE LEKDIJK

Titel	Veiligheidsanalyse bijzondere waterkerende constructies
Kenmerk	SLD-RHD-TM-CUB-RP-TM-0010
Versie	Definitief
Datum	6 december 2019
Projectnaam	Dijkversterking Culemborgse Veer - Beatrixsluizen
Projectnummer	BF5981

Opgesteld door:
M. Vullering/E. Arnold
Datum
06-12-2019
Handtekening



Gecontroleerd door
J. Hockx
Datum
06-12-2019
Handtekening



Vrijgegeven door:
E. Arnold
Datum
06-12-2019
Handtekening



Inhoudsopgave

1	Inleiding	1
1.1	Dijkversterking Culemborgse veer - Beatrixsluis	1
1.2	Doel van de rapportage.....	2
1.3	Leeswijzer	3
2	Uitgevoerde veiligheidsstudies	4
2.1	Algemeen.....	4
2.2	POV Centraal Holland (2015).....	4
2.3	Veiligheidsanalyse Centraal Holland Aanscherping toetsresultaat (2017)	7
2.4	Samenvatting veiligheidsanalyses	7
3	Uitgangspunten voor veiligheidsanalyse	9
4	Damwand ter plaatse van verholen inundatiesluis	10
4.1	Inleiding	10
4.2	Uitgangspunten	11
4.3	Hoogte	16
4.4	Piping en heave.....	16
4.5	Sterkte en stabiliteit	17
4.6	Macrostabieliteit binnenwaarts	19
4.7	Inspectie bijzondere waterkerende constructies	19
5	Afwateringsriool Fort Honswijk	20
5.1	Bouwhistorie.....	20
5.2	Eerder uitgevoerd onderzoek.....	21
5.3	Riool vrij gegraven.....	21
5.4	Ligging in de kernzone van de waterkering.....	22
5.5	Poterne in het fort	22
5.6	Poterne niet in de waterkering	22
5.7	Riool onder de poterne in de waterkering	23
6	Grondwal Fort Honswijk	24
6.1	Hoogte	24
6.2	Macrostabieliteit binnenwaarts	25
6.3	Macrostabieliteit buitenwaarts	26
6.4	Piping	26
6.5	Bomen op grondwal (NWOb)	26

7	Groene dijk	28
7.1	Inleiding	28
7.2	Hoogte	29
7.3	Macrostabieliteit	29
7.4	Piping	29
8	Vervolgstappen beoordeling objecten	30
8.1	Verholen inundatiesluis	30
8.2	Grondwal	30
8.3	Groene waterkering	30
9	Conclusie	31
10	Referenties	32

1 Inleiding

1.1 Dijkversterking Culemborgse veer - Beatrixsluis

In het voorjaar van 2019 is het Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden gestart met de verkenningsfase van het dijkversterkingsproject Culemborgse veer - Beatrixsluis (CUB): het derde in een rij van zes deelprojecten die deel uitmaken van het project Sterke Lekdijk: de versterking van de noordelijke Lekdijk tussen Amerongen en Schoonhoven. Het dijktraject loopt van de veerweg van het Culemborgse veer in het oosten tot aan de Beatrixsluis van het Lekkanaal in het westen, van dijkpaal 204 tot 306.

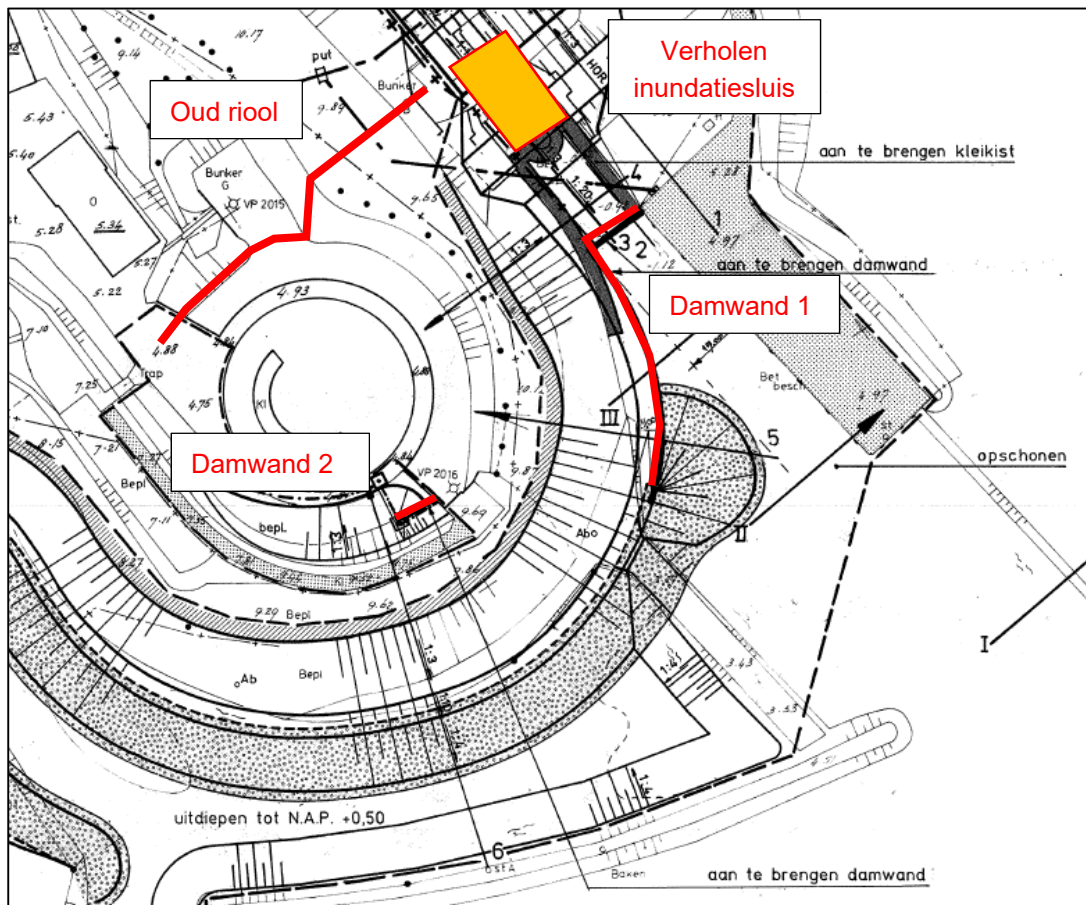
Het plan van aanpak [1] van voor deze verkenningsfase is opgesteld door Royal HaskoningDHV (RHDHV) met Fugro en het projectteam van HDSR.

De afgelopen jaren zijn er twee veiligheidsstudies uitgevoerd waarmee de waterveiligheid van het dijktraject Culemborgse veer – Beatrixsluis (CUB) in kaart is gebracht. Het gaat dan om de volgende studies:

- Arcadis, 23 december 2015, Detailtoetsing A-keringen van de Nederrijn- en lekdijk, Eindrapportage ten behoeve van Dijkversterking Centraal Holland, projectnummer C03011.000406 [2]
- Neijenhuis P. et al, 30 juni 2017, Veiligheidsanalyse Centraal Holland, Aanscherping toetsresultaat noordelijke Lekdijken en voormalige C-Keringen – Uitwerking Onderzoeksplan [3]

Volgens de Strategische Nota van Uitgangspunten [4] voor de Sterke Lekdijk (versie 1.0, 3 juli 2018) en de uitgevoerde veiligheidsanalyse van POV Centraal Holland [2] (23 december 2015) bevinden zich geen kunstwerken in het dijkversterkingstraject CUB. Ter plaatse van Fort Honswijk bevinden zich echter wel constructies in de waterkering zoals damwanden, ankers en betonconstructies. Deze constructies kunnen als bijzondere waterkerende constructies worden beschouwd.

Definitie: Bijzondere waterkerende constructie (conform Staatscourant, nr. 65697, 27 december 2016)
Constructie om, in combinatie met een grondlichaam (dijk) of in plaats van een grondlichaam, water te keren, zoals muralt- of dijkmuur, damwanden, kistdammen, keermuren en kwelschermen.



Figuur 1—1: Situatietekening met locaties damwandconstructies en verholen inundatiesluis

De aangetroffen bijzondere waterkerende constructies zijn:

- Verholen inundatiesluis
- Damwand 1 (verankerd) ter plaatse van buitenteen grondwal Fort Honswijk
- Damwand 2 ter plaatse van binnenteen Fort Honswijk
- Oud afwateringsriool (na de dijkversterking in 1985 heeft deze geen functie meer)

In deze rapportage worden deze constructies nader in kaart gebracht en wordt op een eenduidige wijze een veiligheidsanalyse voor deze constructies uitgevoerd. Daarnaast wordt vervolgens globaal richting gegeven aan oplossingsrichtingen met betrekking tot herstel van het waterkerende vermogen indien deze nu niet voldoen. Ook wordt een veiligheidsanalyse uitgevoerd voor het gedeelte van de dijk zonder constructies (groene dijk en grondwal) die eveneens behoren tot het Fort Honswijk.

1.2 Doel van de rapportage

Opstellen van een veiligheidsanalyse van de bijzondere waterkerende constructies en de gedeelte van de dijk zonder constructies (groene dijk en grondwal) rondom Fort Honswijk. Daarnaast wordt globaal richting gegeven aan oplossingsrichtingen met betrekking tot herstel van het waterkerende vermogen indien deze nu niet voldoen.

1.3 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 is een kort overzicht gegeven van de twee uitgevoerde veiligheidsstudies. In hoofdstuk 3 is een overzicht gegeven van de gehanteerde uitgangspunten voor de veiligheidsanalyse. Vervolgens wordt in hoofdstuk 4 de damwand ter plaatse van de verholen inundatiesluis beschouwd. In hoofdstuk 5 is het oude afwateringsriool onder Fort Honswijk beschreven. In hoofdstuk 6 wordt ingegaan op de grondwal langs het fort. In hoofdstuk 7 wordt waterveiligheid van de groene dijk beschouwd. In hoofdstuk 8 worden de vervolgstappen beschreven voor een aanvullende beoordeling van de objecten van Fort Honswijk. Hoofdstuk 9 bevat de conclusie waarin het veiligheidsoordeel van de verschillende onderdelen wordt samengevat.

2 Uitgevoerde veiligheidsstudies

2.1 Algemeen

De afgelopen jaren zijn twee veiligheidsstudies uitgevoerd waarmee de waterveiligheid van het dijktraject Culemborgse veer – Beatrixsluis (CUB) in kaart is gebracht. Het gaat dan om de volgende studies:

- Arcadis, 23 december 2015, Detailtoetsing A-keringen van de Nederrijn- en lekdijk, Eindrapportage ten behoeve van Dijkversterking Centraal Holland, projectnummer C03011.000406
- Neijenhuis P. et al, 30 juni 2017, Veiligheidsanalyse Centraal Holland, Aanscherping toetsresultaat noordelijke Lekdijken en voormalige C-Keringen – Uitwerking Onderzoeksplan

Hieronder wordt kort ingegaan op de inhoud van bovengenoemde studies voor wat betreft de aanwezige stabiliteitsschermen en/of bijzondere waterkerende constructies.

2.2 POV Centraal Holland (2015)

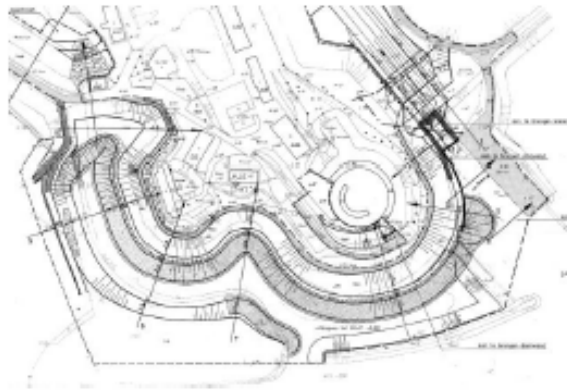
De beoordeling van het traject Culemborgse veer – Beatrixsluis is in 2015 uitgevoerd in het kader van de POV Centraal Holland [2] (Arcadis, 23 december 2015). De beoordeling is uitgevoerd voor het zichtjaar 2023. Hieronder volgen enkele tekstgedeelten uit deze beoordeling die relevant zijn voor de constructies ter plaatse van Fort Honswijk.

Stabiliteitsschermen

De toetsmethode voor stabiliteitsschermen is aanzienlijk aangepast ten opzichte van de vorige toetsronde. Voor de toets zijn eindige elementen berekeningen nodig, die geen onderdeel uitmaakten van deze toetsing. Omdat uit eerdere ervaringen blijkt dat de aangescherpte rekenregels aanzienlijk zwaardere damwandschermen met zich meebrengen, hebben de hier aanwezige stabiliteitsschermen voorsnog een onvoldoende score gekregen.

(POV Centraal Holland 2015, eindrapportage, 3.5 Overige toetssporen, Bijzondere waterkerende constructies)

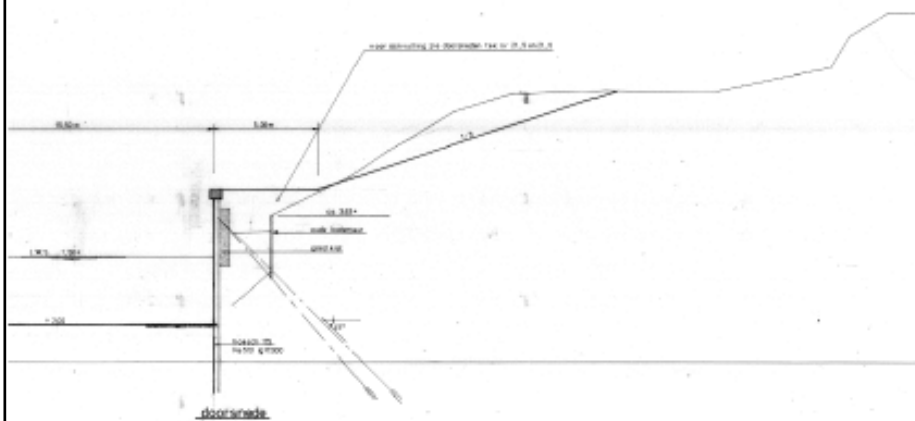
3.3 Damwanden fort Honswijk (dp 44.244 – 44.245)



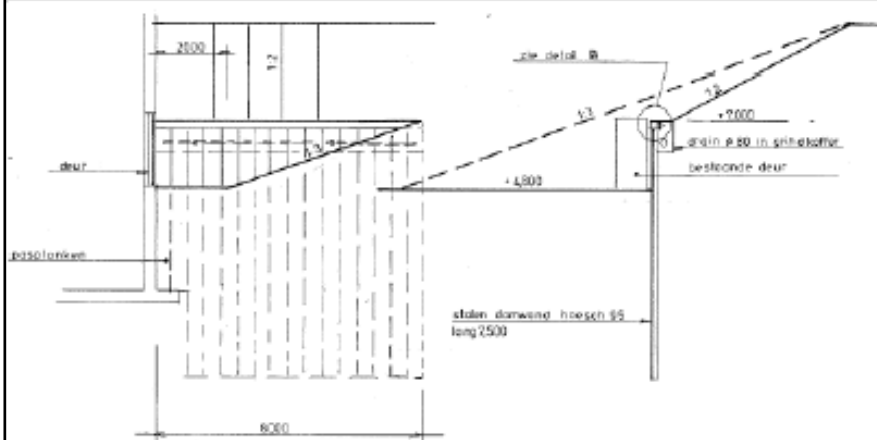
Figuur 2: Situatie Fort Honswijk

Bij Fort Honswijk zijn binnen- en buitendijks damwanden aanwezig. Binnendijks is dit een damwand met deksloof, type Hoesch 95 met een lengte van 7,5 m tot een diepte van circa NAP-0,5m. Bij het buitendijkse tracé is een damwand met deksloof, type Hoesch 175 met een lengte van 17 m tot een diepte van circa NAP-12,0m toegepast. Zie voor beide doorsneden Figuur 3 en Figuur 4.

Uit beschikbaar grondonderzoek (Onderzoek Fortgrachten te Honswijk en Vreeswijk, docnr: 02P003879-RG-01, oktober 2013) blijkt dat de bodem van de gracht op circa NAP +0,90 m ligt. De boringen laten verschillende diktes van de deklaag zien. De tussenzandlaag wordt door de damwanden afgesloten. Het streefpeil in de gracht ligt op NAP +2,00 m. De groene dijk heeft een breedte van minimaal 50 m.



Figuur 3: Damwand buitendijks met een lengte van 17,0 m



Figuur 4: Damwand binnendijks bij bunker met een lengte van 7,5 m

(POV Centraal Holland 2015, bijlage C)

De binnendijkse constructie tussen dijkpaal 44.244 en 44.245 valt binnen een traject dat voor de detailtoetsing niet is uitgewerkt. In de derde toetsronde is de score voor STCG overgenomen uit de tweede toetsronde, uitgaande van:

- ongewijzigd toetspeil;
- de beoordeling nieuwe toetsvoorschriften leidt niet tot significant andere resultaat;
- geen reden voor aannahme dat de sterkte van de constructie achteruit is gegaan.

Het toetspeil voor de detailtoetsing ligt op deze locatie ruim 0,5 m hoger dan het toetspeil uit de derde toetsronde, dus het eerste punt gaat niet meer op. De buitendijkse damwand wordt juist met laagwater maatgevend belast. De score voor STCG is voornamelijk onvoldoende, vanwege de aangepaste beoordelingsmethode. Zie ook Bijlage D: Overige mechanismen.

(POV Centraal Holland 2015, bijlage C)

Stabiliteitsschermen en keerwanden

In vergelijking met de derde toetsronde geeft het OI2014v3 een aangepaste toetsmethode voor stabiliteitsschermen. Het OI2014v3 verwijst naar het "OSPW" (Deltatares, 2013, 2015). De belangrijkste wijzigingen met de eerder gebruikelijke methode zijn:

- Berekening van de constructie moet met Plaxis gedaan worden. Gebleken is dat berekening met D-Sheet (of een vergelijkbaar rekenmodel) onvoldoende veilige resultaten geeft voor een stabiliteitsscherm in een dijk;
- De faalkansruimte per doorsnede moet verdeeld worden over verschillende deelfaalmechanismen. Voorheen werd meestal uitgegaan van volledig afhankelijk

falen van de verschillende mechanismen (zoals grondmechanisch bezwijken en bezwijken van de damwand of verankering).

Uit ervaringen bij diverse projecten is gebleken dat damwanden die volgens de nieuwe inzichten worden berekend, aanzienlijk langer en zwaarder moeten zijn. Bovendien is de faalkansruimte voor macrostabiliteit per doorsnede aanzienlijk kleiner geworden en is de normfrequentie vergroot. Naar verwachting zullen stabiliteitsschermen die in het verleden zijn ontworpen daarom niet voldoen aan de nieuwe eisen. Op dit moment (december 2015) loopt er nog een discussie over hoe hiermee in het nieuwe WTI om te gaan.

Bomen op kruin Fort Honswijk (44.244 – 44.245)

Fort Honswijk werd tussen 1841 en 1848 gebouwd. Het was het eerste en grootste torenfort in de Nieuwe Hollandse Waterlinie. Het fort was omgeven door een gracht. De primaire waterkering loopt hier aan de rivierzijde om het fort heen. In de jaren '80 is de dijk buitenwaarts versterkt met taludverflauwing en een stortsteen bescherming aan de teen van de dijk. Op de kruin van de dijk was begroeiing aanwezig, deze is bij de versterking tot een afstand van 3 m uit de buitenkruinlijn geroid. Vanaf de 3 m grens is de begroeiing blijven staan.

In de derde toetsronde hebben de bomen bij Fort Honswijk de score *goed* gekregen. Het dijklichaam is hier zodanig overgedimensioneerd dat de veiligheid niet in gevaar komt bij het eventuele omwaaien van de bomen.

Uit de detailtoetsing voor macrostabiliteit volgt dat de afschuifveiligheid voor het binnentalud op dit traject (44.245 tot 44.260) gelijk is aan $F_{min} = 1,46$. Uitgaande van een schematiseringsfactor van 1,1 is deze berekening (S44_248) beoordeeld als 'mogelijk voldoende'. Wanneer op de afschuifveiligheid een afname van 10% voor de invloed van de bomen wordt toegepast, resulteert dit in $F_{min} = 1,31$. Daarmee wordt niet aan de eis van $F_{min} \geq 1,35$ voldaan. De bomen op de kruin bij Fors Honswijk scoren '*onvoldoende*'.

(POV Centraal Holland 2015, bijlage D)

2.3 Veiligheidsanalyse Centraal Holland Aanscherping toetsresultaat (2017)

Naar aanleiding van de aanbevelingen uit de beoordeling van POV Centraal Holland (Arcadis, 2015) en op aangeven van experts, betrokken bij de ontwikkeling van het Wettelijk Beoordelingsinstrumentarium (WBI), is vervolgens in 2017 nader onderzoek [3] uitgevoerd (Neijenhuis, P. et al, 30 juni 2017).

Voor wat betreft de beoordeling van stabiliteitsschermen en keerwanden zijn geen aanvullende analyses uitgevoerd. Hierbij wordt de volgende algemene conclusie getrokken

Stabiliteitsschermen en keerwanden

Uit ervaringen bij diverse projecten is gebleken dat damwanden die volgens de nieuwe inzichten worden berekend, aanzienlijk langer en zwaarder moeten zijn. Bovendien is de faalkansruimte voor macrostabiliteit per doorsnede aanzienlijk kleiner geworden en is de normfrequentie vergroot. Naar verwachting zullen stabiliteitsschermen die in het verleden zijn ontworpen daarom niet voldoen aan de nieuwe eisen. Dit moet nog nader worden beoordeeld.

(Aanvullende veiligheidsanalyse 2017, 2.4.5 Bijzondere waterkerende constructies)

2.4 Samenvatting veiligheidsanalyses

In de veiligheidsstudie POV Centraal Holland 2015 en de Veiligheidsanalyse Centraal Holland Aanscherping toetsresultaat 2017 komt niet expliciet naar voren of dat in detail een beoordeling is uitgevoerd naar de bijzondere waterkerende constructies. Ten tijde van de beoordeling was de toetsmethode van stabiliteitsschermen (conform het OI2014v3) aanzienlijk aangepast in vergelijking met de derde toetsronde. Een belangrijke wijziging met de eerder gebruikelijke methode is dat de berekening

van de constructie met software, gebaseerd is op de Eindige Elementen Methode (bijv. Plaxis), moet worden uitgevoerd. Gebleken is dat berekeningen met D-Sheet Piling (of vergelijkbare rekenmodellen) niet voldoende veilige resultaten geven voor een stabiliteitsscherm in een dijk. Een toets met eindige elementen berekeningen maakten geen onderdeel uit van deze toetsing. Uit ervaring is gebleken dat damwanden die met de aangepaste toetsmethode berekend zijn, aanzienlijk langer en zwaarder moeten zijn. De aanwezige stabiliteitsschermen hebben daarom vooralsnog een onvoldoende score gekregen. Nader onderzoek moet uitwijzen of de stabiliteitsschermen voldoen aan de eisen dan wel herstel van het waterkerend vermogen benodigd is.

3 Uitgangspunten voor veiligheidsanalyse

Voor het opstellen van deze veiligheidsanalyse worden de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- Naast het bestaande grondonderzoek wordt ook het nieuwe grondonderzoek van Wiertsema-Inpijn-Blokpoel [5] gebruikt.
- De hoogtemeting van Fort Honswijk van de gemeente Houten [6] wordt gebruikt.
- Geavanceerde constructieve berekeningen met een rekenprogramma gebaseerd op de Eindige Elementen Methode (EEM) behoren eveneens niet tot de scope.

Inputdocumenten:

- Arcadis, 23 december 2015, Detailtoetsing A-keringen van de Nederrijn- en lekdijk, Eindrapportage ten behoeve van Dijkversterking Centraal Holland, projectnummer C03011.000406;
- Archiefdocumenten van HDSR;
- Legger/Keur HDSR;
- Grondonderzoek Sterkte Lekdijk Culemborgse Veer – Beatrixsluis (CUB), resultaten terrein- en laboratoriumonderzoek, 02P011039-03, versie 1.0, 19 juli 2019, Wiertsema-Inpijn-Blokpoel V.O.F;
- Fort Honswijk te Schalkwijk, Situatie- en hoogtemeting, Gemeente Houten, P18120SKW, 12-12-2018, Infra Plus.

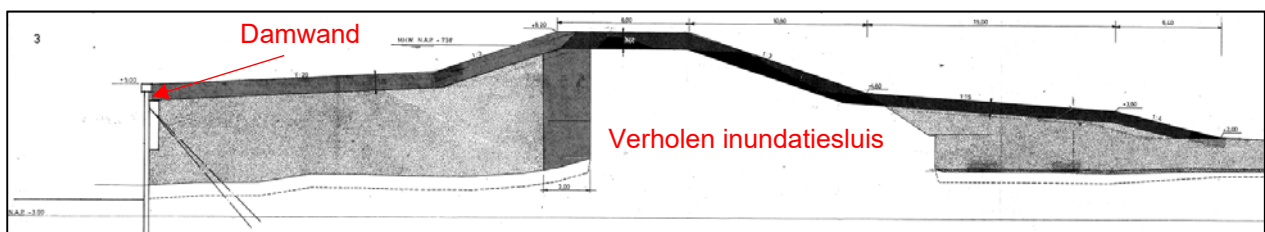
4 Damwand ter plaatse van verholen inundatiesluis

4.1 Inleiding

In 1985 is de inundatiesluis langs Fort Honswijk gedempt. Hierbij is enkele tientallen meters voor de inundatiesluis een damwandconstructie aangebracht die aansluit op de bestaande kade. De inundatiesluis en de ruimte tussen damwand en inundatiesluis is vervolgens opgevuld met zand en een klei afdeklag van 1,00 m, zie Figuur 4—2 en de dwarsdoorsnede in Figuur 4—2. Op deze manier is een doorlopende waterkering gecreëerd tussen de grondwal van Fort Honswijk en de Lekdijk.



Figuur 4—1: Bovenaanzicht verholen inundatiesluis



Figuur 4—2: Dwarsdoorsnede damwand en verholen inundatiesluis

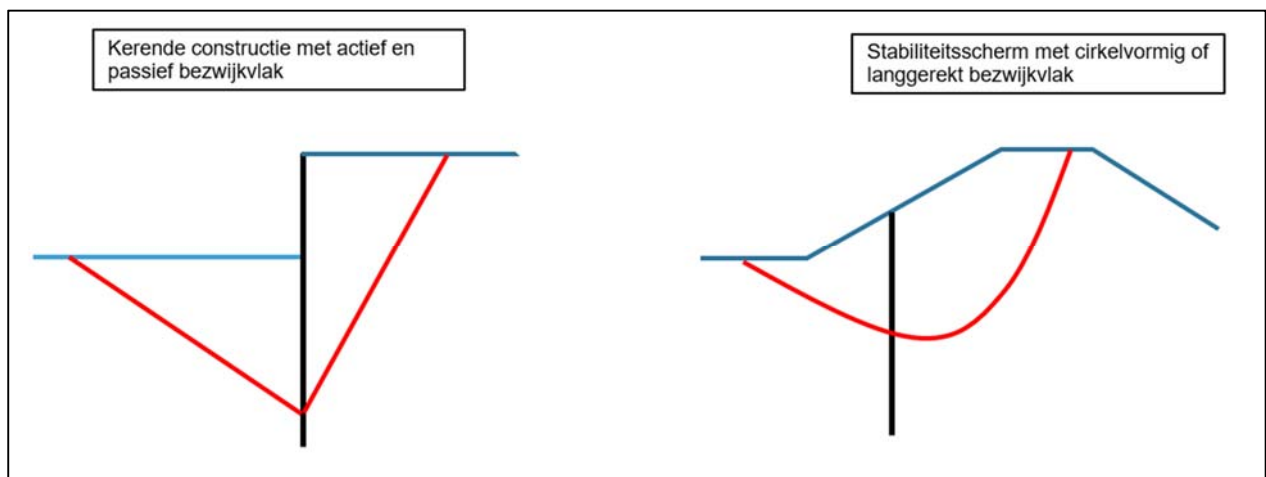
In dit hoofdstuk wordt de damwand beschouwd die de buitenwaartse stabiliteit voor dit gedeelte van de dijk verzorgt.

4.2 Uitgangspunten

In deze paragraaf worden de uitgangspunten die gehanteerd zijn bij de beoordeling van de damwand nader toegelicht.

4.2.1 Berekeningsmethode

De buitenwaartse stabiliteit van het dijkgedeelte nabij de inundatiesluis wordt verzorgd door een verankerde damwand (zie Figuur 4—2). Stabiliteitsverhogende langsconstructies in primaire waterkeringen dienen berekend te worden conform de POVM publicatie Stabiliteitsverhogende Langsconstructies, versie 1.1, 16 oktober 2019 (kortweg ook wel PPL genoemd). In het geval van een stabiliteitsverhogende langsconstructie is de damwand primair bedoeld om de macrostabiliteit van een dijklichaam te verhogen. Het dominante bezwijkpatroon is dan niet het ontstaan van een actieve en passieve wig, maar een cirkelvormig of langgerekt glijvlak. Het verschil tussen beide situaties is hieronder weergegeven in Figuur 4—3.



Figuur 4—3: Verschil in bezwijkvlak tussen kerende constructie en stabiliteitsverhogende constructie

De damwand ter plaatse van de inundatiesluis heeft alleen een grondkerende functie en geen stabiliteitsverhogende functie. Deze damwand valt hiermee buiten het kader van de PPL. Op basis van deze beschouwing kan de damwand worden berekend met het rekenprogramma DSHEET-PILING.

4.2.2 Veiligheidsfilosofie

Om het benodigde veiligheidsniveau van de damwand te bepalen wordt eerst de faalkans van het faalmechanisme buitenwaartse macrostabiliteit bepaald.

Vergelijking 4.1

$$P_{eis;dsn;STBU} = \frac{P_{max} \cdot \omega}{N \cdot P_{f;inst}}$$

Waarin:

$P_{eis;dsn;STBU}$:	Faalkanseis op doorsnedeniveau buitenwaartse macrostabiliteit [1/jaar]
P_{max} :	Faalkanseis op trajectniveau [1/jaar]
ω :	Faalkansruimte voor het betreffende faalmechanisme [-]
N :	Lengte-effectfactor [-]
$P_{f;inst}$:	Kans op falen gegeven een instabiliteit [-]

De damwand is een puntconstructie waarbij de strekkingslengte dusdanig beperkt is dat er geen sprake is van een lengte-effect van de damwand zelf. Volgens “Werkwijzer Ontwerpen Waterkerende Kunstwerken” [13] kan voor de lengte effectfactor voor constructief falen een waarde van 3 worden gehanteerd.

Voor de kans op een overstroming gegeven buitenwaarts macrostabiliteitsverlies ($P_{f,inst}$) wordt uitgegaan van een factor 0,1 conform OI2014v4 [14].

De gevonden faalkans per jaar dient omgerekend te worden naar een faalkans voor de levensduur van de damwand. Hiervoor wordt conform Leidraad Kunstwerken [11] een referentieperiode van 50 jaar gehanteerd, een faalruimtefactor van 0,01 en een maximale levensduurfactor van 10.

Vergelijking 4.2

$$P_{eis;dsn;STBU}[1/50\text{ jaar}] = \frac{P_{eis;dsn;STBU}[1/jaar]}{\xi_c \cdot f_N}$$

Waarin:

ξ_c : Faalruimtefactor [-]
 f_N : Levensduurfactor [-]

Tabel 4-1 geeft een overzicht van de gehanteerde uitgangspunten voor het bepalen van de faalkans voor het faalmechanisme macrostabiliteit buitenwaarts ter plaatse van de damwand.

Tabel 4-1: Uitgangspunten voor het bepalen van de faalkans voor het faalmechanisme macrostabiliteit buitenwaarts ter plaatse van de damwand

Naam	Standaard	Eenheid
Maximaal toelaatbare overstromingskans normtraject 44-1	1/10.000	1/jaar
Faalkansbudget voor het faalmechanisme macrostabiliteit	4	%-
Lengte-effectfactor	3	-
Kans op falen gegeven een instabiliteit	0,1	-
Faalruimtefactor	0,01	-
Levensduurfactor	10	-

Na invulling van de formule wordt een faalkanseis op doorsnedeniveau verkregen van $1,33 \times 10^{-4}$ gedurende de levensduur van 50 jaar.

De damwand constructie kan op verschillende manieren falen. Daarom is de faalkans op doorsnedeniveau verder onderverdeeld in faalscenario's conform OI2014v4 [14]. Hieruit kan de geëiste betrouwbaarheidsindex per faalmechanisme worden bepaald.

Tabel 4-2: Bepaling betrouwbaarheidsindex faalmechanismen damwand

Faalscenario	Verdeling [%]	Faalkans [1/50 jaar]	Betrouwbaarheidsindex β [-]
Constructief falen door vloeien wandelementen	40	$5,33 \times 10^{-5}$	3,87
Constructief falen door bezwijken ankerlichaam	40	$5,33 \times 10^{-5}$	4,40
Constructief falen ankerstaaf, ankerbevestiging, gording	10	$1,33 \times 10^{-6}$	4,69
Geotechnisch falen door glijvlakken onder de constructie door	10	$1,33 \times 10^{-6}$	4,69

De geëiste betrouwbaarheidsindex voor constructief falen van de damwand bedraagt 3,87. Deze is juist hoger dan veiligheidsklasse RC2 conform CUR-publicatie 166 Damwandconstructies [15] met een betrouwbaarheidsindex van 3,8. De damwand dient daarom getoetst te worden met een conform veiligheidsklasse RC3 met een betrouwbaarheidsindex van 4,3.

4.2.3 Kenmerken damwandconstructie

De damwandconstructie bestaat uit een damwand [8] in combinatie met groutankers met een hart op hart afstand van 1,05. Achter de damwand bevindt zich, ten behoeve van de drainage, een grindkist van op een niveau van NAP + 4,0 m tot NAP + 1,0 m. In de damwand zijn daarom ook drainagesleuven aangebracht met een hart op hart afstand van 6,30 m. De damwand is aan de bovenzijde voorzien van een deksloof met gewapend beton. De eigenschappen van de damwand en de ankers staan beschreven in Tabel 4—3 en Tabel 4—4.

Tabel 4—3: Eigenschappen damwand nabij verholen innundatiesluis

Eigenschappen	Waarde	Eenheid
Type	Hoesch 175	-
Staalkwaliteit [S510]	510	N/mm ²
Elasticiteitsmodulus [E]	2.10×10^8	kN/m ²
Traagheidsmoment [I]	4.42×10^{-4}	m ⁴ /m ¹
Weerstandsmoment [W]	2.60×10^{-3}	m ³ /m ¹
Buigstijfheid [EI]	92820	kNm ² /m ¹
Opneembaar elastisch moment [$M_{\max,el}$]	1326	kNm/m ¹
Breedte [b]	0.525	m
Hoogte [h]	0.34	m
Doorsnede	223	cm ² / m ¹
Wanddikte	14	mm
Lengte [L]	17.0	m

Bovenkant damwand	+ 5.0	m tov NAP
Onderkant damwand	-12.0	m tov NAP

Tabel 4—4: Eigenschappen anker

Eigenschappen	Waarde	Eenheid
Type anker	Groutanker	-
Type ankerstang	dywidag	-
Diameter ankerstang [Ø]	32	mm
Elasticiteitsmodulus [E]	2.10^E+08	kN/m ²
Maximaal toelaatbare trekkracht [F]	350	kN/m ¹
Diameter groutlichaam [Ø] (niet bekend) Gangbare diameter 0,1 – 0,18	0,1 (aannname)	m
Niveau	+ 3.5	m tov NAP
Helling	45	°
Lengte (niet bekend)	15 (aannname)	m

Corrosie van stalen damwanden wordt meegenomen conform CUR 166 [15]. Het traagheids- en weerstandsmoment zijn gereduceerd, waarbij volgens 9.2.2 van CUR-publicatie 166 Deel 1 voor staal in ongeroerde, schone bodem een corrosie ter grootte van 1,2 mm per zijde na 100 jaar is aangehouden, en voor de waterzijde schoon zoet water een corrosie van 1,4 mm per zijde na 100 jaar. De totale corrosie na 100 jaar bedraagt hiermee 2,6 mm. De damwand is in circa 1986 aangebracht waarbij het zichtjaar 2073 is. Dit is een totale levensduur van 90 jaar. De corrosie bedraagt hiermee $(90/100) \times 2,6 \text{ mm} = 2,3 \text{ mm}$.

De afname van het traagheidsmoment en het weerstandsmoment van de damwand kan lineair met de afname van de wanddikte worden gesteld. Bij een wanddikte van 14 mm wordt de reductiefactor als gevolg van corrosie $(14-2,3)/14 = 0,84$.

4.2.4 Bodemopbouw

Er zijn geen sonderingen of boringen beschikbaar direct langs de damwand. Voor de bodemopbouw is daarom gebruikt gemaakt van het grondonderzoek dat is opgenomen in [5]. Het betreft sonderingen DP243+091_DKMP2_KR en DP244+250_DKMP1_AL. De sonderingen bevinden zich op respectievelijk ca. 135 m en 85 m afstand van de damwand. Voor een definitieve toetsing van de damwand zijn deze onderzoekspunten te ver verwijderd van de damwandconstructie. Voor een definitieve toetsing is aanvullend grondonderzoek benodigd bestaande uit sonderingen direct achter de damwand.

Op basis van de gehanteerde sonderingen is een globale bodemopbouw geschematiseerd die is opgenomen in Tabel 4—5.

Tabel 4—5: Globale bodemopbouw damwand

Actief			Passief		
Sondering DP243+091_DKMP2_KR			Sondering DP244+250_DKMP1_AL		
Grondsoort	B.k. laag [m + NAP]	Laagdikte	Grondsoort	B.k. laag [m + NAP]	Laagdikte
Toplaag Klei	5,0	1,0	Zand	-2,00	0,7
Zand	4,0	5,0	Leem	-2,7	0,6
Klei, zandig	-1,0	0,4	Klei, licht	-3,3	1,5
Leem	-1,4	0,5	Klei, zandig	-4,8	0,5
Klei, zandig	-1,9	1,0	Leem	-5,3	0,6
Klei, licht	-2,9	2,0	Zand	-5,9	
Klei, zandig	-4,9	0,5			
Leem	-5,4	0,5			
Zand	-5,9				

4.2.5 Waterstanden

Voor de buitenwaterstand is een maatgevende laag waterstand aangehouden NAP +1,5 m op basis van het oorspronkelijke ontwerp. Het water in de Lek wordt gestuurd bij het stuw- en sluizencomplex Hagestein op een vastpeil van ca. NAP +2,9 m gehouden. De maatgevend laag waterstand die is aangehouden bij het ontwerp is in dit geval zeer conservatief.

In de gracht van Fort Honswijk wordt een vast peil gehanteerd van NAP +2,0 m. Aangezien de damwand is voorzien van een grindkist met drainagesleuven wordt uitgegaan dat de waterspanningen door de drainerende werking achter de damwand niet groot worden. Een verval van 0,5 m wordt in dit geval als een veilige uitgangssituatie beschouwd.

4.2.6 Grondparameters

Voor de damwandberekeningen zijn representatieve waarden voor de relevante grondparameters bepaald aan de hand van interpretatie van het beschikbare grondonderzoek, tabel 2.b van NEN 9997-1 en CUR-publicatie 166.

Tabel 4-6: Karakteristieke waarden grondparameters

Grondsoort	γ_d/γ_{sat} [kN/m ³]	φ' [°]	c' [KPa]	δ' [°]	$k_{h,1}$ [kN/m ³]	$k_{h,2}$ [kN/m ³]	$k_{h,3}$ [kN/m ³]
Klei (toplaag)	18/18	22,5	5	15,0	4.0E+03	2.0E+03	8.0E+02
Zand (aanvulling)	18/20	27,0	0	18,0	1.2E+04	6.0E+03	3.0E+03
Klei, zandig	18/18	22,5	5	15,0	5.0E+03	2.5E+03	1.25E+02
Klei, licht	14/14	17,5	0	11,7	2.0E+03	1.0E+03	5.0E+02
Leem	19/19	27,5	0	18,3	6.0E+03	3.0E+03	1.0E+03
Zand (pleistoceen)	18/20	32,5	0	21,7	1.6E+04	8.0E+03	4.0E+03

4.3 Hoogte

In opdracht van gemeente Houten is in 2018 een hoogtemeting [6] uitgevoerd bij Fort Honswijk aan de hand van GPS / TPS metingen. De minimale buitenkruinhoogte van de verholen inundatiesluis bedraagt volgens deze inmeting NAP +8.14 m. Voor Fort Honswijk geldt een autonome bodemdaling van 2 mm /jaar. Voor het zichtjaar 2073 geldt dus een buitenkruinhoogte van NAP +8.03 m. Het hydraulisch belastingniveau langs de verholen inundatiesluis is NAP +7.361 m bij zichtjaar 2073. De verholen inundatiesluis voldoet aan de kerende hoogte.

Tabel 4—7: Hydraulische randvoorwaarden verholen inundatiesluis

HR verholen inundatiesluis	2050	2100	2073
HBN	7.326	7.401	7.361
WS	7.26	7.29	7.274
Hm0	0.17	0.25	0.207
Tm-1,0	1.54	1.82	1.669
Hvi tov N	221.6	219.5	221
Q	15883	16000	15937

4.4 Piping en heave

Uit eerdere beoordeling kan gesteld worden dat de bodem van de gracht op circa NAP +0,90 m ligt. De Het streefpeil in de gracht ligt op NAP +2,00 m. De dijk heeft, op basis van de beschikbare tekening en GIS data, een breedte van minimaal 60 m (afstand damwand tot binnenteen). Op basis van het grondonderzoek van Wiertsema-Inpijn-Blokpoel [5] is een veilige aanname genomen voor de onderkant van de deklaag van NAP +5,5 m (zie schematisatie damwandberekening). De tussenzandlaag/zandaanvulling achter de damwand is afgesloten en dus niet gevoelig voor piping.

De beoordeling op piping wordt uitgevoerd met de empirische rekenregel van Lane:

$$\Delta H \leq \Delta H_c = \frac{\left(\frac{1}{3}L_h + L_v\right)}{C_{w,creep}}$$

Waarin:

L_h De horizontale kwelweglengte langs onderkant deklaag = dijkbreedte = minimaal 60m

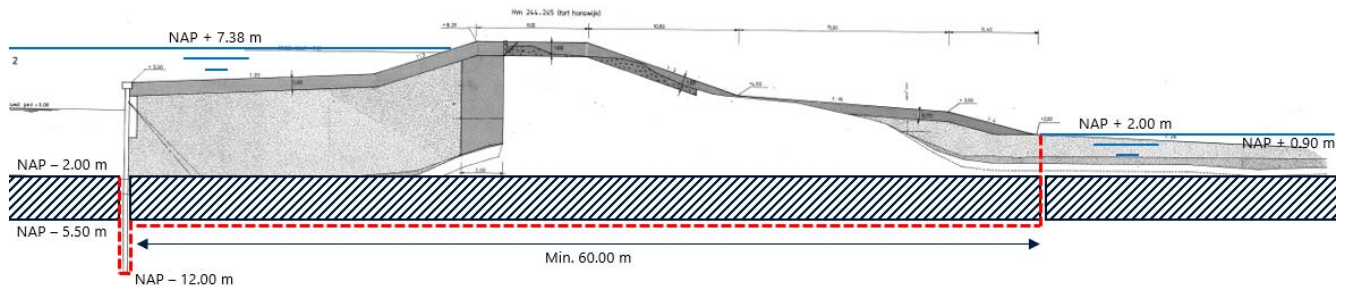
L_v De verticale kwelweglengte langs damwand buitendijks (-2 tot -12=) 10m + (-12 tot -5,5=) 6,5 m = 16,5 m en de verticale kwelweglengte bij mogelijke uittredpunt binnendijks (-5,5 tot 0,9 =) 6,4m

$C_{w,creep}$ De creep-factor bedraagt 6 bij een mediane korreldiameter tussen de 210 en 300 (matig grof zand).

Het maximaal toelaatbare verval wordt bepaald door $\Delta H_c = \frac{\left(\frac{1}{3} \cdot 60 + 16,5 + 6,4\right)}{6} = 7,15$ m

Het optredend verval bedraagt = 7,38 – 2,00 = 5,38 m

De score voor het beoordelingsspoor piping voor de verholen inundatiesluis bij Fort Honswijk luidt goed.



Figuur 4—4: Schematisatie kwelweglengte

4.5 Sterkte en stabiliteit

De damwandberekening is uitgevoerd met het eendimensionaal eindig elementenprogramma D-Sheet Piling (versie 19.2), waarmee momenten, dwarskrachten en verplaatsingen van een al dan niet (meervoudig) gestempelde of verankerde damwand kunnen worden berekend.

De gronddruk op de damwand wordt in de berekening afhankelijk gesteld van de uitbuiging van de wand. De spanningsrekrelatie van de grond wordt beschreven door een multi-lineaire veer karakteristiek bestaande uit drie tussentakken.

Als conservatief uitgangspunt is een bovenbelasting van 20 kN/m² gehanteerd als bovenbelasting over het gehele maaiveld.

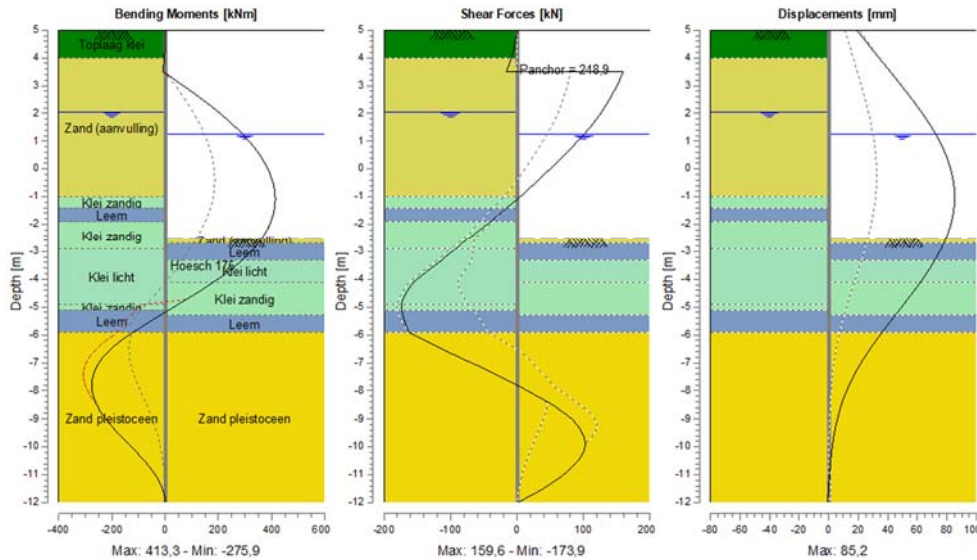
Op basis van de uitgangspunten is een analyse uitgevoerd naar de stabiliteit van de damwand. Voor damwand Hoesch 175 is een damwandberekening uitgevoerd met D-Sheet Piling conform veiligheidsklasse RC3. In de onderstaande tabel zijn de resultaten van de damwandberekening opgenomen.

Tabel 4—8: Resultaten damwandberekening met D-Sheet Piling

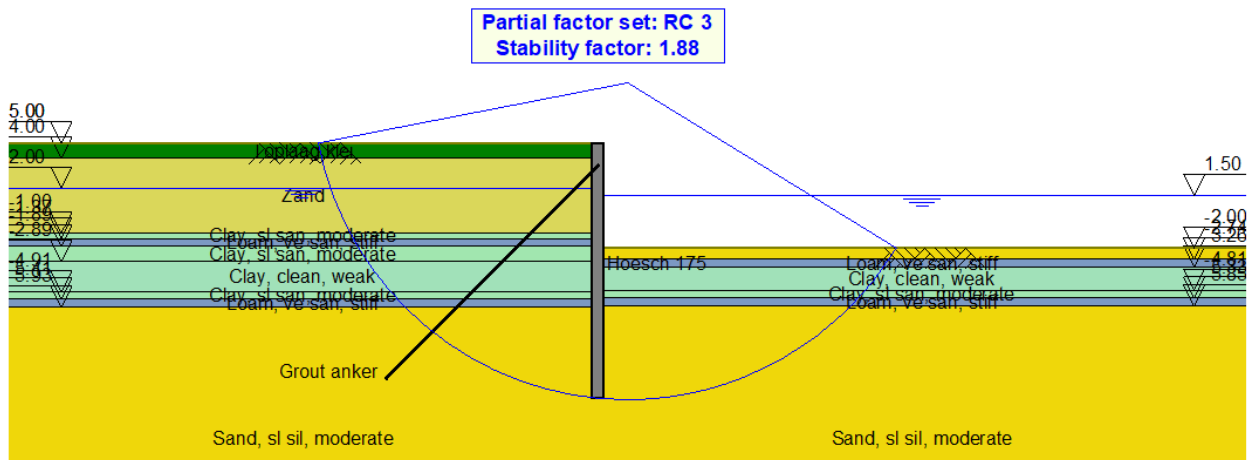
Partiele factor set	Maximale buigend moment [kNm]	Maximale Dwarskracht [kN]	Ankerkracht [kN]	Maximale verplaatsing [mm]	Stabiliteitsfactor [-]
RC3	413	180	249	45	1,88

Moments/Forces/Displacements - Stage 2: Bovenbelasting

Step 6.3 - Partial factor set: RC 3



Figuur 4—5: Buigende momenten, dwarskrachten en horizontale verplaatsing van de damwand



Figuur 4—6: Stabiliteitsfactor van de damwandconstructie

De beoordeling op sterkte en stabiliteit van de damwand vindt plaats door een controle op het moment:

$$M_{s,d} \leq M_{r,d} = 413 \leq 1326 \quad \text{Voldoet}$$

De beoordeling op sterkte van de anker vindt plaats door een controle op de normaalkracht:

$$F_{s,d} \leq F_{r,d} = 249 \leq 350 \quad \text{Voldoet}$$

De damwand en de ankers voldoen aan het beoordelingsproces sterkte en stabiliteit. Het groutlichaam van de ankers is niet getoetst. Aangezien de damwand geen vervormingen vertoont, mag er vanuit worden gegaan dat het groutlichaam van de ankers voldoet.

4.6 Macrostabiliiteit binnenwaarts

Voor de binnenwaartse macrostabiliiteit van het grondlichaam ter plaatse van de verholen inundatiesluis is in voorgaande beoordelingen geen berekening uitgevoerd. Voor dit faalmechanisme zal een aanvullende analyse uitgevoerd moeten worden. Aanvullend grondonderzoek op deze locatie is hiervoor noodzakelijk aangezien hier grondonderzoekspunten ontbreken.

4.7 Inspectie bijzondere waterkerende constructies

Op 9 oktober 2019 is een visuele inspectie op de bijzondere waterkerende constructies van Fort Honswijk uitgevoerd. Voor de damwandconstructie voor de verholen inundatiesluis is gecontroleerd of de onderdelen die zichtbaar zijn in het veld overeenkomen met wat op de tekeningen is aangegeven. Op basis van de inspectie kan vastgesteld worden dat de damwandconstructie conform de ontwerp-tekening is aangelegd. Enkel de lengte van de ankerstang en de diameter van het groutlichaam is niet in het veld waar te nemen en blijft daardoor een onbekende, aangezien deze ook niet op de beschikbare tekeningen zijn aangegeven.



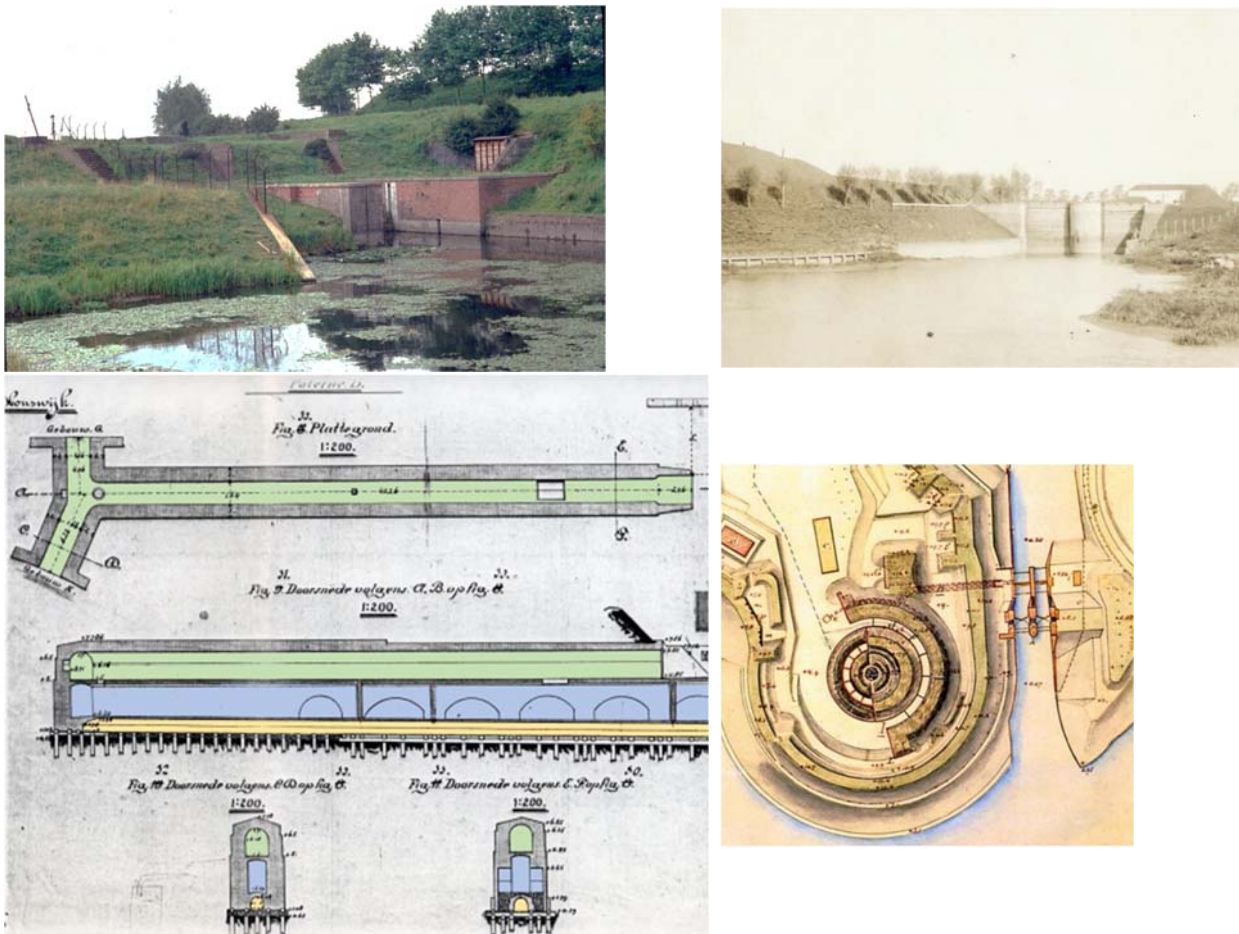
Figuur 4—7: Damwandconstructie verholen inundatiesluis

5 Afwateringsriool Fort Honswijk

Dit hoofdstuk beschrijft de ligging van het riool voor hemelwaterafvoer van Fort Honswijk. Dit riool voor hemelwaterafvoer, gelegen onder een poterne, ligt binnen de kernzone van de waterkering.

5.1 Bouwhistorie

In de notitie “Notitie toekomst inlaatsluis Honswijk” d.d. 08-08-2019 beschrijft de gemeente Houten een deel van de bouwgiedenis van het fort. Onderstaande afbeeldingen en beschrijving van het fort komen uit die notitie.



Figuur 5—1: Tekeningen en foto's van de poterne en van de inundatiesluis

Fort Honswijk is in de periode 1841 – 1848 gebouwd. Destijds is ook een inlaatsluis voor de Nieuwe Hollandse Waterlinie gerealiseerd om het achterland te inunderen en zo de linie te stellen. Bescherming van deze inlaatsluis was één van de hoofdtaken van het fort. In de periode 1870-1880 is bij uitbreiding van het fort een zogenaamde poterne, een onderaardse gang gebouwd. Aan het einde van deze gang bevond zich de gewergalerij, van waaruit de bemanning van het fort de sluis kon verdedigen.

De poterne bestaat uit 3 niveaus, waarbij de onderste koker zorgde voor de hemelwaterafvoer van het fortterrein. Deze kwam uit in de inlaatsluis. In 1940 zijn beide sluiscolken aan de rivierzijde voorzien van een dichte betonwand en nog weer later is de sluis volledig gedempt. Op bovenstaande foto is die situatie

te zien, die tot 1985 heeft geduurd. In het jaar 1985 is bij de toen uitgevoerde dijkversterking van de noordelijke Lekdijk de inlaatsluis deels gesloopt en vervolgens onder de dijk verdwenen.

5.2 Eerder uitgevoerd onderzoek

Voorafgaand aan de notitie van de gemeente Houten is er ook ander onderzoek uitgevoerd:

- 2019-08-08 Notitie toekomst inlaatsluis Honswijk
- 2017-08-21 Notitie wateroverlast kelders Fort Honswijk
- 2017-09-29 Foto's uitgevoerde inspectie vrijgraven riool uitgang
- 2017-10-06 Foto's uitgevoerde inspectie Leegpompen riool
- beschikbare tekeningen Dijkversterking 1986
- beschikbare tekeningen Aanleg fort 1888
- beschikbare foto inundatiesluis situatie voor bedekken sluis in 1985

5.3 Riool vrij gegraven

In augustus 2017 is een conceptnotitie opgesteld over de wateroverlast in de kelders van Fort Honswijk. In deze notitie is de exacte ligging van de poterne inzichtelijk gemaakt. De poterne loopt vanaf het terrein nabij de ronde gebouw J en het halfronde gebouw K naar de inundatiesluis (gele lijn op bovenaanzicht in Figuur 5—3). De gehele constructie bestond uit drie niveaus, met de poterne (wandeling) op maaiveld niveau (groen), de vermoedelijke werkgang op kelderniveau (blauw) en daaronder het riool (geel). Het regenwater liep via een zinkput de gresbuizen in en via deze buizen kwam het water in het riool. Het riool mondde uit in de inundatiesluis. Om meer helderheid te verkrijgen over de status van de hemelwaterafvoer is in die conceptnotitie voorgesteld om een inspectie uit te voeren door de uitgang van het riool vrij te graven.

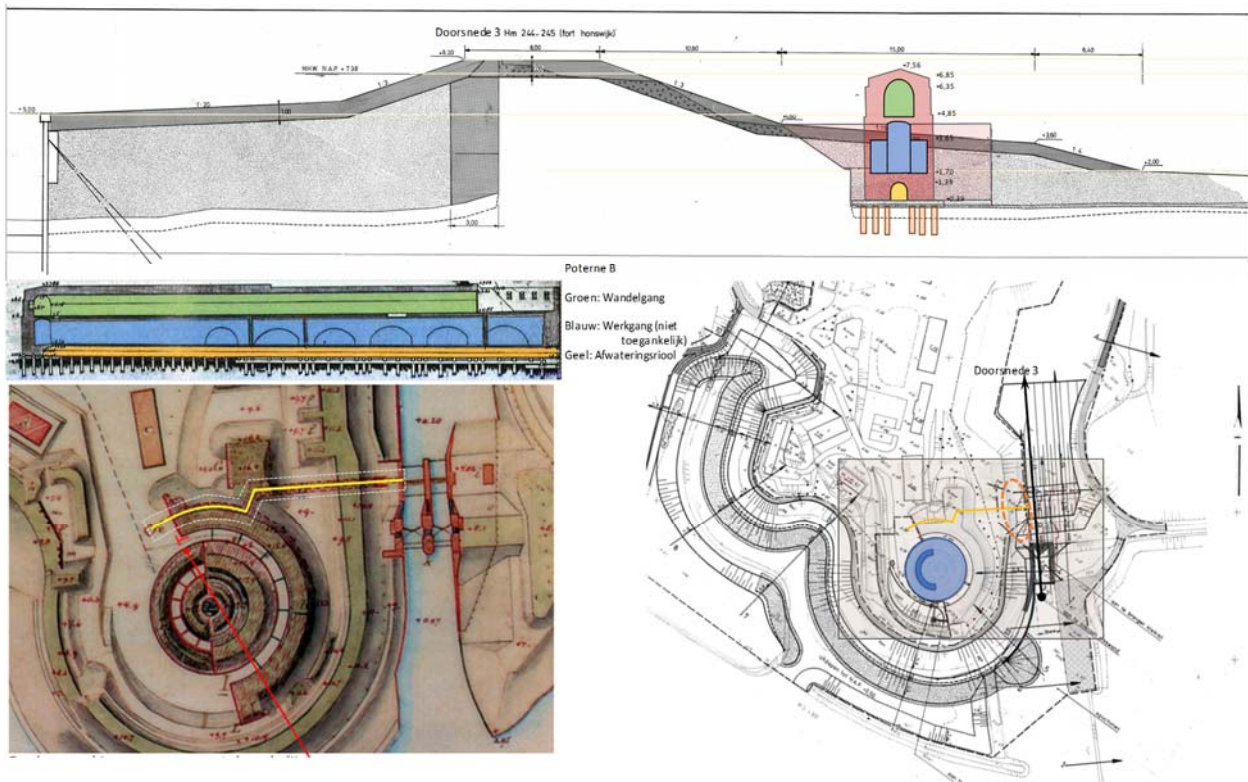
De foto's van de uitgevoerde inspectie (eind augustus/begin september 2017) laten zien dat het riool waterdicht was afgesloten. Tijdens de werkzaamheden kwam er water uit het riool gestroomd. Een week later is het riool met een bemalingsinstallatie volledig leeggepompt. Na de inspectiewerkzaamheden is het uitgegraven materiaal teruggebracht en het gat gedempt. Tijdens de ontgraving bleek de oude sluiscolk deels gevuld met puin van metselwerk, metaal en beton. Het aangetroffen puin is afgevoerd.



Figuur 5—2: Afwateringsriool vrij gegraven

5.4 Ligging in de kernzone van de waterkering

De verschillende beschikbare tekeningen zijn gebruikt om een beeld te vormen van de locatie van het riool in het dijklichaam. Hiervoor is gebruik gemaakt van een dwarsdoorsnede van de waterkering tijdens de dijkversterking in 1985, doorsnede 3. Hier is de doorsnede van de poterne, zoals bekend uit historische tekeningen op de juiste hoogte en positie geplaatst (zie Figuur 5—3).



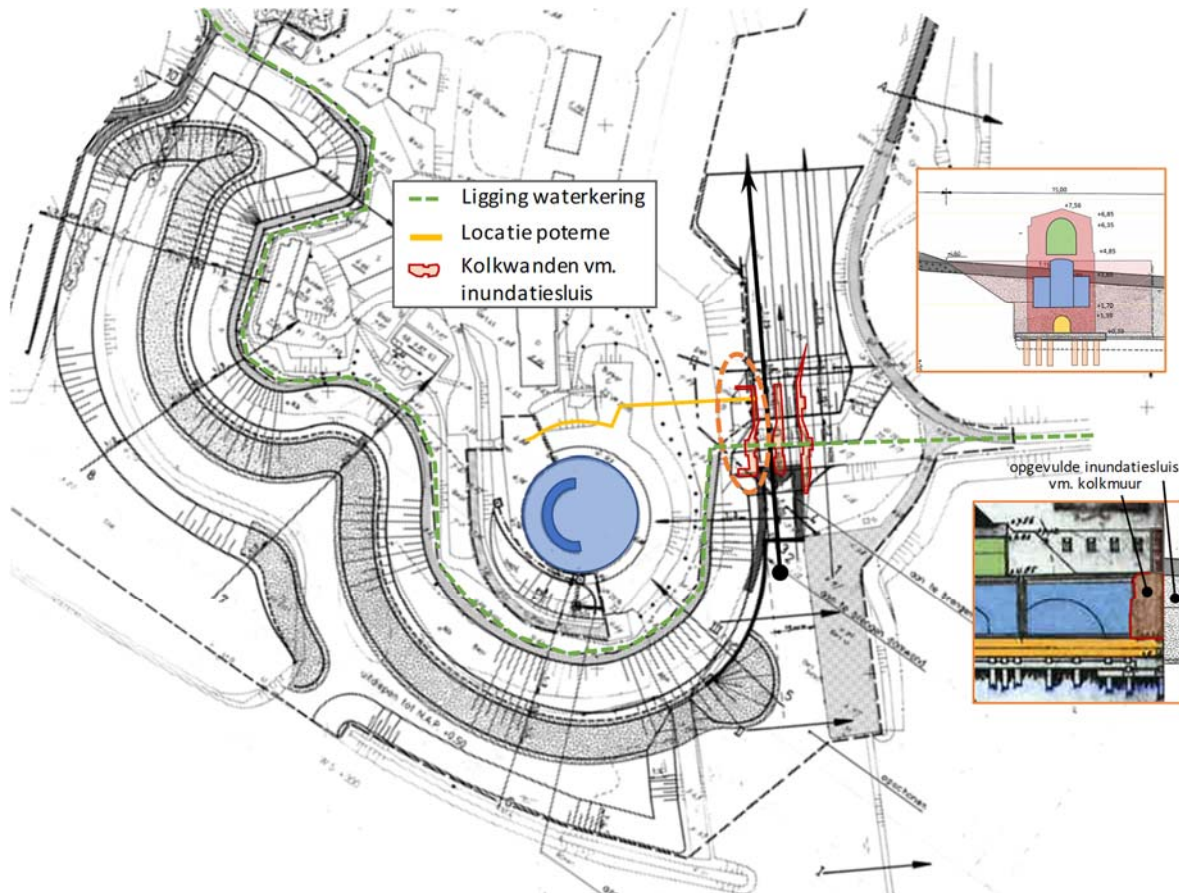
Figuur 5—3: Ligging van het riool in dijklichaam

5.5 Poterne in het fort

De poterne loopt vanaf het terrein nabij de ronde gebouw J en het halfronde gebouw K naar de inundatiesluis (gele lijn in Figuur 5—3). De poterne (wandeling) stopt op maaiveld, en loopt niet tot aan de inundatiesluis. De werkgang en het riool lopen door tot aan de sluiswand van de inundatiesluis.

5.6 Poterne niet in de waterkering

De waterkering loopt van oost naar west eerst over de voormalige inundatiesluis, daarna buigt deze af naar het zuiden en volgt de ronding van de het fort aan de buitenzijde. Het hoogste niveau van de poterne, de wandeling, eindigt eerder en zit niet in de waterkering.



Figuur 5—4: Ligging van de poterne ten opzichte van de waterkering

5.7 Riool onder de poterne in de waterkering

De werkgang op kelderniveau eindigt tegen de muur van de inundatiesluis. Het riool loopt door de kolkmuur van de inundatiesluis heen en losde daarin het hemelwater. Het riool is waterdicht afgesloten doordat de inundatiesluis is gedempt.

Het riool bevindt zich in de kernzone van de waterkering, maar heeft geen invloed op de geotechnische stabiliteit en kan dus gehandhaafd blijven:

- De binnenwaartse macrostabiliteit van het grondlichaam in de opgevlude inundatiesluis dient echter nog beoordeeld te worden (zie paragraaf 4.6).
- De poterne met riool maakt geen onderdeel uit van de sterkte van de waterkering. Het riool bevindt zich namelijk achter de kolkmuur en maakt dus geen onderdeel uit van het geotechnische glijvlak door de grond in de inundatiesluis. Hiermee is de poterne een niet-waterkering-object (NWO) die ligt buiten het beoordelingsprofiel. Verder zijn de kolkmuur van de inundatiesluis en de poterne met het riool volledig omsloten door het grondlichaam van de dijk.
- Zelfs bij eventueel bezwijken van het metselwerk van het riool of de poterne ontstaat er geen gevaar voor de waterkerende functie van de waterkering. Er zou granulair materiaal (bijv. zand) in de gang kunnen spoelen, maar het omliggende grondlichaam bestaat grotendeels uit cohesief (kleiig) materiaal. De eventuele zakking die deze inspoeling zou veroorzaken heeft geen invloed op de waterkerende functie, omdat de poterne (en riool) niet bijdraagt aan de sterkte van de waterkering.

6 Grondwal Fort Honswijk

6.1 Hoogte

Op basis van de inmeting uit 2018 van de gemeente Houten [6] is de hoogte van de grondwal van het fort beoordeeld. Conform de schematiseringshandleiding Hoogte [9] is het niveau van de buitenkruinlijn maatgevend. Voor de beoordeling van de hoogte zijn twee locaties beschouwd waar het buitenkruinniveau het laagst is. Deze locaties wordt als maatgevend beschouwd voor de gehele grondwal.



Figuur 6—1: Beschouwde locaties hoogtetoets grondwal

De maatgevende hoogte van de buitenkruinlijn van de grondwal bedraagt NAP + 7.96 m bij locatie 1 en NAP + 7.76 m bij locatie 2.

Voor deze twee locaties is het hydraulisch belastingniveau (HBN) bepaald middels het programma Hydra-NL. De resultaten zijn opgenomen in Tabel 4—7.

Tabel 6—1: Hydraulische randvoorwaarden grondwal

HR locatie 1	2050	2100	2073	HR Locatie 2	2050	2100	2073
HBN	7.375	7.485	7.426	HBN	7.47	7.602	7.531
WS	7.07	7.07	7.070	WS	7.12	6.99	7.060
Hm0	0.32	0.4	0.357	Hm0	0.38	0.51	0.440
Tm-1,0	2.01	2.21	2.102	Tm-1,0	1.91	2.49	2.177
Hvi tov N	225	225	225	Hvi tov N	247.5	270	258
Q	15930	15955	15942	Q	15886	15897	15891

Het hydraulisch belastingniveau bij zichtjaar 2073 op locatie 2 met een hoogte van NAP +7,53 m geldt hierbij als maatgevend.

Ook bij de grondwal geldt een autonome bodemdaling van 2 mm/jaar. Voor de hoogte van de maatgevende locatie 2 volgt hieruit een buitenkruinniveau van NAP +7,76 m – 50 x 0,002 m = NAP + 7.66 m bij zichtjaar 2073. De grondwal langs Fort Honswijk voldoet hiermee aan het beoordelingsspoor hoogte (NAP +7.66 m > NAP +7.531 m).

6.2 Macrostabieliteit binnenwaarts

Bij de vorige dijkversterking in de jaren 80 is het binnentalud van de grondwal verflauwd. Omdat aan de kopse kant van het Fort een deur aanwezig is, kon hier het talud niet worden verflauwd. Hiervoor is een damwand aangebracht. Deze damwand heeft een grondkerende functie.



Figuur 6—2: Binnentalud grondwal met locatie damwand 2

In voorgaande beoordeling is de binnenwaartse stabiliteit van de grondwal van Fort Honswijk niet beoordeeld. Voor dit onderdeel geldt daarom geen oordeel en voldoet hiermee niet op binnenwaartse stabiliteit. Begin 2019 is aanvullend geotechnisch onderzoek uitgevoerd [5] ter plaatse van de binnenteen en het buitentalud van de grondwal. Het betreft een sondering (DP244+250_DKMP1_AL), een handboring (DP244+246_HB_AL) (diepte 6,0 m) langs de binnenteen en een handboring (DP244+252_HB_BUT) (diepte 1,0 m) langs het buitentalud. Op de kruin van de grondwal is echter geen grondonderzoek beschikbaar. De bodemopbouw van de grondwal is daarom onvoldoende bekend. Om

de binnenwaartse macrostabiliteit te kunnen beoordelen is hier aanvullend grondonderzoek noodzakelijk op de kruin van de grondwal.

Tabel 6—2: Eigenschappen damwand 2 ter plaatse van binnentalud grondwal

Eigenschappen	Waarde	Eenheid
Type	Hoesch 95	-
Staalkwaliteit (niet bekend)	240 (conservatief)	N/mm ²
Elasticiteitsmodulus [E]	2.10E ⁺⁰⁸	kN/m ²
Traagheidsmoment [I]	7.13E ⁻⁰³	m ⁴ /m ¹
Weerstandsmoment [W]	7.50E ⁻⁰⁴	m ³ /m ¹
Buigstijfheid [EI]	14973	kNm ² /m ¹
Opneembaar elastisch moment [M _{max;el}]	180	kNm/m ¹
Breedte [b]	0.525	m
Hoogte [h]	0.190	m
Doorsnede	121	cm ² / m ¹
Wand dikte	8	mm
Lengte [L]	7.5	m
Bovenkant damwand	+ 7.0	m tov NAP
Onderkant damwand	- 0.5	m tov NAP

6.3 Macrostabiliteit buitenwaarts

In de voorgaande beoordeling is de buitenwaartse stabiliteit van de grondwal van Fort Honswijk niet beoordeeld. Voor dit onderdeel geldt daarom geen oordeel en voldoet hiermee niet op buitenwaartse stabiliteit. Evenals voor de beoordeling van de macrostabiliteit binnenwaarts is voor de buitenwaartse macrostabiliteit aanvullend grondonderzoek noodzakelijk.

6.4 Piping

Het faalmechanisme piping is voor de grondwal niet getoetst in voorgaande beoordelingen. Voor piping geldt ook geen oordeel en voldoet daarom niet op piping. Voor het spoor piping zal in een volgende fase een nadere analyse uitgevoerd moeten worden.

6.5 Bomen op grondwal (NWObo)

Het meest voor de hand liggende faalmechanisme bij aanwezigheid van bomen op de kruin is het ontwortelen, waarna de hoogte niet meer toereikend zal zijn. Voor de beoordeling van begroeiing in beoordelingsprofiel van de waterkering wordt verwezen naar “WBI2017 Bijlage III, Sterkte en veiligheid” [16].

Door de aanwezigheid van een niet-waterkerend object kan er sprake zijn van een verstoring van de waterkerende functie in een bepaalde zone rondom het NWO, die verstoringzone wordt genoemd. De 2-dimensionale begrenzing daarvan in het dwarsprofiel wordt het verstoringprofiel genoemd.

Voor het bepalen van het verstoringprofiel op de kruin is uitgegaan van een stamdiameter tussen 41 - 80 cm (afgaande van de veldinspectie) en een grondwaterstand groter dan mv -0,5 m. De kluitdiameter bedraagt dan 6,5 m en de kluitdiepte 0,5 m.

Tabel 6—3: Ontgrondingskuil bij windworp als functie van de grondwaterstand en stamdiameter (WBI 2017 [16])

Parameters	Omvang wortelkluit d [m] bij stamdiameter [cm]			
	15 - 40 cm	41 - 80 cm	81 - 120 cm	>120 cm
GRW > mv - 0,5 m				
Kluit diameter [m]	3,6	6,5	7,7	8,5
Kluit diepte (kruin, binnentalud en achterland) [m]	0,5	0,5	0,5	0,5
Kluit diepte (voorland en buitentalud) [m]	2 maal de stamdiameter			
GRW < mv - 0,5 m	2,8	4,5	5,0	6,0
Kluit diameter [m]	2,8	5,6	7,2	6*stam diameter
Kluit diepte (kruin, binnentalud en achterland)[m]	0,8	1,0	1,2	1,4
Kluit diepte (voorland en buitentalud) [m]	2 maal de stamdiameter			

Bij het ontwerp van de grondwal is rekening gehouden met een boomvrijzone van 3,0 m vanaf de buitenkruinlijn. Het beoordelingsprofiel voldoet hiermee niet aan de minimale breedte ($3,0 \text{ m} < 3,25 \text{ m}$). Ook voldoet de grondwal langs Fort Honswijk hiermee niet meer aan het beoordelingsspoor hoogte:

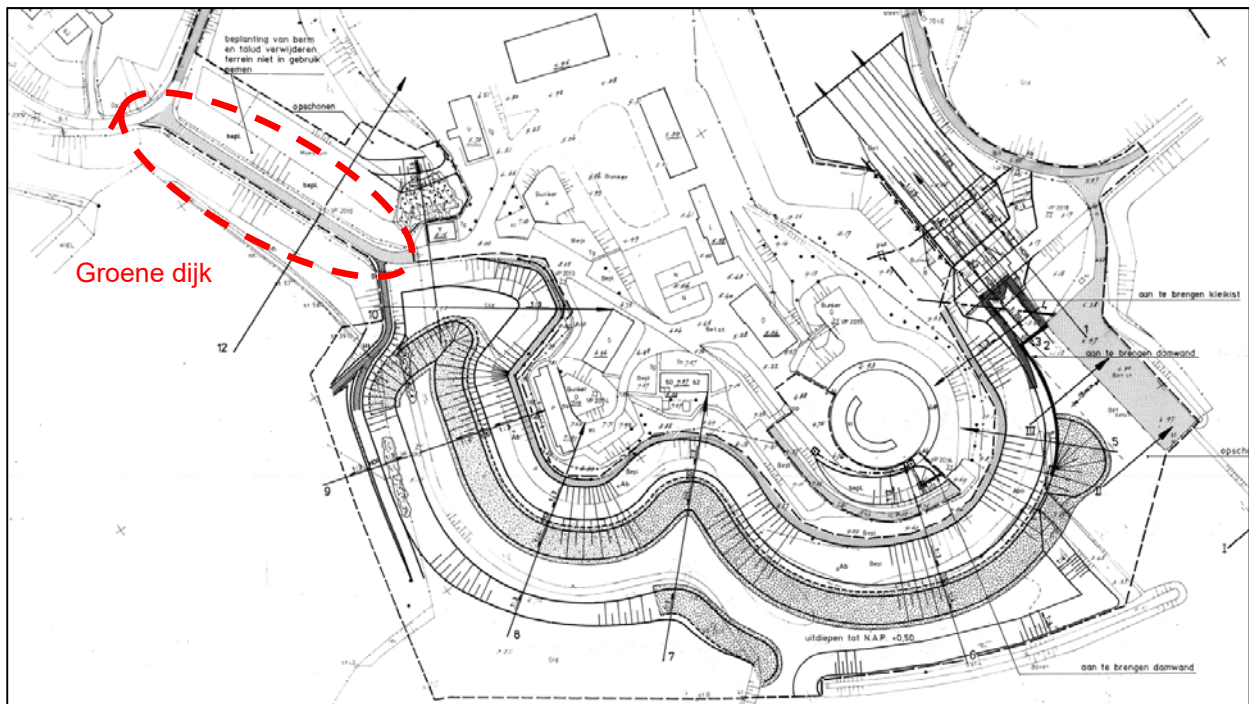
- Niveau ontgrondingskuil = NAP +7.66 m – 0,5 m = NAP +7.16 m
- Hydraulisch belastingniveau = NAP +7.531 m
- (NAP +7.16 m < NAP +7.531 m) ==> Voldoet niet.

Daarnaast bevinden zich enkele relatief kleine bomen langs de buitenteen van de grondwal. Indien deze bomen groter zijn dan 5,0 m of een stamdiameter hebben groter dan 0,15 m moet middels een toets op maat beoordeeld worden of deze effect hebben op de buitenwaartse stabiliteit door de ontgrondingskuil als scenario mee te nemen in de modelschematisering. Een nadere beoordeling van de bomen op de grondwal zal in een volgende fase uitgevoerd moeten worden.

7 Groene dijk

7.1 Inleiding

Naast de grondwal van Fort Honswijk is er ook een gedeelte die bestaat uit een groene waterkering. Op de groene dijk bevindt zich de toegangsweg naar het fort (zie Figuur 7—1 en Figuur 7—2). De totale lengte van de dijk bedraagt circa 120 m. Dit deel van de waterkering is niet specifiek benoemd in de eerdere toetsrondes. In dit hoofdstuk zal hier verder specifiek op in worden gegaan.



Figuur 7—1: Groene dijk bij Fort Honswijk



Figuur 7—2: Groene dijk met toegangsweg naar Fort Honswijk

7.2 Hoogte

De maatgevende kruinhoogte bedraagt op basis van de hoogtemeting van Gemeente Houten [6] NAP + 7.70 m. De autonome bodemdaling van 2 mm/jaar zodat voor het zichtjaar 2073 een autonome bodemdaling van 0,1 m wordt gevonden. De kruinhoogte voor het zichtjaar 2073 bedraagt NAP +7,60 m. Het hydraulisch belastingniveau voor het zichtjaar 2073 langs de groene dijk bedraagt NAP +7.45 m. De groene dijk voldoet aan de kerende hoogte.

7.3 Macrostabieliteit

In voorgaande beoordelingen is zowel de binnenwaartse- als buitenwaartse macrostabieliteit van de groene dijk bij Fort Honswijk niet expliciet getoetst. Op basis hiervan kan er geen oordeel worden gegeven aan zowel macrostabieliteit binnenwaarts als buitenwaarts en voldoet daarom niet aan de waterveiligheid. De binnen- en buitenwaartse stabiliteit van de groene dijk zal dus moeten worden opgenomen in de scope van de verdere uitwerking van Fort Honswijk. Begin 2019 is voor het deeltraject CUB grondonderzoek uitgevoerd [5]. Bij dit onderzoek is ook grondonderzoek uitgevoerd ter plaatse van de groene dijk. Aanvullend onderzoek is op deze locatie niet nodig.

7.4 Piping

Ook het faalmechanisme piping is voor de groene dijk niet getoetst in voorgaande beoordelingen. Voor piping geldt ook geen oordeel en voldoet daarom niet op piping. Ook dit faalmechanisme zal in een volgende fase geanalyseerd moeten worden.

8 Vervolgstappen beoordeling objecten

In dit hoofdstuk zal per object worden beschreven welke vervolgstappen uitgevoerd moeten worden om de onderdelen die zijn afgekeurd te laten voldoen aan de waterveiligheid.

8.1 Verhopen inundatiesluis

Voor de binnenwaartse macrostabiliteit van het grondlichaam ter plaatse van de verhopen inundatiesluis is in voorgaande beoordelingen geen berekening uitgevoerd. Voor dit faalmechanisme zal een aanvullende analyse uitgevoerd moeten worden. Aanvullend grondonderzoek op deze locatie is hiervoor noodzakelijk. Voor een definitieve toetsing van de damwand is eveneens aanvullend grondonderzoek benodigd bestaande uit sonderingen direct achter de damwand.

8.2 Grondwal

De grondwal van Fort Honswijk voldoet niet voor de faalmechanismen macrostabiliteit binnen- en buitenwaarts en piping. Voor deze onderdelen zal daarom een nadere analyse uitgevoerd moeten worden. Op de kruin zijn geen sonderingen uitgevoerd om de bodemopbouw in kaart te brengen. Op het buitentalud is eveneens onvoldoende grondonderzoek beschikbaar. Op deze locaties is aanvullend grondonderzoek noodzakelijk om een nadere beoordeling uit te kunnen voeren. Ook de invloed van de bomen op de verschillende faalmechanismen dient in een volgende fase van het project nader beoordeeld te worden.

8.3 Groene waterkering

De groene waterkering voldoet niet op macrostabiliteit binnen- en buitenwaarts en piping. Deze onderdelen zijn in voorgaande beoordelingen niet getoetst. Daarom zullen voor deze onderdelen aanvullende analyses uitgevoerd moeten worden. Langs de groene dijk zijn sonderingen en handboringen beschikbaar (zie [5]) en daarnaast worden aanvullende peilbuizen geplaatst in de binnen- en buitenteen. Voor dit onderdeel is aanvullend grondonderzoek niet nodig.

9 Conclusie

In deze rapportage zijn alle bijzondere waterkerende constructies in kaart gebracht in en rondom Fort Honswijk. Daarnaast zijn de grondwal en de groene waterkering (met hierop de toegangsweg naar het fort) beschouwd die ook deel uitmaken van Fort Honswijk. Vervolgens is voor deze objecten een beperkte veiligheidsanalyse uitgevoerd op basis van de bestaande informatie.

Het afwateringsriool onder Fort Honswijk bevindt zich in de kernzone van de waterkering, maar heeft geen invloed op de geotechnische stabiliteit en kan dus gehandhaafd blijven.

Voor de beoordeling van de damwand ter plaatse van de verholen inundatiesluis is een verkennende berekening gemaakt op basis van beperkt grondonderzoek. Onderstaande tabel bevat een samenvatting van het oordeel per faalmechanisme van de verschillende objecten.

Tabel 9—1: Toetsoordeel per faalmechanisme voor de verschillende objecten

Object	Faalmechanisme	Oordeel
Damwand verholen inundatiesluis	Hoogte	Voldoet
	Piping en Heave	Voldoet
	Macrostabieliteit binnenwaarts	Nader onderzoek
	Macrostabieliteit buitenwaarts (Sterkte en stabiliteit damwand)	Nader onderzoek ¹⁾
Grondwal	Hoogte	Voldoet
	Piping en Heave	Nader onderzoek
	Macrostabieliteit binnenwaarts	Nader onderzoek
	Macrostabieliteit buitenwaarts	Nader onderzoek
	NWO	Nader onderzoek
Groene dijk	Hoogte	Voldoet
	Macrostabieliteit binnenwaarts	Nader onderzoek
	Macrostabieliteit buitenwaarts	Nader onderzoek
	Piping	Nader onderzoek

- 1) De damwand aan de buitenzijde van de verholen inundatiesluis is in deze rapportage beoordeeld op basis van onvoldoende grondonderzoek. De verwachting is dat wanneer aanvullend grondonderzoek (sondering) direct achter deze damwand beschikbaar is, de damwand kan worden beoordeeld met “voldoet”.

Zoals uit bovenstaande tabel blijkt, kan voor veel faalmechanismen geen definitief oordeel worden gegeven omdat aanvullende analyses en/of grondonderzoek noodzakelijk zijn. Aanbevolen wordt om deze aanvullende analyses en grondonderzoeken in een volgende fase van de verkenning uit te voeren.

10 Referenties

- [1] “Plan van aanpak verkenningsfase dijkversterking Culemborgse veer – Beatrixsluis”, DM53PRD-#1531637-v1-PVA_CUB_definitief, versie 2.0, 21 mei 2019, Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden
- [2] “Detailtoetsing A-keringen van de Nederrijn- en lekdijk, Eindrapportage ten behoeve van Dijkversterking Centraal, projectnummer C03011.000406, 23 december 2015, Arcadis Nederland B.V.
- [3] “Veiligheidsanalyse Centraal Holland, Aanscherping toetsresultaten noordelijke Lekdijken en voormalige C-keringen”, 30 juni 2017, Neijenhuis P. et al
- [4] “Strategische Nota van Uitgangspunten Sterke Lekdijk”, DM53PRD-#1332659-v19, versie 1.0, 3 juli 2019, Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden
- [5] “Grondonderzoek Sterke Lekdijk Culemborgse Veer – Beatrixsluis (CUB), 02P011039-03-adv-01, Resultaten terrein- en laboratoriumonderzoek, versie 1.0, 19 juli 2019, Wiertsema-Inpijn-Blokpoel V.O.F.
- [6] “Fort Honswijk te Schalkwijk, Situatie- en hoogtemeting, Gemeente Houten, P18120SKW, 12-12-2018, Infra Plus
- [7] “Technische uitgangspuntennotitie”, BG5981-FUG-TM-XX-TN-WB-0002, concept, 28 oktober 2019, Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden
- [8] “Stalen damwanden bij Fort Honswijk, tekening 21-17”, Projectnummer 633-66381, 13 februari 1985, Heidemij Adviesbureau B.V.
- [9] “Schematiseringshandleiding Hoogte, WBI2017”, versie 2.0, 1 december 2016, Rijkswaterstaat Water Verkeer en Leefomgeving
- [10] “Regeling veiligheid primaire waterkeringen 2017, Bijlage III Sterkte en veiligheid”, WBI2017, Rijkswaterstaat Water Verkeer en Leefomgeving
- [11] “Leidraad Kunstwerken”, mei 2003, Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen
- [12] “POVM publicatie Stabiliteitsverhogende Langsconstructies”, versie 1.1, 16 oktober 2019, POV Macro stabiliteit
- [13] “Werkwijzer Ontwerpen Waterkerende Kunstwerken – Ontwerpverificaties voor de hoogwatersituatie, Groene versie 2018”, Versienummer D2, 1 november 2018, RWS
- [14] “Handreiking ontwerpen met overstromingskansen”, Versie OI2014v4, februari 2017, RWS
- [15] “CUR-publicatie 166 (zesde druk) Damwandconstructies”, Stichting CURNET, juli 2012, Gouda
- [16] “Regeling veiligheid primaire waterkeringen 2017, Bijlage III Sterkte en veiligheid”, Ministerie van Infrastructuur en veiligheid, 2017.