

RAPPORT

Groene rivier Well Technisch ontwerp waterkering Kasteel (VO)

Klant: Waterschap Limburg

Referentie: 20240705_BJ1000_W3420-3

Status: C02

Datum: 3 september 2024

HASKONINGDHV

Jonkerbosplein 52
6534 AB Nijmegen
Netherlands
Water & Maritime

+31 88 348 70 00 **T**
info@rhdhv.com **E**
royalhaskoningdhv.com **W**

Titel document: Groene rivier Well
Technisch ontwerp waterkering Kasteel (VO)
Sub titel:
Referentie: 20240705_BJ1000_W3420-3
Uw kenmerk
Status: C02
Datum: 3 september 2024
Projectnaam: Well
Projectnummer: BJ1000-101-100
Auteur(s): Martin de Kant

Opgesteld door: Martin de Kant, Hans Doornbos

Gecontroleerd door: Albert Wiggers

Datum: 3 september 2024

Goedgekeurd door: David Heikens

Datum: 3 september 2024

Classificatie

Alleen voor intern gebruik

Behoudens andersluidende afspraken met de Opdrachtgever, mag niets uit dit document worden verveelvoudigd of openbaar gemaakt of worden gebruikt voor een ander doel dan waarvoor het document is vervaardigd. HaskoningDHV aanvaardt geen enkele verantwoordelijkheid of aansprakelijkheid voor dit document, anders dan jegens de Opdrachtgever.

Let op: dit document bevat mogelijk persoonsgegevens van medewerkers van HaskoningDHV. Voordat publicatie plaatsvindt (of anderszins openbaarmaking), dient dit document te worden geanonimiseerd of dient toestemming te worden verkregen om dit document met persoonsgegevens te publiceren. Dit hoeft niet als wet- of regelgeving anonimiseren niet toestaat.

Inhoudsopgave

1	Inleiding	1
1.1	Inhoud en doel van de rapportage	1
1.2	Systeemmaatregelen kasteel Well	1
1.3	Scope	1
1.4	Relatie met andere documenten	1
1.5	Leeswijzer	1
2	Ontwerpkaders	3
2.1	Voorkeursalternatief uit verkenningsfase	3
2.2	Alternatief zonder ingrepen op de omwalling	4
2.3	Afwegingen	4
3	Beschrijving van de huidige situatie	5
3.1	Kasteel Well	5
3.2	Terreinmodel omwalling	5
3.3	Ondergrondmodel	7
3.4	Hydrologie en grondwater	9
3.5	Begroeiing	9
3.6	Bekleding omwalling	10
3.7	Archeologie	10
3.8	Vloerpeilen kasteel	10
4	Uitgangspunten dijkversterking kasteel	12
4.1	Uitgangspunten waterveiligheid	12
4.1.1	Beheerst peil in binnengracht	12
4.1.2	Overslagdebiet	12
4.1.3	Overige uitgangspunten waterveiligheid	13
4.2	Uitgangspunten peilbeheer dagelijkse omstandigheden	14
4.3	Uitgangspunten beheer waterkering en calamiteit	14
4.4	Hydraulische uitgangspunten	15
4.4.1	Rivierwaterstanden	15
4.4.2	Stroomsnelheden	15
4.4.3	Golfcondities	16
5	Voorlopig ontwerp groene kering (grondwal)	17
5.1	Analyse van directe faalmechanismen en maatregelen	17
5.1.1	Hoogte	17

5.1.2	Gras erosie kruin en binnentalud (GEKB)	17
5.1.3	Microstabiliteit binnentalud (STMI)	18
5.1.4	Stabiliteit binnenwaarts (STBI)	19
5.1.5	Heave grachtbodem	20
5.1.6	Piping (STPH)	21
5.1.7	Stabiliteit buitenwaarts (STBU)	22
5.1.8	Erosie buitentalud (GEBU)	22
5.2	Analyse van overige faalmechanismen en maatregelen	24
5.2.1	Risico begroeiing (windworp)	24
5.2.1.1	Bestaande bomen	24
5.2.1.2	Nieuw te plaatsen begroeiing	25
5.2.2	Risico van dierlijke graverijen	26
5.2.3	Risico op het falen van de bemaling	26
5.3	Samenvatting maatregelen groene kering	27
6	Voorlopig ontwerp bemaling	31
6.1.1	Algemeen	31
6.1.2	Afweging gemaal versus tijdelijke pompopstelling	31
6.1.3	Voorkeurslocatie gemaal	33
7	Voorlopig ontwerp constructies	34
7.1	Waterkerende constructies	34
7.1.1	Afwijking Voorontwerp van Voorkeursalternatief	34
7.1.2	Nieuwe muur (tussen coupure en kering in grond)	35
7.1.3	Coupure voor toegang tot het kasteel	35
7.1.4	Tiendschuur	36
7.1.5	Bestaande muur	36
7.1.6	Nieuwe muur (aansluitend op bestaande muur)	36
7.2	Analyse van directe faalmechanismen en maatregelen	37
7.2.1	Hoogte (HTKW)	37
7.2.2	Piping (PKW)	37
7.2.3	Constructief falen (STKW)	38
7.2.4	Niet sluiten (BSKW)	40
7.3	Overige constructies en niet waterkerende objecten	40
7.3.1	Landhoofd huidige toegangsbrug	40
7.3.1.1	Duiker	40
7.3.2	Landhoofd westelijke toegangsbrug naar het hoofdgebouw	40
7.3.3	Theehuisje	41
8	Referenties	42

De bijlagen bij dit rapport zijn de volgende notities (kenmerken 20240705_BJ1000_W3420_3.3 tot en met 20240705_BJ1000_W3420_3.14)

1. Insteek bescherming maatwerk kasteel
Deze bijlage is vervallen en wordt ondergebracht in [ref 4]
2. Profielen AHN4 en hoogtemeting
Deze bijlage is vervallen
3. Verslag Bomenronde omwalling kasteel Well, versie C01
4. Pompdebiet, versie C01
5. Analyse stroomsnelheden, Versie C01
6. Advies grasbekleding (GEKB en GEBU), versie C01
7. Microstabiliteit en Verweking (STBI), versie C01
8. Piping (PKW), versie C01
9. Notitie grasbekleding EURECO, versie C01
10. Macrostabiliteit (STBI en STBU), versie C01
11. Erosie buitentalud (GEBU), versie C01
12. NWO Begroeiing, analyse Windworp, versie C01
13. NWO Graverij, versie C01
14. Buitengevel Tiendschuur, versie C01

1 Inleiding

1.1 Inhoud en doel van de rapportage

Voorliggende rapportage presenteert de resultaten van het technisch ontwerp (VO) van de maatwerklocatie Kasteel Well, als onderdeel van de Planuitwerking van de Gebiedsontwikkeling Groene Rivier Well.

Doel van deze ontwerpnota is het onderbouwd vastleggen van het VO van de waterkeringen op het terrein van kasteel Well.

1.2 Systeemmaatregelen kasteel Well

Voor een algemene omschrijving van het project Gebiedsontwikkeling Groene Rivier Well wordt verwezen naar [ref 1]. In het plan voor de gebiedsontwikkeling komt kasteel Well buitendijks te liggen. Zonder extra ingrepen zal het waterpeil in de kasteelgrachten het Maaspeil aannemen. Bij hoge maaspeilen zal er directe en indirecte schade optreden omdat lage delen van het kasteel zullen inunderen. Bij de maatgevende ontwerpscenario's en zonder ingrepen is de kans dat dit optreedt groter dan 1/10 per jaar. Daarom dient het kasteel Well voldoende (met maatwerk) beschermd te worden tegen hoogwater. Om de benodigde hoogwaterbescherming te realiseren zullen er waterkeringen rond het kasteel aangebracht moeten worden. In de Nota Voorkeursalternatief Dijkverbetering DT60 Well [ref 17] is gekozen om deze keringen op het kasteelterrein te realiseren (zie ook hoofdstuk 2). Het voorkeursalternatief is medio 2020 vastgesteld door het dagelijks bestuur van het Waterschap Limburg.

Een beschrijving van de huidige situatie van het kasteel is opgenomen in hoofdstuk 3 van deze nota.

1.3 Scope

Dit rapport beschrijft het technisch ontwerp (VO) van de werkzaamheden op de omwalling van het kasteel. Werkzaamheden gerelateerd aan het ensemble van het kasteel (de Gaarde, de nieuwe voetgangersbrug over de buitengracht, de ontsluitingsroute en andere ontwikkelingen) worden separaat gerapporteerd.

1.4 Relatie met andere documenten

Deze rapportage maakt onderdeel uit van het technisch ontwerp waterkeringen. Omwille van leesbaarheid is besloten het maatwerk kasteel Well en ontwerp van alle groene keringen van het project in aparte documenten te beschrijven.

- Voor het ontwerp van de overige keringen van project Gebiedsontwikkeling Groene Rivier Well wordt verwezen naar [ref 1].
- De uitgangspunten voor het ontwerp van de waterkeringen zijn opgenomen in de Technische Uitgangspunten Notitie (TUN), [ref 2].
- Voor het landschappelijk ontwerp en de bijbehorende kwaliteitseisen wordt verwezen naar het Ruimtelijk Kwaliteitskader deel 2 en bijbehorende plankaart [ref 3].

1.5 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 worden de ontwerpvaardigheden beschreven, die het startpunt zijn voor dit ontwerp. Hoofdstuk 3 omvat een technische beschrijving van de huidige situatie waarbij onder meer wordt ingegaan op maaiveld, groen, ondergrond, (grond)water en bestaande objecten. In hoofdstuk 4 worden vervolgens de technische uitgangspunten beschreven.

De hoofdstukken 5, 6 en 7 gaan vervolgens in op het ontwerp waarbij is getoetst op van toepassing zijnde faalmechanismen. Hoofdstuk 5 betreft de groene kering (de grondwal), hoofdstuk 6 het pompsysteem, en hoofdstuk 7 de harde keringen waaronder de coupure en enkele muurtjes. Rekenkundige onderbouwingen en gedetailleerde analyses zijn opgenomen in bijlagen.

2 Ontwerpkaders

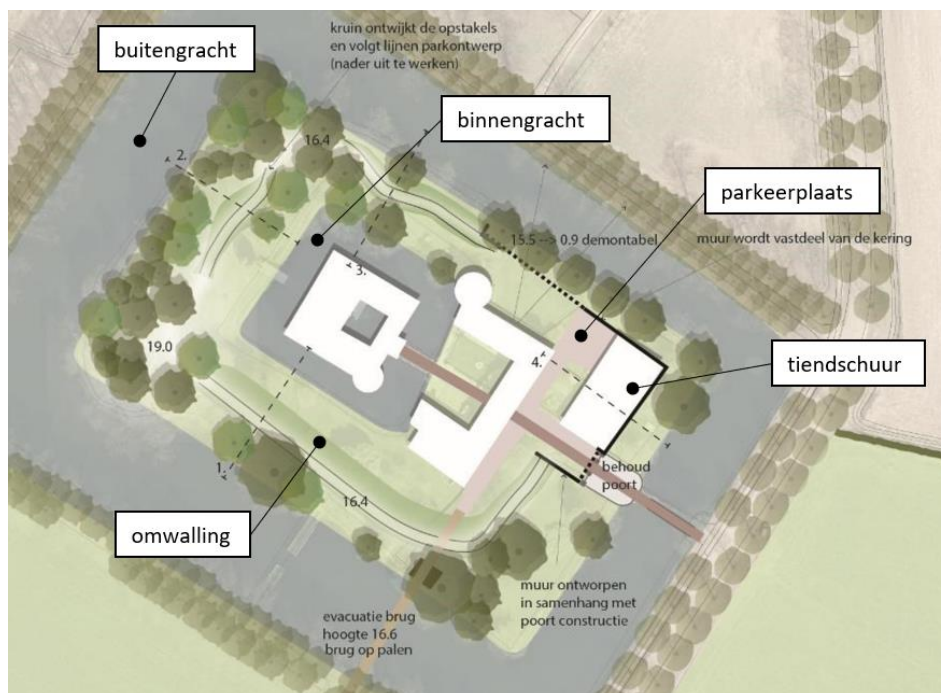
2.1 Voorkeursalternatief uit verkenningsfase

In mei 2020 is het voorkeursalternatief opgesteld, waarbij de keuze is gemaakt het kasteel buitendijks te plaatsen, en waarbij tegelijk is geconcludeerd dat het kasteel voldoende beschermd moet worden met maatwerk. In de voorbereiding naar de planuitwerkingsfase is door Arcadis en Witteveen+Bos uitgewerkt op welke wijze het kasteel moet worden beschermd [ref 6]. De voorgestelde maatregel bestaat onder andere uit:

- Het aanbrengen van een verhoging van de omwalling tussen de binnen- en de buitengracht tot 'kerende hoogte', met gebruikmaking van de aanwezige landschappelijke kenmerken.
- Een demontabele kering aan de noordoostzijde van het kasteelterrein met in het verlengde een kerende muur (huidige muur langs de parkeerplaats).
- Een evacuateroute via een nieuwe brug aan de zuidzijde. De huidige brug aan deze kant wordt verwijderd. De nieuwe brug moet terughoudend en passend bij de parkaanleg vormgegeven worden.
- Een demontabele kering (coupure) in de toegangspoort tot het kasteel met aansluitend een muur die aansluit op de omwalling.
- De tiendschuur wordt onderdeel van de waterkering.

Dit is als startpunt gehanteerd voor het voorontwerp van de planuitwerkingsfase waarvan dit rapport de vastlegging is.

De hierboven vermelde evacuateroute en de nieuwe brug maken geen onderdeel uit van dit ontwerprapport. Hiervoor wordt verwezen naar [ref 3]. De overige benoemde maatregelen worden beschreven in hoofdstuk 5 (groene kering) en 7 (demontabele kering, muur en tiendschuur). Tijdens hoogwater moet water van het kasteelterrein worden weggepompt; de voorzieningen hiertoe worden besproken in hoofdstuk 6.



Figuur 2-1: Visualisatie voorkeursvariant (VKA 2020, zie [ref 6])

2.2 Alternatief zonder ingrepen op de omwalling

Als onderdeel van deze VO-fase zijn alternatieven onderzocht waarbij de waterveiligheid wordt gewaarborgd door lage delen van het kasteel waterdicht te maken, en/of door lage delen te verplaatsen naar een nieuw te bouwen hoger gelegen object op de huidige omwalling. Het doel hiervan is om de ingrepen op de omwalling te voorkomen dan wel te minimaliseren. Aangetoond is dat deze alternatieven niet zijn te verenigen met een de bedrijfsvoering van het Emerson college. De onderbouwing hiervan is opgenomen in [ref 4]. De maatregelen van het Voorkeursalternatief (zie vorige paragraaf) blijven dus uitgangspunt.

2.3 Afwegingen

Bij het opstellen van het VO zijn soms meerdere oplossingen mogelijk gebleken waaruit een keuze moest worden gemaakt. In die gevallen is een integrale afweging gemaakt op de volgende criteria.

- Hoogwaterveiligheid
 - robuustheid en betrouwbaarheid van de waterkeringen
- Landschappelijke en cultuurhistorische inpassing.
 - maximaal behoud van begroeiing.
 - het voorkomen van schade aan de bebouwing (zoals het installeren van heaveschermen)
 - minimaliseren mogelijke impact op archeologische waarden
- Duurzaamheid
 - Mate waarin het project op een duurzame wijze is te realiseren
 - Beheerbaarheid en onderhoud: mate waarin het ontwerp goed beheerbaar en onderhoudbaar is
- Uitbreidbaarheid: mate waarin het ontwerp ook in het perspectief van toekomstige ontwikkelingen blijft voldoen of goed aanpasbaar is.
- Kosten: het ontwerp dient sober en doelmatig te zijn.
- Doorlooptijd van de uitvoering: in verband met de bedrijfsvoering van het Emerson college is zo min mogelijk verstoring van de colleges in het kasteel gewenst, om omzetterdrijving te vermijden of de minimaliseren.

3 Beschrijving van de huidige situatie

3.1 Kasteel Well

Kasteel Well is een in oorsprong middeleeuwse waterburcht, gelegen ten noordwesten van het dorp Well in de gemeente Bergen, Limburg. Het kasteelensemble bestaat uit een hoofdburcht, een voorburcht, enkele bijgebouwen en een dubbele omgrachting met een historische tuinaanleg. Zowel de hoofdburcht als de voorburcht zijn omgracht. Het terrein dat wordt omsloten door de buitengracht is ongeveer 160m lang en 100m breed.

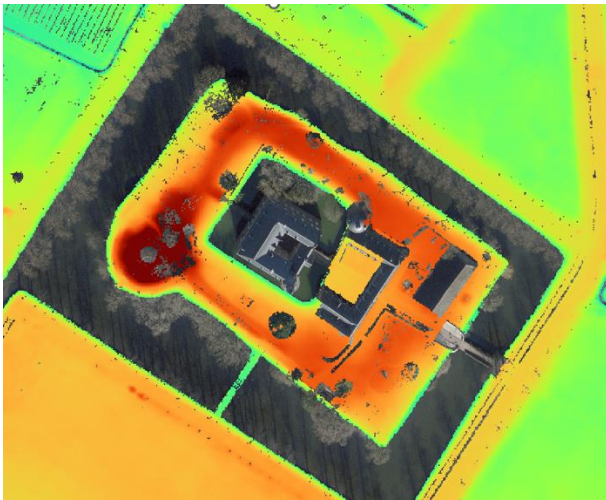
Het hoofdgebouw is in verschillende fasen vanaf de vijftiende eeuw tot stand gekomen. Het is op een nagenoeg vierkante plattegrond opgetrokken in bakstenen en wordt gevormd door vier vleugels rondom een binnenplaats. De voorburcht is U-vormig en dateert voornamelijk uit de zeventiende eeuw. Deze voorburcht heeft, evenals het hoofdgebouw, een zware ronde hoektoren. De middelste vleugel, die het poortgebouw vormt, heeft, recht tegenover de ingang van het hoofdgebouw, een poort die naar een toegangsbrug leidt. Ook de voormalige tiendschuur is binnen de omgrachting van de voorburcht gelegen [ref 6]. Voor een gedetailleerde beschrijving van het kasteel en de bijgebouwen wordt verwezen naar [ref 6].



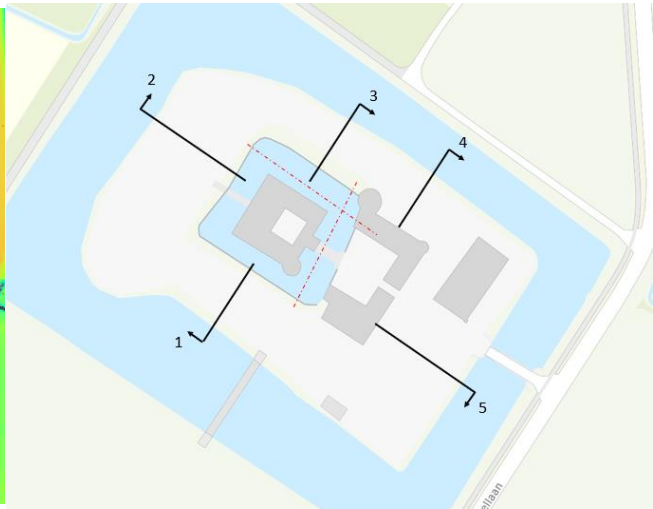
Figuur 3-1: Kasteel Well

3.2 Terreinmodel omwalling

Voor de hoogtes van het maaiveldniveau is uitgegaan van de openbare hoogte informatie in AHN4. Op basis van AHN4 en inmetingen in de grachten [ref 5] is de volgende situatie af te leiden, zie ook Figuur 3-2. Tussen de buiten en binnengracht van het kasteel is er sprake van een omwalling waarvan de hoogte en breedte varieert. Het hoogste punt per doorsnede ligt tussen NAP+15,6m en NAP+16,1m. De waterbodem van de binnen gracht varieert tussen NAP+10,8 en NAP+11,8m. Voor de technische analyse is gebruik gemaakt van een aantal kenmerkende doorsneden zie Figuur 3-4 en Figuur 3-4. Opgemerkt wordt dat de waterbodem in de doorsneden van Figuur 3-4 zijn gebaseerd op inmetingen van de grachtbodem op de in rood aangeven locaties van Figuur 3-3, en dus niet exact bij de doorsneden.



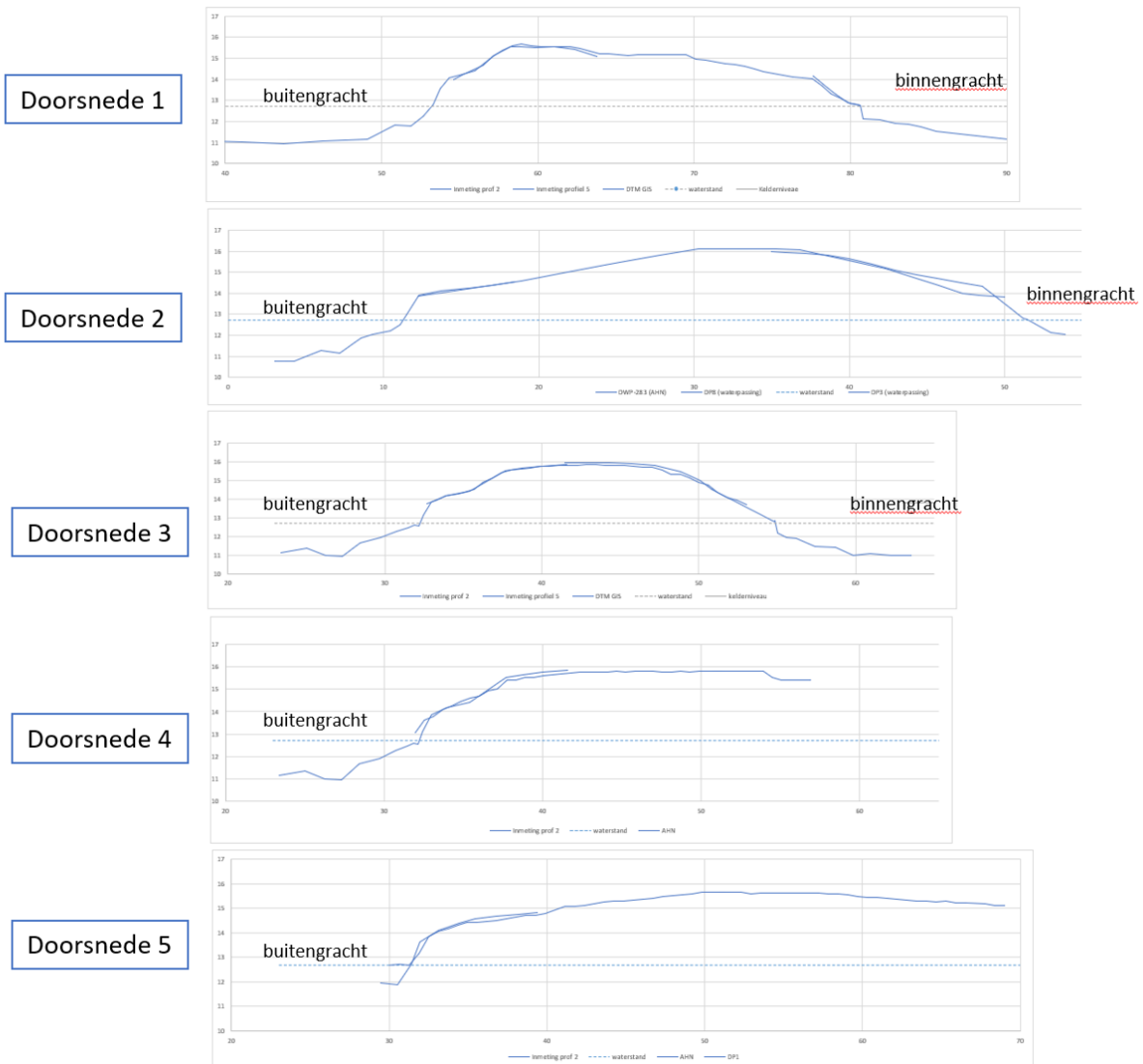
Figuur 3-2: Hoogtekaart op basis van AHN4



Figuur 3-3: Locaties van de in het VO gebruikte profielen.

Aan de binnenzijde van de omwalling is een beschoeiing aanwezig. De taluds aan de binnenzijde zijn over het algemeen vrij steil opgezet; gemiddeld ongeveer 1:2 over de onderste meters tot ongeveer 1,5m boven grachtpeil. Bij de profielen 1 en 2 is er boven het steile deel sprake van een flauw oplopend talud met hellingen 1:5 à 1:7. Bij profiel 3 loopt het steile talud tot een hoger niveau door.

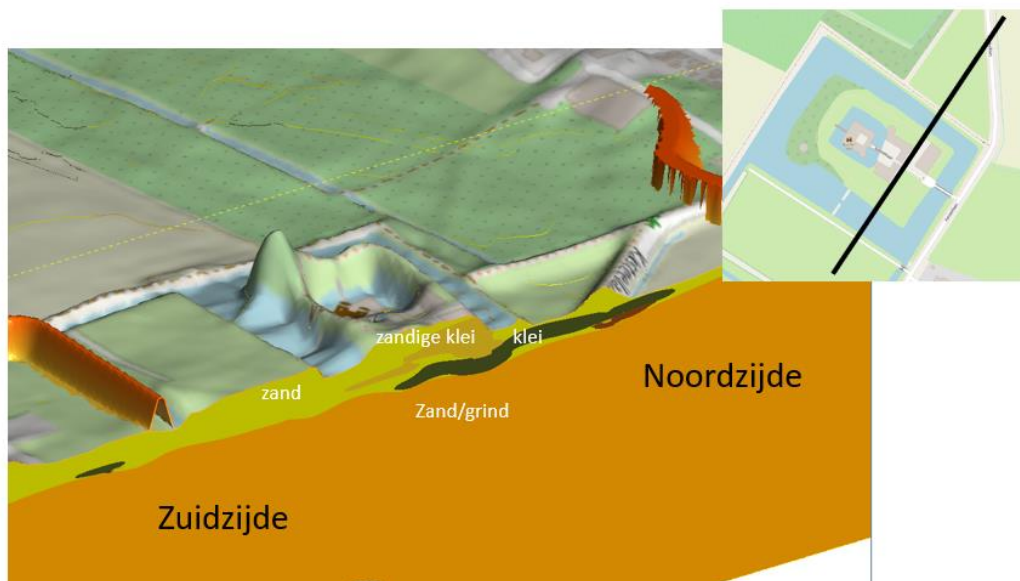
Aan de zuid en noordzijde (profielen 1, 3 en 4) is het buitentalud steil opgezet; gemiddeld 1:2, maar lokaal steiler dan 1:1. Aan de west en oostzijde zijn de taluds veel flauwer.



Figuur 3-4: In het VO gebruikte doorsneden, de doorsneden zijn gebaseerd op AHN4 en inmetingen.

3.3 Ondergrondmodel

Om inzicht te krijgen in de ondergrond van het projectgebied is een 3-dimensionaal ondergrondmodel opgesteld aan de hand van het opgeleverde en geïnterpreteerde grondonderzoek (zie Figuur 3-5). Voor een algemene beschrijving van het ondergrondmodel en de daarbij gebruikte gegevens wordt verwezen naar [ref 2]. De geotechnische onderzoeken voor het kasteel zijn gerapporteerd in [ref 7] en [ref 8]. In deze paragraaf wordt specifiek ingegaan op de grondopbouw op de locatie van het kasteel.

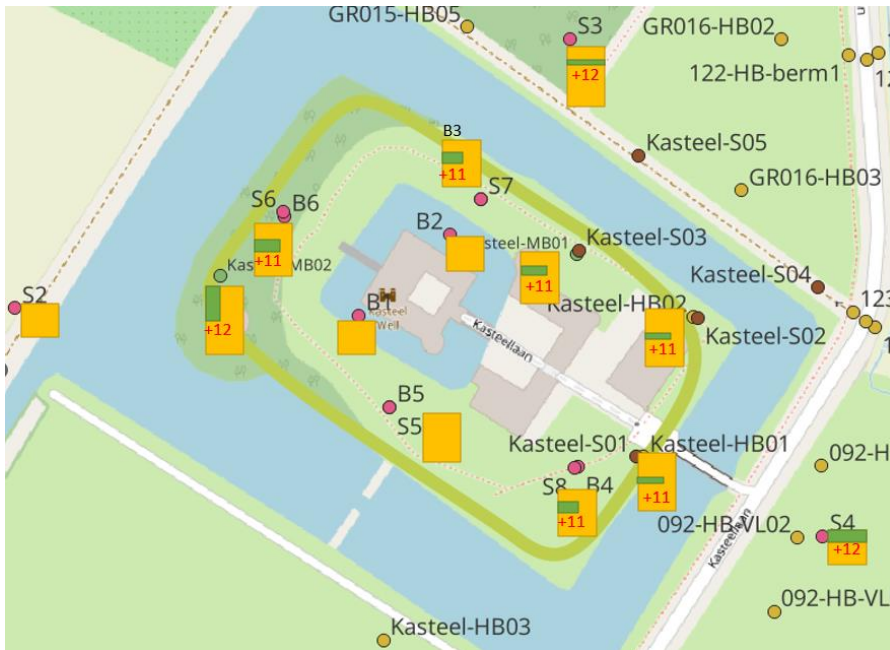


Figuur 3-5: Visualisatie van het ondergrondmodel ter plaatse van het kasteel

Het is zeer aannemelijk dat de omwalling is opgebouwd uit materiaal dat vrij is gekomen bij het ontgraven van de grachten (maaiveldniveau ongeveer NAP+13m tot waterbodembodem op ongeveer NAP +11m). De oorspronkelijke stratigrafie bestond hier uit een Holocene toplaag (klei en veen) van circa 1m à 1,5m dikte op een Fluviale afzetting (Beegden) bestaande uit zand en grind. Deze materialen worden in de omwalling aangetroffen.

De opbouw van de omwalling is heterogeen maar overwegend zandig (zand/silt en siltige /zandige klei). Met name aan de noordzijde van de omwalling (doorsneden 3 en 4) wordt klei aangetroffen tussen NAP +11m en NAP+12m (zie Figuur 3-5 en Figuur 3-6). Dit is het oorspronkelijke maar door het gewicht van de omwalling geconsolideerde materiaal waarop de wal is opgebouwd. Hieronder wordt vast zand/grind aangetroffen van de formatie van Beegden.

Het niveau van de waterbodembodem (laagste gemeten punt op ongeveer NAP +10,8 en hoogst gemeten punt op ongeveer NAP+11,8m) is zodanig dat er lokaal geen deklaag (klei) aanwezig zal zijn. Lokaal kan er wel dunne kleilaag aanwezig zijn van maximaal enkele decimeters. Lokaal zal er slib op de grachtbodem worden aangetroffen.



Figuur 3-6: locaties waar kleilaag is aangetroffen (groen balkje) met in rood het niveau van de onderzijde van deze kleilaag

Conusweerstand van de zand en grindlagen tussen NAP+11m en NAP+5m variëren tussen 10 en 20 MPa en een enkele uitschieter tot 25 MPa.

Voor de in de analyses aangehouden grondparameters wordt verwezen naar de TUN [ref 2].

3.4 Hydrologie en grondwater

In het verleden werden de kasteelgrachten gevoed door de Bandsegraaft ten westen en de aantakking op de Molenbeek ten oosten van het kasteel. Bij de ruilverkaveling in de jaren 60 zijn deze beken en geulen afgekoppeld van het watersysteem. De grachten staan daardoor niet in verbinding met het waterlopenstelsel van de omgeving. Om te voorkomen dat het water in de grachten te ver uitzakt, en dat de waterkwaliteit te slecht is, wordt grondwater uit diepe lagen opgepompt. Het streefpeil in de gracht ligt op 12,7 m +NAP.

Het water van binnengracht en de buitengracht van het kasteel staat met elkaar in verbinding via een duiker aan de noordzijde van de omwalling. De duiker kan worden dichtgezet en geopend met een verticale mechanische schuif. Aan beide uiteinden van de duiker is een dergelijke schuif aanwezig. [ref 6]. Volgens opgave van de beheerder is de duiker in de jaren 60/70 aangelegd. De afsluiters zijn niet meer geheel waterdicht. Over de staat van de duiker is verder niets bekend.

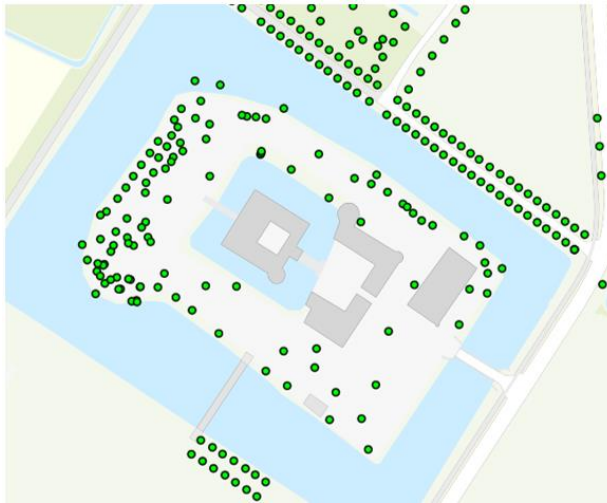
De locatie van de eerdergenoemde pomp is nabij deze duiker.

Ter plaatse van de boringen is eenmalig de grondwaterstand gemeten; deze bevindt zich op NAP+ 12,5 á NAP +13m, ongeveer gelijk aan het niveau van het water in de grachten.

3.5 Begroeiing

In opdracht van het Emerson college is in 2019 een inspectie uitgevoerd van de begroeiing rond het kasteel [ref 9]. De rapportage van deze inspectie geeft inzicht in de aanwezige begroeiing (soort en locatie

en indicatie van hoogte). Voor het ontwerp van de waterkerende maatregelen op deze maatwerklocatie was meer inzicht nodig in de kwaliteit van de begroeiing, de toekomstbestendigheid met betrekking tot klimaatverandering en de bestendigheid van de bomen tegen ingrepen zoals ophogingen en ontgravingen. Om deze reden is een bomenspecialist geconsulteerd. Het verslag van deze 'bomenronde' is opgenomen in bijlage 3.



Figuur 3-7: Aanwezigheid van bomen op de omwalling.

3.6 Bekleding omwalling

Er is op de omwalling geen sprake van een bekleding in technische zin. De toplaag van de omwalling bestaat uit zand.

Aan de bovenzijde en op het buitentalud is er op veel plaatsen een grasmat aanwezig maar die is voor waterveiligheid van onvoldoende kwaliteit, onder andere door schaduwrijke plekken, zeer steile taluds en huidige maaibeheer. Op veel locaties is er sprake van andere begroeiing, en op veel locaties is er onvoldoende licht voor elke vorm van onder begroeiing. Dit speelt met name aan de westzijde van de omwalling (doorsnede 2) maar ook onder de boomspiegels van bomen op de kruin en het binnentalud.

3.7 Archeologie

Door Saricon is in opdracht van het waterschap een geofysisch onderzoek uitgevoerd op de omwalling van het kasteel [ref 10]. In het advies worden de volgende conclusies getrokken: de bodem is zeer sterk verstoord, er zijn diverse concentraties aan puin aanwezig. Zonder aanvullende informatie is het niet mogelijk deze nader te duiden. Er zijn geen aanwijzingen voor onbekende grachten of waterlopen.

De verwachting is dat er bij de ontgravingen ten bate van grondverbeteringen puin zal worden aangetroffen. Ook is er een kans op het vinden van archeologische objecten.

3.8 Vloerpeilen kasteel

In onderstaande figuur zijn de vloerpeilen van het kasteel aangegeven. De in het rood aangegeven peilen zijn gebaseerd op een waterpassing [ref 11]. De overige peilen zijn indicatief.

Alleen voor intern gebruik



Figuur 3-8: Vloerpeilen begane grondvloeren kasteel Well

4 Uitgangspunten dijkversterking kasteel

4.1 Uitgangspunten waterveiligheid

Voor de uitgangspunten wordt verwezen naar de technische uitgangspuntennotitie [ref 2]. De belangrijkste eisen zijn in deze paragraaf nog eens weergegeven.

4.1.1 Beheerst peil in binnengracht

De vloerniveaus van het kasteel bevinden zich onder het maatgevende hoogwaterpeil HBN, zijnde NAP +15,7m. Omdat de ondergrond en de huidige omwalling zeer doorlatend zijn zal het peil in de binnengracht tijdens hoogwater zonder grote vertraging hetzelfde peil aannemen als de buitengracht c.q. de groene rivier. In dat geval zal het laagste niveau en het begane grondniveau van het kasteel via de openingen (deuren, ramen, rioleringen) inunderen. Het peil in de binnengracht moet daarom tijdens hoogwater actief worden bemalen. Het laagste vloerniveau van de intensief gebruikte ruimtes van het kasteel bevindt zich op NAP +13,79m. Rekening houdend met een marge van enkele decimeters wordt het beheerspeil van de binnengracht tijdens hoogwater gesteld op NAP +13,50m. Opgemerkt wordt dat in dat geval alleen de fitnessruimte in de noordelijke toren van de voorburcht en de Zalmkelder onder de zuidvleugel van de voorburcht zullen inunderen. De zalmkelder is enkele jaren geleden al waterdicht gemaakt. De fitnessruimte (inschatting vloerniveau ongeveer NAP +13,5m) zal bij het beheerspeil ook waterdicht moeten worden gemaakt. Het waterdicht maken van deze relatief kleine ruimte wordt geprefereerd boven een nog lager beheerspeil, omdat daarmee het pompdebiet te veel zal toenemen. Bij het definitief ontwerp van het pompsysteem kan deze keuze nader worden onderbouwd en eventueel worden bijgesteld.

Uit geohydrologische analyses (zie bijlage 4) blijkt dat het stationaire pompdebiet in deze situatie maximaal ongeveer 400 m³ per uur bedraagt. Daar komt nog een extra debiet bij afhankelijk van het gekozen overslagdebiet, zie 4.1.2.

4.1.2 Overslagdebiet

Bij de keuze van het overslagdebiet spelen twee factoren een rol: de inpasbaarheid van de waterkering en het benodigde pompdebiet. Een hoger overslagdebiet leidt tot een lager niveau van de grondwal en is dus makkelijker inpasbaar in de historische tuin. Bij een overslagdebiet van 1 l/s/m kan de kruin 15cm lager worden dan bij 0,1 l/s/m. Bij 5 l/s/m is dit verschil 25cm. (zie Tabel 4-1).

Daarnaast heeft het overslagdebiet invloed op de noodzaak voor grondverbeteringen op het binnentalud. Bij 0,1 l/s/m worden er volgens de richtlijnen (OI2014) geen eisen gesteld aan de (gras)bekleding op kruin en binnentalud. Bij grotere overslagdebieten worden er wel eisen gesteld en is er bij taludhellingen steiler dan 1:4 een kleibekleding nodig (zie Tabel 4-1). Uit analyse (paragraaf 5.1.2) blijkt dat een overslagdebiet van 1 l/s/m inpasbaar is met een beperkte grondverbetering op de flauwe binnentaluds, en een kleibekleding op de steile delen. Bij 5 l/s/m moeten de steile delen van het talud worden verflauwd.

Tabel 4-1: Gevolgen van het te hanteren overslagdebiet voor bekleding kruin en binnentalud

	0,1 l/s/m	1 l/s/m	5 l/s/m
Hoogte bij 1/100 [m...NAP]	16,35	16,20	16,10
Eisen kruin en binnentalud conform OI2014	Geen	Gesloten of open graszode op minimaal 0,4m klei OF Graszode op zand en taludhelling $\geq 1:4$	Gesloten of open graszode op minimaal 0,4m klei EN Taludhelling flauwer dan 1:2,3 OF Graszode op zand en taludhelling $\geq 1:4$

De keuze van het overslagdebiet heeft ook invloed op het benodigde pompdebiet tijdens een hoogwater. Zoals in paragraaf 4.1.1 is aangegeven wordt de binnengracht tijdens hoogwater actief bemalen om de lage delen van het kasteel droog te houden. Uitgangspunt bij het VO is dat het pompdebiet niet hoger moet zijn dan ongeveer 1000 m³ per uur. Bij hogere debieten wordt de pompinstallatie groter en duurder, ook in de wetenschap dat er permanente reservecapaciteit op het kasteelterrein aanwezig moet zijn om het risico op pompuitslag te mitigeren (zie 5.2.3). Uit onderstaande tabel blijkt dat er bij 5 l/s/m overslagdebiet een totale pompcapaciteit nodig is die de 1000 m³ per uur ruimschoots overschrijdt. Op basis van het bovenstaande wordt uitgegaan van een overslagdebiet van 1 l/s/m.

Tabel 4-2: Gevolgen van het te hanteren overslagdebiet voor waterbezwaar en benodigd aantal mobiele pompen

	0,1 l/s/m	1 l/s/m	5 l/s/m
Golfoverslag [m3 per uur]	90	450	900
Bovengrens kwel [m3 per uur]	410	410	410
Totaal waterbezwaar [m3 per uur]	490	860	1310
Aantal pompen, capaciteit 500 m3/uur	1	2	3

4.1.3 Overige uitgangspunten waterveiligheid

Voor de maatwerkbescherming van het kasteel wordt aangesloten bij het 1/100e beschermingsniveau van de primaire waterkeringen in Well. Het uitgangspunt is dat het te hanteren 1/100e beschermingsniveau met maatwerk voldoende bescherming biedt aan het vastgoed, en geen waardevermindering van het vastgoed tot gevolg heeft.

Voor de groene keringen een ontwerplevensduur aangehouden van 50 jaar (2075).

Voor de constructies wordt een ontwerplevensduur aangehouden van 100 jaar (2125), maar deze worden adaptief versterkt. De hoogte wordt dus ontworpen op 50 jaar, met mogelijkheid om aan te passen naar 100 jaar.

Conform [ref 2] wordt de standaard faalkansbegroting aangehouden volgens OI2014, met een faalkansruimte van 24% voor overloop en overslag. Dit vertaalt zich in de volgende niveaus:

- HBN bij 1 l/s/m bedraagt NAP +16,20m
- Ontwerpwaterstanden voor groene kering NAP +15,72m
- Ontwerpwaterstand voor harde kering (constructief en onderbouw) NAP +15,88m

4.2 Uitgangspunten peilbeheer dagelijkse omstandigheden

Uitgangspunt is dat het streefpeil in de grachten blijft op het huidige peil van NAP+12,70m.

4.3 Uitgangspunten beheer waterkering en calamiteit

Het is niet nodig om de algemene beheer-eisen van WL zoals beschreven in de technische uitgangspuntennotitie [ref 2] aan te houden voor inspectie en onderhoud van de keringen rond het kasteel. Ook hier kan en moet maatwerk worden toegepast gezien de bijzondere locatie en toekomstige overdracht van beheer naar het Emerson college. Belangrijk voor het beheer en de draaiboeken voor calamiteiten is dat het kasteel tijdens hoogwater (maaspeil boven circa 14,80m) niet meer bereikbaar is voor materieel en zware objecten.

De volgende uitgangspunten zijn van toepassing voor het dagelijkse beheer en hebben betrekking op de geometrie en inpassing van de grondwal:

- Tijdens hoogwater is het nodig om de kruin en het binnentalud te kunnen betreden voor inspectie en herstelwerkzaamheden. De kruin moet bereikbaar zijn voor een transportmiddel met aanhangwagen voor aanvoer van materieel (bijvoorbeeld zandzakken, mobiele pompen).
- Tijdens normale omstandigheden moet het gehele terrein bereikbaar zijn voor materieel voor maaien, onderhoud aan bomen, herstelwerkzaamheden (bijvoorbeeld als gevolg van graverijen, omgewaaide bomen, of erosie).
- Kruin, buiten en binnentaluds moeten maaibaar zijn tot aan streefpeil van de buiten en binnengracht.
- De minimale kruinbreedte wordt gesteld op 2,0m. Waar dat door inpassing niet mogelijk is kan hier worden afgeweken tot een minimum van 1,5m.
- Taludhellingen grondwal (het op te hogen deel) 1:2 of flauwer.

Bij hoogwater wordt de binnengracht actief bemalen. Om bemalen mogelijk te maken gelden de volgende uitgangspunten (zie ook hoofdstuk 0):

- De pomplocatie moet voorzien zijn van een stroomvoorziening
- Er moet noodstroom aanwezig zijn voor het geval dat de hoofdstroom uitvalt.
- Er moeten maatregelen worden getroffen om erosie van de buitengracht en buitentalud tijdens het lozen van het water te voorkomen.
- Als de pompopstelling de duiker vervangt moet er de mogelijkheid zijn om het water vanuit de buitengracht naar de binnengracht te laten stromen onder dagelijkse omstandigheden.
- Berging van reserveonderdelen, gereedschappen, extra pomp, noodstroom et cetera dient boven NAP +15,70m plaats te vinden, of binnen de dijkkring.

De volgende uitgangspunten zijn van toepassing op beheer aspecten gerelateerd aan een hoogwater en bij calamiteiten:

- Onderdelen van de demontabele kering bij de poort (coupure) zijn permanent op het terrein van het kasteel opgeslagen
- Uit dit voorontwerp blijkt dat er op een aantal locaties bij bomen geen erosiebestendige bekleding kan worden aangebracht (zie paragraaf 5.1.2 en 5.1.8). Op deze locaties wordt met krammatten gewerkt.
- De krammatten worden op maat gemaakt, getest en zijn permanent op het werk aanwezig.
- Per boom moet worden onderzocht of het "krammen" met stalen pinnen tot schade aan de wortels kan leiden. In dat geval kunnen de matten worden vastgelegd door er zandzakken op de plaatsen.

4.4 Hydraulische uitgangspunten

4.4.1 Rivierwaterstanden

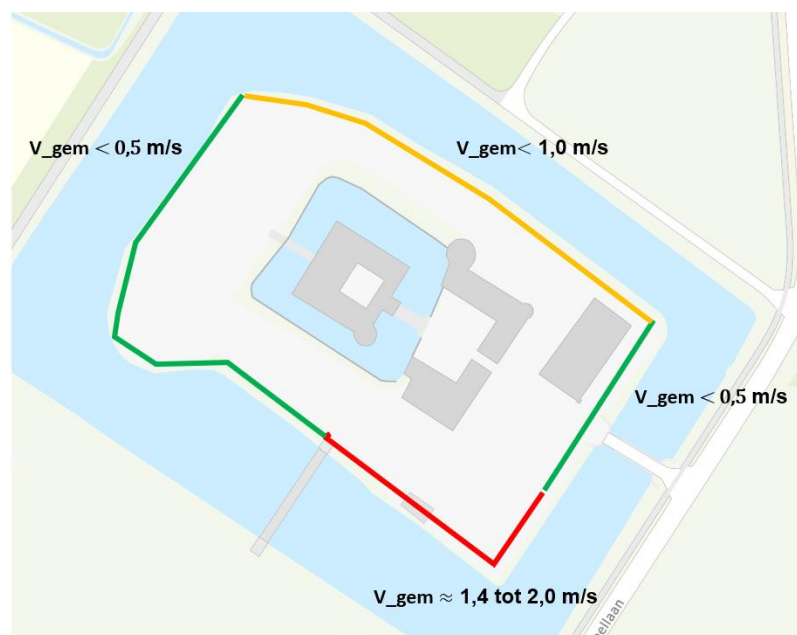
Onderstaande relatie tussen waterstanden en herhalingstijden zijn indicatief maar voldoende nauwkeurig voor deze fase van het ontwerp.

Tabel 4-3: Indicatie van herhalingstijden rivierwaterstanden as rivier met schatting voor locatie Oud Well/kasteel

Herhalingstijd van de topafvoer [jaren]	Waterstand [m..NAP]
2 a 3	13,8
5	14,4
10	15,0
20	15,3
30	15,4
50	15,6
100	15,7

4.4.2 Stroomsnelheden

De erosie van het buitentalud getoetst bij een herhalingstijd van 1/4000 voor gras op zand [ref 2]. Voor een onderbouwing van de rondom het kasteel optredende stroomsnelheden wordt verwezen naar bijlage 5. Figuur 4-1 geeft een overzicht van de in het ontwerp aan te houden stroomsnelheden langs de verschillende zijden van het kasteel.



Figuur 4-1: Aan te houden stroomsnelheden bij toetsing en ontwerp van de bekleding

4.4.3 Golfcondities

De golfcondities zijn voor de 4 zijden van de omwalling bepaald met Hydra-NL voor zichtjaar 2075, zie ook [ref 2]. In de berekeningen is rekening gehouden met het lokaal verhoogde maaiveld aan de buitenzijde van de buitengracht tussen de bomenrijen. De berekeningen houden geen rekening met objecten in het voorland die strijklengte reduceren zoals bomen en maasheggen. Tabel 4-4 geeft een overzicht.

Tabel 4-4: Samenvatting berekende golfhoogten per zijde van de omwalling voor zichtjaar 2075.

Zijde	Golfhoogte Bij WBN [m]	Maximale golfhoogte [m]	Waterstand bij maximale golfhoogte [m .. NAP]
Noord	0,23	0,32	+14,6
Oost	0,23	0,32	+15,0
Zuid	0,27	0,27	+15,7
West	0,35	0,47	+15,2

5 Voorlopig ontwerp groene kering (grondwal)

In dit hoofdstuk wordt een toelichting gegeven op het referentie-voorontwerp van de waterkering op de omwalling. Aan de hand van de voor deze situatie relevante directe faalmechanismen worden de versterkingsmaatregelen in paragraaf 5.1 beschreven. Paragraaf 5.2 beschrijft hoe om wordt gegaan met overige mechanismen en met niet waterkerende objecten. Paragraaf 5.3 geeft een samenvattend overzicht van de maatregelen en een schets van de beoogde maatregelen voor een aantal kenmerkende profielen.

De keuze en de afweging van versterkingsmaatregelen is integraal beschouwd. Hierbij is er gekeken naar het ontwerp als totaal systeem met onderlinge afhankelijkheden. In de rapportage is er echter voor gekozen om de benodigde maatregelen per faalmechanisme te bespreken in de betreffende paragraaf, en af te wegen op basis van de in paragraaf 2.3 beschreven criteria.

5.1 Analyse van directe faalmechanismen en maatregelen

5.1.1 Hoogte

De toekomstige kruinhoogte van de waterkering op de omwalling bedraagt NAP+16,20m. Het huidige hoogste niveau van de omwalling varieert in de beschouwde profielen (zie Figuur 3-2), tussen ongeveer NAP +15,50 tot NAP +16,10m. De benodigde ophoging op het huidige maaiveld is afhankelijk van de positie van de grondwal in het dwarsprofiel. Als de grondwal op het hoogste punt van de omwalling kan worden aangebracht moet er ongeveer 0 tot 70cm grond worden opgehoogd.

Ter plaatse van de ophoging wordt 0,3m van de bovengrond verwijderd. Bij het afgraven van de bovengrond is de kans reëel dat daarbij wortels van de aanwezige bomen worden beschadigd. Het is mogelijk dat de bomen daardoor verzwakt raken of sterven. Het vervolgens ophogen van de grondwal vormt ook een risico voor de aanwezige bomen. Een ophoging van een decimeter kan daarbij voor sommige bomen al te veel zijn, zeker als de ophoging wordt uitgevoerd met klei waardoor indringen van zuurstof en nutriënten wordt geblokkeerd. Op enkele meters (3 tot 5m afhankelijk van boomsoort) vanaf het hart van een boom zijn geen negatieve effecten meer te verwachten.

Op basis van een bomeninventarisatie is bepaald welke bomen een risico vormen voor de waterveiligheid, welke bomen niet kunnen worden ingepast in het ontwerp en/of de aanpassingen niet zullen overleven, en welke bomen een grote waarde hebben (landschappelijk, ecologisch), zie bijlage 3 en SSK2 [ref 3]. Het is niet mogelijk bij ophoging van de grondwal alle aanwezige bomen te ontzien.

5.1.2 Gras erosie kruin en binnentalud (GEKB)

De toplaag van de huidige omwalling is zandig. Op sommige locaties is er een grasmat aanwezig maar die is van onvoldoende kwaliteit, onder andere door schaduwrijke plekken, zeer steile taluds en huidig maaibeheer. Er is geen ontwerprichtlijn voor het ontwerp van gras op zand. In 2010 en 2020 zijn langs de Vecht in Overijssel golfoverslagproeven uitgevoerd voor gras op zanddijken, en analyse hiervan is uitgevoerd in het kader "Eindadvies beoordeling gras op zandbekledingen" [ref 16]. Bij de metingen op de Vechtdijk en IJsseldijk (helling tussen 1:3 en 1:4,5) is vastgesteld dat een (gesloten) grasmat een kleine faalkans heeft voor lage overslagdebieten.

De binnentaluds direct achter de grondwal aan de zuid- en westzijde (doorsneden 1 en 2) zijn minder steil dan getest op de Vechtdijk en IJsseldijk (hellingen respectievelijk 1:5 en 1:7). Wanneer hier door gericht

beheer een gesloten grasmat kan worden gegarandeerd hoeft de toplaag van deze doorsneden op de flauwe gedeelten direct achter de kruinverhoging hierdoor niet te worden vervangen om een 1 l/s per m overslagdebiet te kunnen weerstaan. Dit sluit ook aan op de eisen van OI2014 (zie Tabel 4-1). Voor doorsnede 3 (en de lage delen van het binnentalud bij doorsneden 1 en 2) is de helling van het binnentalud steiler dan getest op de Vechtdijk. Op deze locatie wordt wel een gerichte grondverbetering toegepast waarbij de toplaag wordt vervangen door erosie bestendige klei categorie A of B klei [ref 1] met een dikte van 0,50m en daarop een 0,3m dikke leeflaag.

De ophoging van de grondwal wordt ook uitgevoerd met erosiebestendige klei (categorie A of B). Bij kale plekken rondom bomen en begroeiing (daar waar een gesloten grasmat niet kan worden gegarandeerd, ongeacht beheer) dienen erosiebestendige maatregelen te worden genomen om zo erosie door overslag tegen te gaan (zie Figuur 5-1).



Figuur 5-1, Figuur 5-2: Kale plekken rondom boomspiegels (links profiel 3, rechts profiel 2)

5.1.3 Microstabiliteit binnentalud (STMI)

Microstabiliteit is het uitspoelen van gronddeeltjes door uitredend grondwater uit het binnentalud. Bij het hoogwater in de jaren 90 stond het peil in de binnengracht na verloop van tijd even hoog als de Maas (ongeveer NAP+ 15m). Volgens de beheerder van het Emerson college is bij één van de overstromingen van destijds instabiliteit van het binnentalud (helling ongeveer 1:2) opgetreden. Onbekend is bij welk peil in de gracht dit optrad. De situatie van destijds was om meerdere redenen gunstiger dan de toekomstige (ontwerp) situatie. De ontwerpwaterstand ligt nu hoger dan het destijds opgetreden Maaspeil, en het waterpeil in de binnengracht wordt in de ontwerpsituatie op NAP +13,50m begrenst door actief te bemalen tijdens hoogwater. Hiermee is het verhang in de ontwerpsituatie groter dan destijds, en dus ongunstiger. Als er destijds al sprake was van instabiliteit zal dat nu dus niet beter zijn. Op basis hiervan wordt geconcludeerd dat het binnentalud moeten worden aangepast en versterkt. Dit wordt ook bevestigd door een geotechnische berekeningen, zie bijlage 7. Met een 2-dimensionaal stationair grondwaterstromingsmodel is voor doorsnede 3 (noordzijde) aangetoond dat er sprake is van uitredend grondwater boven het beheerspeil in de gracht. Bij een 1:2 talud leidt dit tot uitspoeling van materiaal.

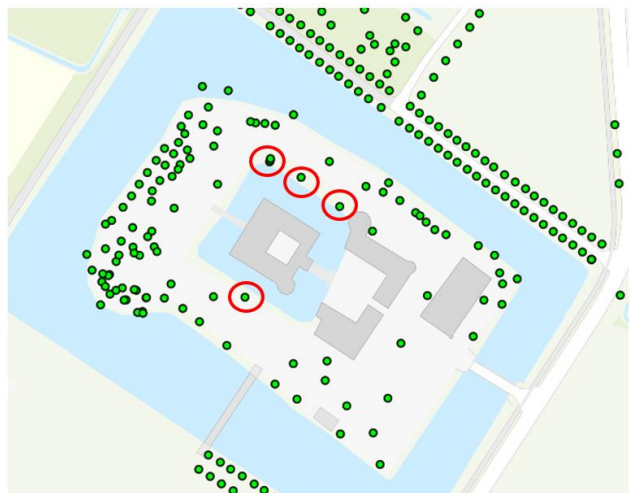
Zonder grote aanpassingen van de huidige vorm van de omwalling zijn in hoofdlijnen drie methoden om microstabiliteit te mitigeren: een filterconstructie (die grondwater doorlaat maar gronddeeltjes vasthoudt), een afdekkende kleilaag (dik genoeg om opdrukken ervan te voorkomen), en een scherm (verlagen van het uittredepunt van grondwater uit het talud).

De toepassing van schermen wordt zoveel mogelijk voorkomen om het risico op schade als gevolg van het inbrengen van de schermen te minimaliseren. Daarnaast is het geen duurzame maatregel. Een filterconstructie is moeilijk bestendig te maken tegen golfoverslag, en naar verwachting niet stabiel bij het gekozen overslagdebiet van 1 l/s/m en de 1:2 taluds. In het VO is daarom gekozen voor een kleibekleding op de steile delen van het binnentalud tot de dagelijkse beheerspeil (NAP +12,70m). Dit is

een robuuste maatregel en biedt ook weerstand tegen erosie als gevolg van overslaand water. De kleibekleding is aan de bovenzijde 0,5m en neemt naar beneden taps toe in dikte om opdrukken ervan te voorkomen. In het definitief ontwerp (op te stellen door de aannemer) wordt dit verder in detail uitgewerkt. Om de kleibekleding aan te kunnen brengen wordt het binnentalud afgegraven en opnieuw geprofileerd. Alle bomen op en nabij het binnentalud zullen moeten worden verwijderd, zie Figuur 5-3 en Figuur 5-4.



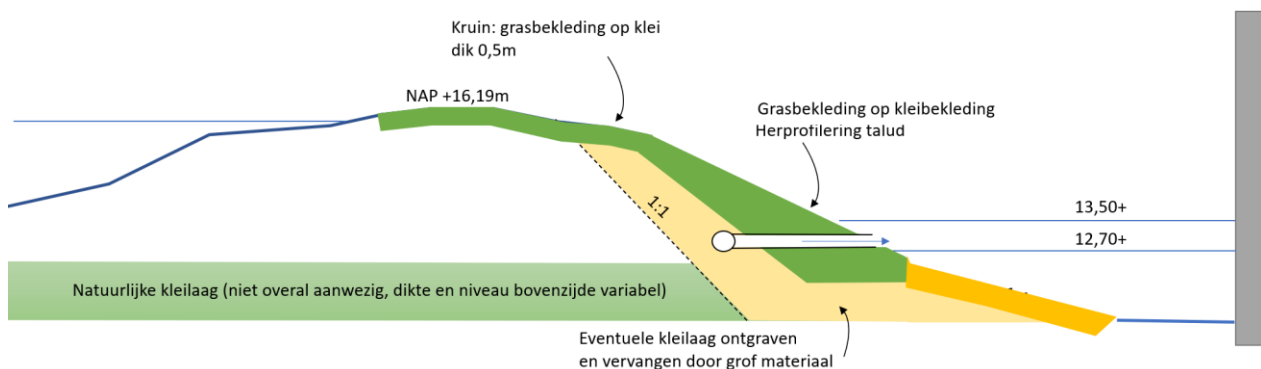
Figuur 5-3: Locatie waar een kleibekleding op het binnentalud wordt aangebracht



Figuur 5-4: Te verwijderen bomen op het binnentalud ten behoeve van het aanbrengen van een filterconstructie

5.1.4 Stabiliteit binnenwaarts (STBI)

Het huidige binnentalud van de omwalling ligt op ongeveer 1:2. Het meest kritische profiel is profiel 3 aan de noordzijde (zie Figuur 3-4). De omwalling is hier relatief smal en er is geen sprake van een binnenberm. Het maaiveld wordt hier ongeveer 20 á 30 cm opgehoogd. Omdat de taluds hier steil zijn wordt de hele kruin en binnenzijde “ingepakt” in de klei (zie 5.1.2). Aan de onderzijde zorgt de natuurlijke kleilaag ook voor een afdichting. Hierdoor zal de kern volledig verzadigd worden tijdens hoogwater. Zonder maatregelen resulteert dit in instabiliteit van het binnentalud (STBI), zie 5.1.4 en bijlage 10. Om deze reden is voorzien in het deels ontgraven van de natuurlijke kleilaag in combinatie met een drain die het water door de kleilaag op de binnengracht loost (zie Figuur 5-5). Of de drain ook daadwerkelijk nodig is zal in het DO moeten worden uitgezocht. In de voor dit VO uitgevoerde analyses (zie bijlage 7) was het uitgangspunt dat er zoveel openingen in de kleibekleding van het buitentalud zitten (om de bomen te sparen) dat de waterdruk in de zandkern gelijk is aan die van het buitenwater. Met dit uitgangspunt lijkt de drain als extra maatregel wel nodig.



Figuur 5-5: Oplossing doorsnede 2 met afdekkende kleilaag ter voorkoming van micro instabiliteit (STMI) en gras erosie binnentalud (GEBU). Om wateroverdrukken in de wal te voorkomen wordt de aanwezige kleilaag ontgraven en een drainagevoorziening aangebracht. Maatregelen buitentalud niet weergegeven.

Voor de profielen (1 en 2) is stabiliteit van het binnentalud minder kritisch en zal worden voldaan. Bij de profielen 4 en 5 is er geen binnentalud aanwezig. Voor de stabiliteitsberekeningen wordt verwezen naar Bijlage 10.

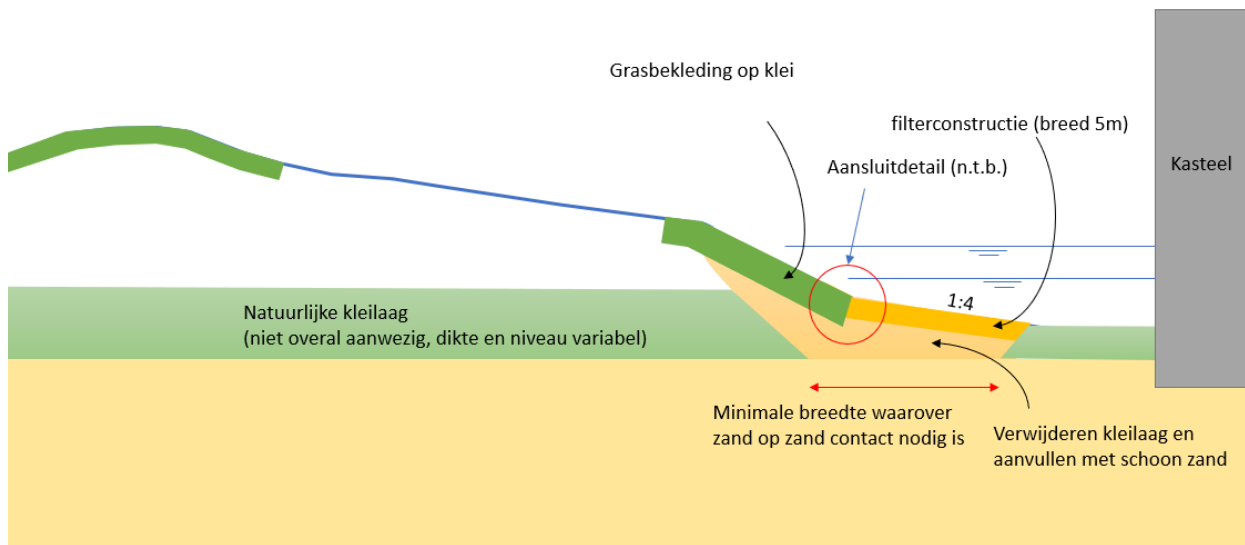
5.1.5 Heave grachtbodem

Als het waterpeil in de Maas stijgt en het gebied rondom het kasteel inundeert zal het water in de binnengracht snel volgen. Dit peil wordt echter op NAP +13,50m beheerst door actief te bemalen. In deze situatie zal er een grote hoeveelheid water door de dijk en door de ondergrond toestromen. Hoewel er een sliblaagje en mogelijk ook een dunne kleilaag op de grachtbodem ligt zal deze snel opbarsten. De gradiënten in de toplaag van het zand zijn vervolgens zo hoog dat er een grote kans is op drijfzand (heave) van de grachtbodem.

In deze situatie heeft de toplaag van het zandpakket geen sterkte meer en verliest het binnentalud de steun van het materiaal in de grachtbodem. Dit kan instabiliteit van het binnentalud introduceren, en uiteindelijk tot falen van de dijk leiden. Heave van de grachtbodem is getoetst (zie bijlage 7). De uitstroomgradiënten (verhang) zijn daartoe voor doorsnede 3 berekend in een grondwaterstromingsmodel met verschillende scenario's voor de grondopbouw van de omwalling. Uit de analyse blijkt dat er een grote kans is dat verweking van de grachtbodem op zal treden.

Heave kan worden voorkomen door toepassing van een heavescherm of een filterconstructie. Er is gekozen voor een filterconstructie zodat (zwaar) heiwerk op korte afstand van het kasteel wordt voorkomen. Bij een filterconstructie wordt de waterbodem ontgraven en de bodem wordt onder profiel gebracht. Het onderwatertalud wordt verflauwd tot maximaal 1:4. Hierop wordt een geotextiel aangebracht met daarop een ongeveer 0,50m dikke laag met grof materiaal. De breedte van de filterconstructie vanaf de oeverlijn (bij beheerspeil) wordt gekozen op maximaal 5m. Aan de zuidzijde waar de binnengracht het smalst is resteert dan nog circa 3m tot de gevel van het kasteel. Geadviseerd wordt om voorafgaande aan de ontgraving onderzoek uit te voeren om vast te stellen dat er op deze afstand van de gevel van het kasteel geen fundatie elementen aanwezig zijn. Ter plaatse van de toren (zuidoosthoek van het hoofdgebouw) is de binnengracht nog smaller; de inpassing van de filterconstructie op deze locatie is een aandachtspunt voor het DO.

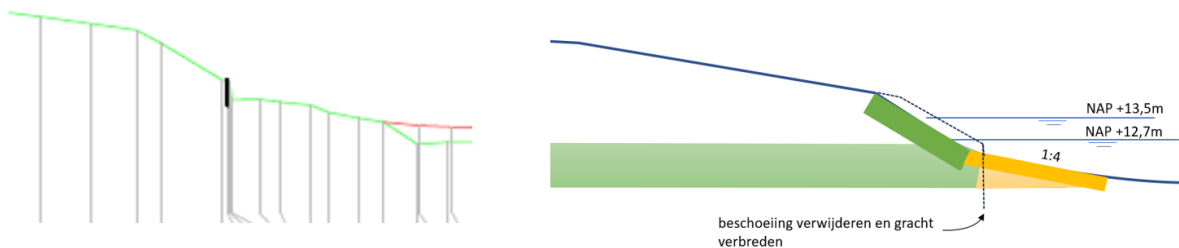
In Figuur 5-6 is aangegeven dat de aansluiting tussen het filter en de kleibekleding een belangrijk detail is. Op het contactvlak tussen klei en filter mag geen materiaal uittreden. Ook dient de stabiliteit en de werking van het filter niet door de kleibekleding te worden aangetast. Dit detail is in deze fase niet uitgewerkt.



Figuur 5-6: Principe-ontwerp filteroplossing bij Kasteelgracht Well

De werkzaamheden mogen niet leiden tot schade of verzakkingen van het kasteel en bijgebouwen. Verzakkingen kunnen optreden als gevolg van verlaging van het waterpeil in de gracht. In de jaren 60, na de ruilverkaveling, is het waterpeil in de gracht een periode laag geweest (NAP +11,8m) [ref 6]. In genoemde referentie wordt geen melding gemaakt van verzakkingen, wel dat de fundering bij dit niveau bloot komt te liggen. Op basis hiervan wordt geadviseerd de peilverlaging tijdens de uitvoering te beperken. De werkzaamheden moeten “in den natte” worden uitgevoerd.

In de huidige situatie is er een beschoeiing aanwezig. Deze wordt verwijderd. De filterconstructie sluit net onder de waterlijn, en zonder sprong aan op de kleibekleding van het binnentalud. Hiervoor kan een deel van het binnentalud worden ontgraven zoals aangegeven in onderstaande figuur.



Figuur 5-7: Huidige situatie binnengracht

Figuur 5-8: VO ontwerp aansluiting filterconstructie gracht op kleibekleding binnentalud (doorsnede 2)

5.1.6 Piping (STPH)

Voor de toets op piping wordt verwezen naar bijlage 8. Uit de analyse uitgevoerd in dit rapport volgt dat geen van de doorsneden voldoet op terugschrijdende erosie volgens de aangepaste Sellmeijer methode op de plekken waar er een natuurlijke kleilaag in de ondergrond aanwezig is. Uit het grondonderzoek blijkt dat deze kleilaag op verschillende plekken is aangetroffen. Daarom moet rekening worden gehouden met een pipingopgave ter plaatse van de dijk rond het Kasteel Well.

De in paragraaf 5.1.5 beschreven filterconstructie ter voorkoming van heave is ook een effectieve anti-pipingmaatregel, als deze wordt gecombineerd met het lokaal verwijderen van de kleilaag (zie Figuur 5-6). De maatregel is dus een integrale oplossing voor meerdere fenomenen.

Het onderbreken van een eventuele natuurlijke kleilaag over een lengte van minimaal 5m voorkomt dat er doorgaande horizontale pijpvorming kan optreden vanuit een zandmeevoerende wel in de grachtbodem. Een erosiepijp zal namelijk alleen in stand blijven onder een cohesieve laag. Het wordt onwaarschijnlijk geacht dat er zich een erosiepijp kan vormen in zand zonder substantiële verstoringen over een afstand van 5m.

Het ontwerp is op schetsniveau uitgewerkt. In een vervolgfase dient risico-gestuurd te worden gekeken naar mogelijke afwijkingen in de realisatie- en beheerfase en het effect daarvan op het functioneren van de constructie. Op deze wijze kunnen vervolgens passende beheersmaatregelen (uitvoering en beheer) worden geformuleerd.

5.1.7 Stabiliteit buitenwaarts (STBU)

Het huidige buitentalud van de omwalling ligt gemiddeld op circa 1:2. Lokaal in het dwarsprofiel is het talud veelal steiler, in enkele gevallen steiler dan 1:1 (zie Figuur 5-9). Uit stabiliteitsberekeningen blijkt dat de macrostabiliteit van het buitentalud bij een profiel zelfs met lokaal steile taluds voldoet wanneer er geen waterstandsverschil is tussen de buitenwaterstand en de freatische lijn in de dijk onder het buitenbeloop aanwezig is. Bij een vallende buitenwaterstand kunnen deze steile taluds instabiel worden en treden lokale glijvlakken op. Verkennende berekeningen geven aan dat deze maatgevende glijvlakken bij een val na hoogwater lokaal zijn en niet insnijden in de kruin van de kering. Gezien de breedte van de waterkering zal er na een oeverval nog voldoende restbreedte aanwezig zijn om overstroming bij de vallende buitenwaterstand te voorkomen. Een voorwaarde is wel dat het beheer zo wordt ingericht dat oevervallen tijdig worden opgemerkt en worden hersteld voordat het volgende hoogwater zich aandient. Zonder goed beheer zal de reststerkte ten aanzien van macrostabiliteit en erosie afnemen en wordt het overstromingsrisico mogelijk onbeheersbaar. De afweging hoe om te gaan met het risico op een oeverval is dus sterk afhankelijk van de beheers-inspanning.

Op de zeer steile stukken is (maai)beheer van de grasbekleding lastig en tijdrovend. Om beheerinspanningen te beperken en vergemakkelijken wordt het buitentalud onder profiel gebracht waar dit geen schade toebrengt aan de bomen die behouden moeten worden. Het in profiel brengen is niet noodzakelijk aan de westzijde van het kasteel.



Figuur 5-9: Steile buitentaluds aan de noordzijde (links) en zuidzijde (rechts) van de omwalling

5.1.8 Erosie buitentalud (GEBU)

Het buitentalud staat bloot aan golfaanval en stroming, zie paragraaf 4.4. Golfhoogte is aan de westzijde maximaal ongeveer 0,45m en aan de andere zijde beperkt tot maximaal ongeveer 0,30m. Stromingen zijn aanzienlijk aan de noordzijde (tot 1 m/s) en aan de zuidoostzijde (maximaal 2 m/s, zie Figuur 4-1). Onder

invloed van deze hydraulische belastingen kan de omwalling eroderen. De buitenbekleding moet hier weerstand aan bieden.

De omwalling is heterogeen maar overwegend zandig en er is geen kleibekleding op de taluds aanwezig. Op sommige locaties is er een grasmat aanwezig maar die is van onvoldoende kwaliteit, onder andere door schaduwrijke plekken, zeer steile taluds en huidig maaibeheer. De omstandigheden zijn in het algemeen niet gunstig voor het creëren en in stand houden van een goede grasbekleding. De aanwezigheid van de vele bomen maakt dat het buitentalud (dat nu niet strak onder één taludhelling ligt, en lokaal zeer steil is) op veel plekken niet onder technisch profiel kan worden gebracht zonder blijvende schade aan deze bomen. Daarnaast is er sprake van schaduw en bladval.

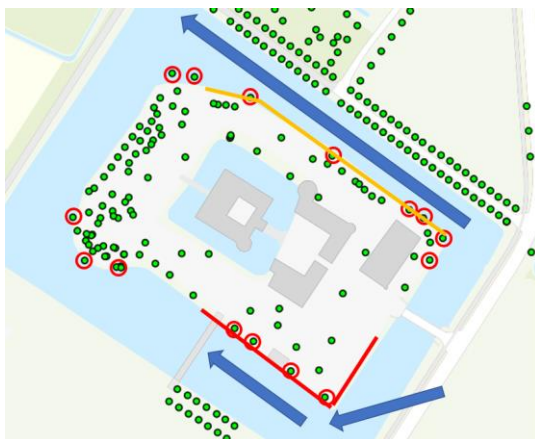
Op locaties waar dit mogelijk is (buiten het invloedsgebied van de bomen) wordt het talud onder profiel gebracht waarbij een taludhelling flauwer dan 1:2 wordt nagestreefd. De steile stukken worden hierbij afgevlakt. Bomen op de waterlijn of laag in het talud worden aan de noord en zuidoostzijde verwijderd, zie rode cirkels in onderstaande figuur.

Stroming

Aan de noordzijde (oranje strekking van onderstaande figuur) zijn de stroomsnelheden hoog maar met een goed ontwikkelde grasbekleding is het risico op erosie klein. Buiten het invloedsgebied van de bomen wordt het talud geherprofileerd. Er wordt een 0,5 dikke kleilaag aangebracht (categorie A/B) met daarop 30cm leeflaag.

Aan de zuidoostzijde (rode strekking in onderstaande figuur) zijn de stroomsnelheden zo hoog dat een grasbekleding op zand niet zal voldoen (zie ook bijlage 11). Als maatregel wordt hier een gras op 0,8m dikke kleibekleding gekozen (categorie A klei, zie [ref 1]), met daarop een 0,30m dikke leeflaag. Eventuele erosie na hoog water dient direct te worden hersteld. Alternatieven met harde bekleding passen niet in het landschappelijke beeld zijn om deze reden verworpen.

Voor zowel de noord als de zuidoostzijde geldt dat er ter plaatse van de waardevolle bomen, binnen het invloedsgebied van de boom, lokaal geen kleibekleding aangebracht. Tijdens hoogwater wordt de grond op deze plekken vastgehouden met krammatten. Het aantal plekken waar dit nodig is moet tot een minimum worden beperkt. De aan de houden afstand tot de bomen is locatie,- en boomafhankelijk en is voor uitwerking is het DO.



Figuur 5-10: Te verwijderen bomen laag in het talud (rood omcirkeld). Integrale herprofilering en aanbrengen kleibekleding buitentalud (rode en oranje lijn). De blauwe pijlen geven de locaties aan met grote stroomsnelheden.

Figuur 5-11: Betonnen element

Aan de zuidzijde bevindt zich een betonnen element in de buitengracht. De stroomsnelheden zijn ter plaatse van dit object voor een groot deel uitgedempt, echter het object kan bij hoog water voor wervelingen en versnellingen zorgen. Dit kan erosie benedenstrooms tot gevolg hebben. Om de monumentale eiken benedenstrooms van het betonnen object te sparen wordt geadviseerd het element te verwijderen. De monumentale trappartijen in de taluds kunnen wel behouden blijven.

Golfaanval

Aan de westzijde en zuidwestzijde staan zoveel bomen dat een grondverbetering niet mogelijk is. Voor deze locaties is onderzocht in hoeverre het talud als gevolg van golfaanval zal eroderen, en of er voldoende buffer aanwezig is om falen van de kering te voorkomen, zie bijlage 11. Uit de berekeningen blijkt dat er bij maatgevende condities en wind uit westnoordwest afslag zal optreden maar dat er voldoende buffer resteert waardoor inundatie in dit scenario niet kan optreden. Deze analyse rechtvaardigt het handhaven van de bomen aan de westzijde. Er worden in dit gedeelte geen inspanningen verricht aan het buitentalud.

5.2 Analyse van overige faalmechanismen en maatregelen

Voor de hierboven beschreven mechanismen is afzonderlijk faalkansruimte gereserveerd, zie [ref 2]. Voor de overige mechanismen is een post van 30% faalkansruimte opgenomen. Voor het kasteel vallen hieronder:

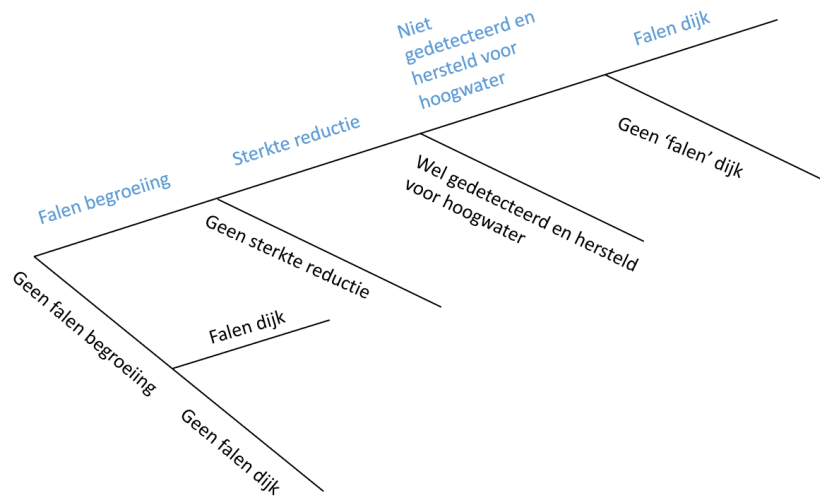
- het falen van begroeiing (windworp);
- het falen ten gevolge van dierlijke graverij;
- het falen van de bemaling;
- het falen van niet waterkerende objecten zoals de duiker en de riolering, en de keermuur van de brug aan de westzijde;
- falen door nog niet gedefinieerde omstandigheden.

Deze faalmechanismen worden hierna beschreven.

5.2.1 Risico begroeiing (windworp)

5.2.1.1 Bestaande bomen

Het falen van de aanwezige begroeiing is in deze rapportage gedefinieerd als het omwaaien van de bomen zodanig dat er sprake is van ontworteling en er een kluit wordt meegenomen. In de verdere tekst wordt dit aangeduid als windworp. Voor de toets op windworp is in eerste instantie de “eenvoudige toets” van het toets spoor NWO (WBI2017, appendix III) gevolgd. De geplande situatie voldoet niet aan deze toets. Bij de toets op maat is de ontgrondingskuil als scenario meegenomen in de modelschematiseringen voor de verschillende directe faalmechanismen (zie bijlage 12). De generieke gebeurtenissenboom (‘faalpaden’) in [ref 13] dient als basis voor alle verdere beschouwingen en vormt hiermee de basis van het voorgestelde veiligheidsraamwerk.



Figuur 5-12: Generieke gebeurtenissenboom voor het beoordelen van een waterkering met invloed van een ontwortelde boom en beschouwing van de gelijktijdigheid van windworp en hoogwater (bron: Veiligheidsraamwerk [ref 13] en aangepast voor begroeiing)

De kans op een overstroming is het product van de kans op het falen van de begroeiing (windworp), de conditionele vervolgcans op hoogwater vóórdat de schade door windworp hersteld is en de conditionele vervolgcans op falen van de dijk ten tijde van dit hoogwater met een overstroming als gevolg. Deze kansen zijn in bijlage 12 gekwantificeerd.

Uit de analyse blijkt dat een faalkansruimte van 1% uit de post “overige mechanismen” voldoende is als er sprake is van 1 boom binnen een bezwijken doorsnede. Als er meer bomen in een doorsnede staan zal de doorsnede rekenkundig is een faalkansruimte van 3% nodig.

Met bovengenoemde deels kwantitatieve en deels kwalitatieve analyse is aangetoond dat het risico op het falen van de dijk als gevolg van windworp kan worden beheerst. De analyse bevat een aantal aannamen maar deze zijn over het algemeen conservatief ingeschat. Een belangrijke conclusie is dat er een groot deel van het risico kan worden beheerst als er een goed beheersplan is waarbij zieke en instabiele bomen worden verwijderd, en schade als gevolg van ontwortelde bomen snel wordt opgemerkt en tijdig wordt hersteld. De inrichting van de omwalling dient hiervoor de faciliteiten te bieden.

Ook als bomen niet omwaaien is er een kans op vervolgschade door hun aanwezigheid. In algemene zin kunnen wortelresten van oude bomen de doorlatendheid van de kering verhogen. Omdat de kering uit van zand is opgebouwd en daardoor al zeer doorlatendheid is het effect hiervan naar verwachting gering. Het grootste risico van de aanwezigheid van bomen is het effect ervan op de grasmat. Schaduwwerking kan de ontwikkeling van een goede grasmat bemoeilijken, evenals vallende takken en bladeren. Dit risico is in paragraaf 5.1.8 beschreven.

5.2.1.2 Nieuw te plaatsen begroeiing

Voor de inrichting van de omwalling als landschapstuin is er de wens struiken te plaatsen op de kruin en het binnentalud van de nieuwe grondwal. Vanuit waterveiligheid is dit niet wenselijk omdat er in de schaduw van de begroeiing geen grasmat kan groeien en dit de bestendigheid tegen erosie zal reduceren. Als de begroeiing wordt aangebracht op de plek waar een kleibekleding nodig is, kan deze verdiept worden aangebracht waarbij er minimaal 0,5m gronddekking wordt gegarandeerd.

5.2.2 Risico van dierlijke graverijen

Op het terrein van de omwalling zijn bevers actief. Er zijn graverijen aangetroffen en er is schade aan bomen. De aanwezigheid van bomen en water zal mogelijk ook andere dieren aantrekken. De kans op overschrijding van de faalkanseis voor dierlijke graverijen is in bijlage 13 getoetst volgens de systematiek zoals beschreven in het veiligheidsraamwerk dierlijke graverijen uit 2022 [ref 13]. De systematiek komt overeen met de toets op windworp (zie 5.2.1). In eerste instantie is hierbij alleen gekeken naar schade door bevers. Bevers creëren in vergelijking tot andere dieren relatief veel schade. De gedachte is dat op deze wijze ook falen als gevolg van andere dierlijke graverijen wordt beheerst.

Uit de analyse blijkt dat een faalkansruimte van 1% tot 7% nodig is uit de post “overige mechanismen”. De analyse is overwegend kwalitatief en heeft een grote mate onzekerheid, maar toont wel aan dat het risico van graverij door met name bevers kan worden beheerst. De analyse bevat een aantal aannamen maar deze zijn over het algemeen conservatief ingeschat. Een belangrijke conclusie is dat er een groot deel van het risico kan worden beheerst als er een goed beheersplan is waarbij graverijen tijdig worden opgemerkt en hersteld. De inrichting van de omwalling dient hiervoor de faciliteiten te bieden.

5.2.3 Risico op het falen van de bemaling

Tijdens hoogwater wordt de binnengracht actief bemalen. De drie belangrijkste oorzaken voor het falen van het pompsysteem zijn: het niet tijdig op locatie zijn van de pompen, een niet tijdige reparatie van een defect aan de pompen en stroomuitval. Omdat de risico's zo evident zijn (gezien de directe gevolgen van falen) zijn deze niet gekwantificeerd, maar wordt in deze fase van het ontwerp ingezet op maximale redundantie. De beheersmaatregelen voor de drie genoemde primaire faaloorzaken zijn navolgend kort beschreven.

Gezien de directe gevolgen, is het niet tijdig beschikbaar hebben van de pompen een groot risico. Om dit risico te mitigeren dient het pompsysteem permanent op het terrein van de omwalling aanwezig te zijn, als vaste opstelling (gemaal) of in een tijdelijke opstelling waarbij de pompen op het kasteelterrein worden opgeslagen.

Een defect van één van de pompen zal al snel tot schade (falen van de kering) leiden. Als de pomp faalt bij hoge waterstanden is er nog maar enkele uren reparatietijd beschikbaar voordat er inundatie optreedt. Het kasteelterrein is dan niet meer bereikbaar dus pompen kunnen niet makkelijk worden vervangen.

Gezien de directe gevolgen is het risico van pompuitval zeer groot. Om dit risico te mitigeren moet er een extra pomp op het terrein beschikbaar zijn.

Het bovenstaande geldt ook voor stroomuitval tijdens hoogwater. Om dit risico te mitigeren moet er altijd een noodstroomvoorziening op het terrein beschikbaar zijn bestaande uit een aggregaat met brandstof.

Er zijn meer risico's te benoemen in relatie tot het pompsysteem. Deze vallen buiten de scope van dit voorontwerp, en zullen bij het ontwerp van het pompsysteem en in een calamiteitenplan verder moeten worden uitgediept.

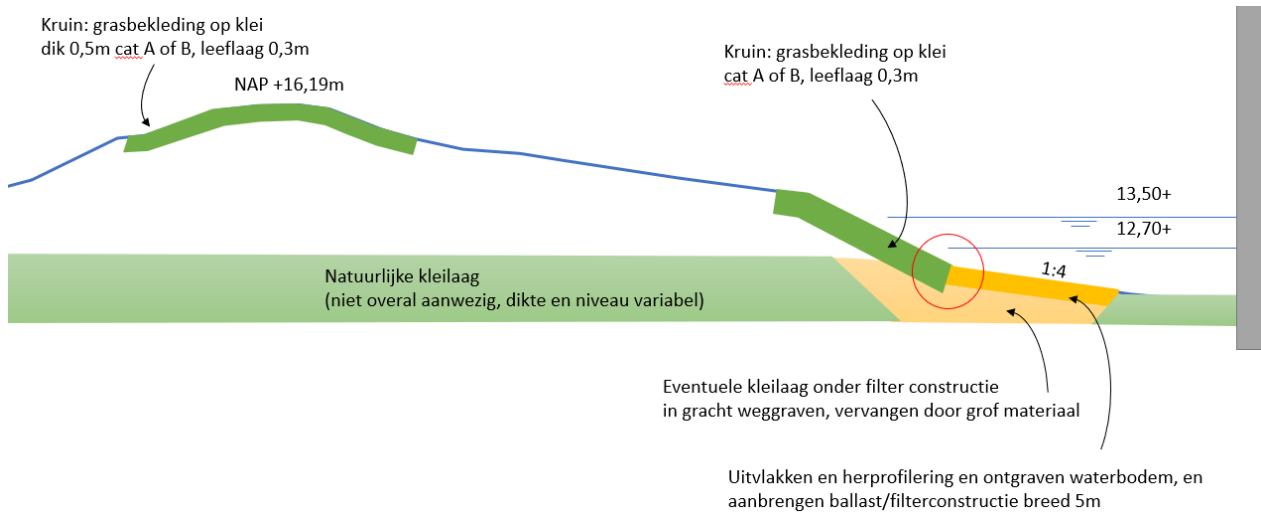
5.3 Samenvatting maatregelen groene kering

Onderstaande tabel geeft samenvattend overzicht van de maatregelen die in het ontwerp kunnen worden opgenomen om de faalmechanismen te mitigeren.

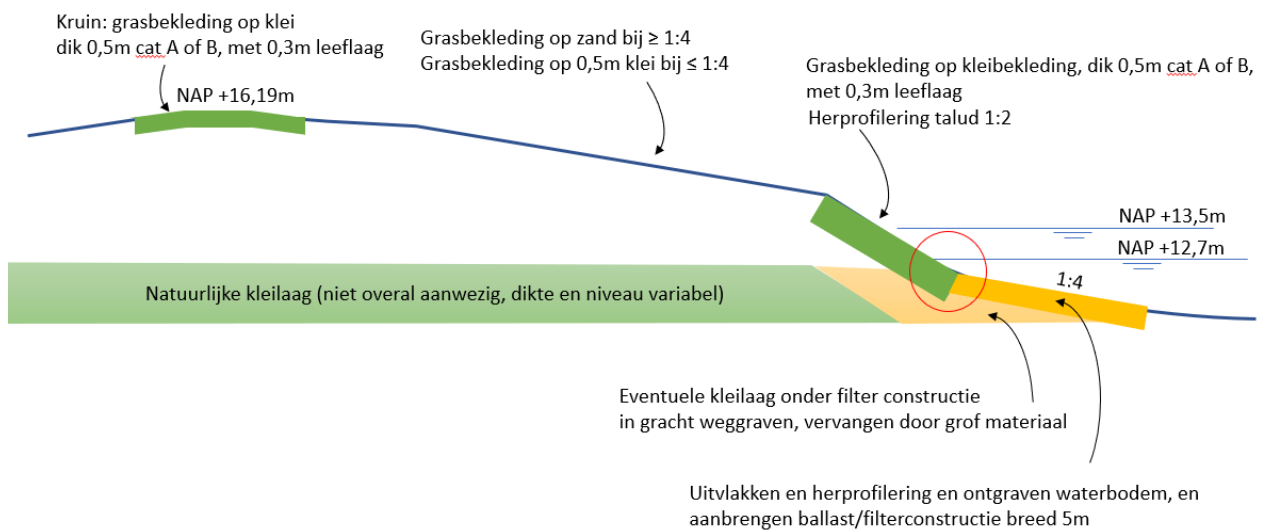
Tabel 5-1: Overzicht maatregelen voor de verschillende bezwijkmechanismen en gebeurtenissen

Mechanisme	Maatregel
Hoogte	- Het verhogen van de omwalling - Lokaal: constructie en coupure
Stabiliteit binnenwaarts (STBI)	- Positioneren van de ophoging - Aan noordzijde: grondverbetering en aanbrengen drain voorziening
Erosie kruin en binnentalud (GEKB)	- Voor de ophoging (kruin): aanbrengen van een grasbekleding op een kleilaag op aan te brengen grondwal (ophoging) - Voor de steile delen van de binnentaluds: aanbrengen van een grasbekleding op een kleilaag op aan te brengen grondwal (ophoging) - Rondom/onder bestaande bomen op de binnenberm: werken met krammatten tijdens hoogwater - Beheersplan: goed maaibeheer
Verweking binnengracht (STPH)	- Het verwijderen van de kleilaag/sliblaag in de binnengracht - De herprofilering van de grachtbodem - Het aanbrengen van een filterconstructie op de grachtbodem - Verwijderen van de beschoeiing
Micro-stabiliteit binnentalud (STMI)	- Het verwijderen van de bomen op het binnentalud en het onder profiel brengen - Het aanbrengen van een grasbekleding op een dikke kleilaag op het steile deel van het binnentalud
Piping	- Het verwijderen van de kleilaag/sliblaag in de binnengracht - De herprofilering van de grachtbodem - Het aanbrengen van een filterconstructie op de grachtbodem - Kleilaag in binnenteen gedeeltelijk weggraven en vervangen door grof materiaal
Stabiliteit buitenwaarts (STBU)	- Waar mogelijk: het uitvlakken en onder profiel brengen van het buitentalud. - Beheersplan, tijdig herstel van oeverval
Erosie buitentalud (GEBU)	- Aan noord en zuidoostzijde: het uitvlakken en onder profiel brengen van het buitentalud en aanbrengen van een grasbekleding op een 0,5 tot 0,8m dikke kleilaag. - Verwijderen betonnen object zuidzijde buitengracht. - Beheersplan: goed maaibeheer - Waar niet mogelijk: - Rondom/onder bestaande bomen op het buitentalud: werken met krammatten tijdens hoogwater - Toestaan erosie en beheersplan voor tijdig herstel van erosie.
Windworp	- Het verwijderen van zieke bomen, scheefstaande bomen, bomen die geen landschappelijke of cultuurhistorische (meer)waarde hebben. - Beheersplan: goed onderhoud aan de bomen, tijdig herstel van ontgrondingen
Graverijen	- Het inventariseren, uitgraven van bestaande beverholen en opvullen met zand. - Beheersplan: tijdig herstel van ontgrondingen
Inundatie	Waterdicht maken fitnessruimte

Alleen voor intern gebruik

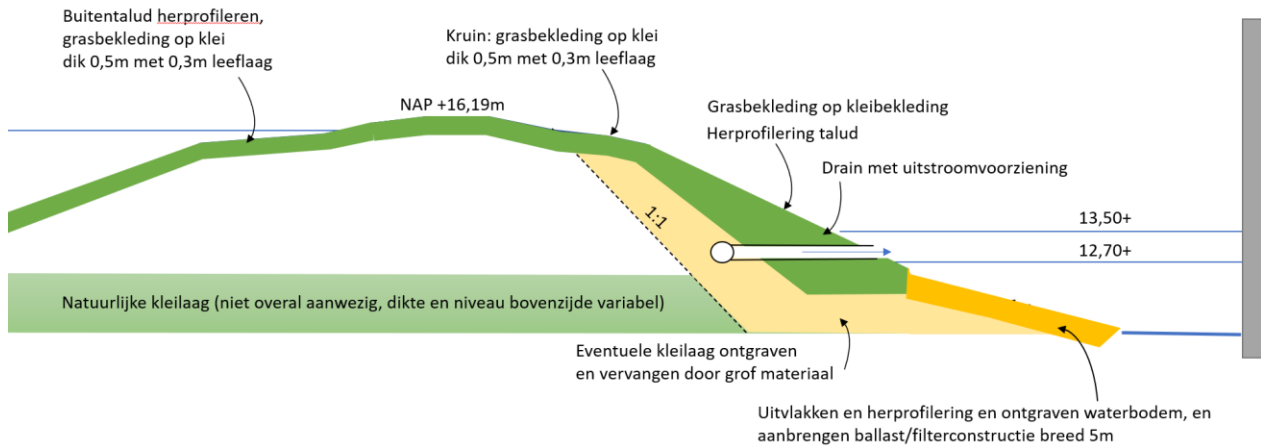


Figuur 5-13: Maatregelen doorsnede 1 (zuidzijde)

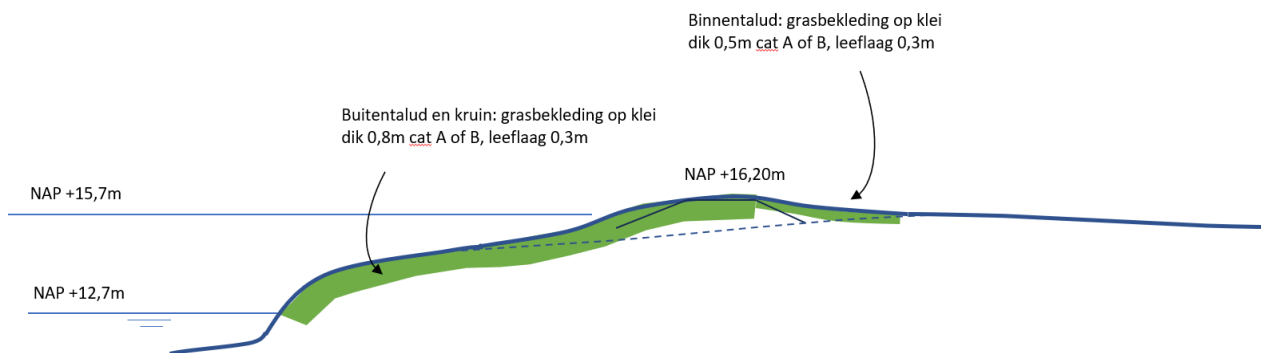


Figuur 5-14: Maatregelen doorsnede 2 (westzijde). In buitentalud geen maatregelen.

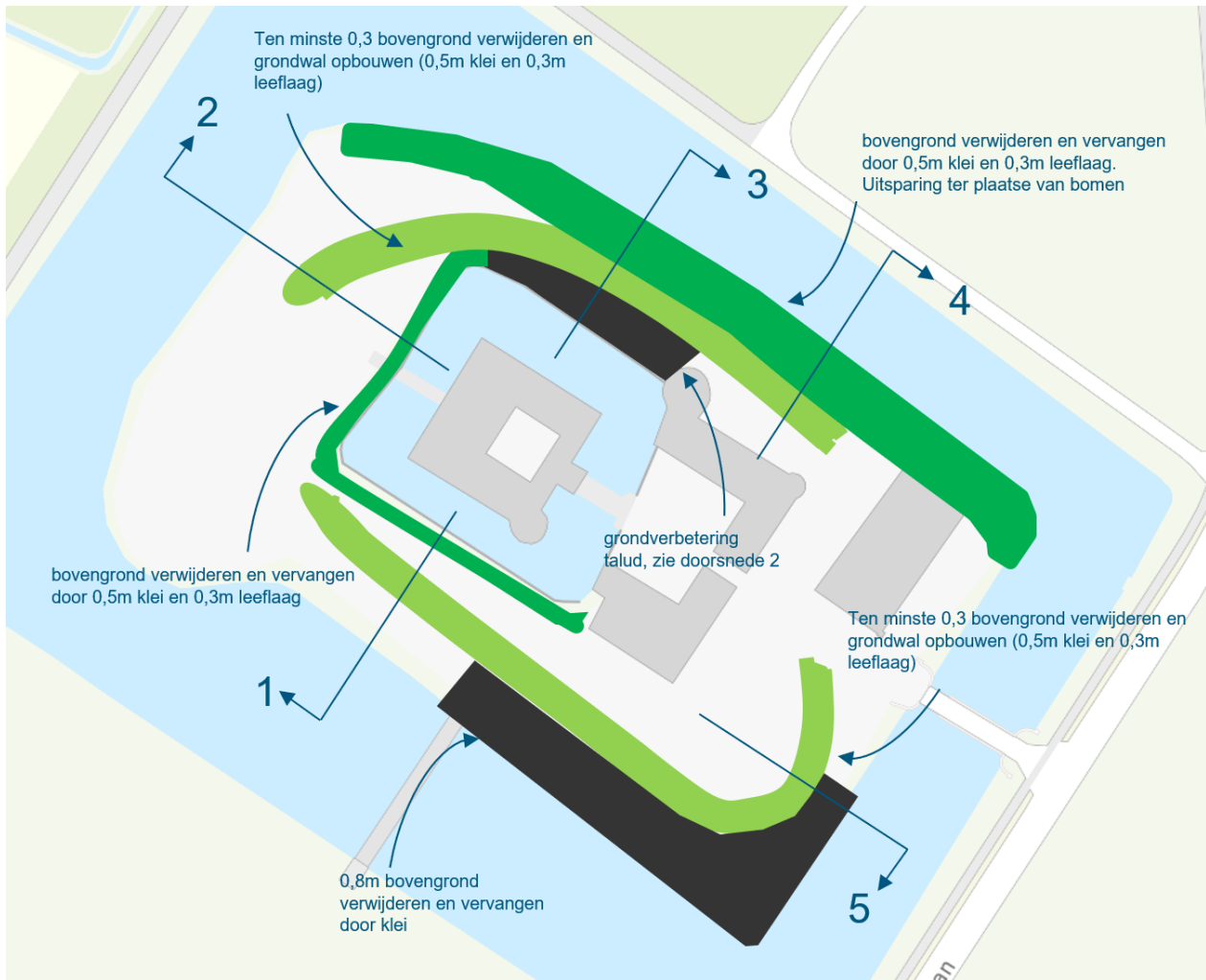
Alleen voor intern gebruik



Figuur 5-15: Maatregelen doorsnede 3 (noordzijde, smalle deel langs binnengracht)



Figuur 5-16: Maatregelen doorsnede 5 (westzijde)



Figuur 5-17: Locatie grondverbeteringen

6 Voorlopig ontwerp bemaling

6.1.1 Algemeen

Tijdens hoogwater wordt de binnengracht actief bemalen. Het doel van de bemaling is om het waterpeil in de binnengracht te beheersen zodanig dat de lage delen van het kasteel bij hoog water niet inunderen en de bedrijfsvoering door kan gaan. Het benodigde pompdebiet is maximaal 860 m³/uur uitgaande van een overslagdebiet van 1 l/s/m (zie Tabel 4-2).

Er zijn twee systemen mogelijk: een vaste opstelling (gemaal) of een tijdelijke pompopstelling. Bij een gemaal zullen de pompen en leidingen ondergronds in de omwalling worden weggewerkt. Bij de tijdelijke pompopstelling worden de mobiele pompen en aan- en afvoerbuizen ergens op het terrein van het kasteel opgeslagen, en voorafgaand aan hoog water naar de pomp opstellocatie vervoerd.

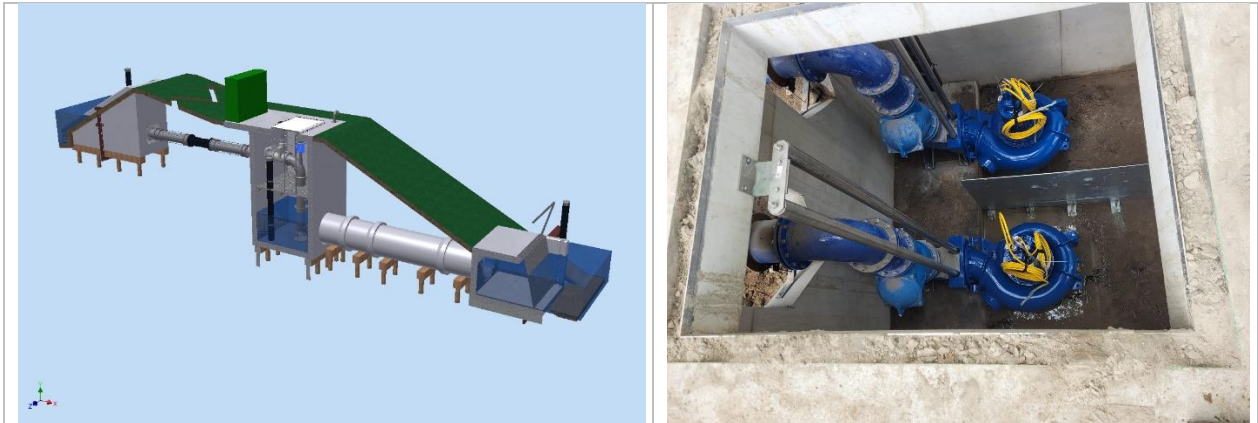
Bij beide opstellingen zijn er noodstroomvoorzieningen nodig, en bij beide opstellingen is er permanent extra pompcapaciteit beschikbaar om het risico van pompuitslag te reduceren (zie 5.2.3).

Beide systemen worden navolgend beschreven en afgewogen, waarna een voorkeursoplossing wordt gekozen.

6.1.2 Afweging gemaal versus tijdelijke pompopstelling

Een gemaal wordt in de omwalling onder de grond weggewerkt. De constructie bestaat waarschijnlijk uit 1 of meer putten waarin de pompen en de afsluiters zijn opgenomen. De put wordt via leidingen verbonden met de instroombak (binnengracht), en een uitstroombak (buitengracht), zie Figuur 6-1. De in- en uitstroombakken zijn zichtbaar maar kunnen in een oude stijl worden afgewerkt zodat er geen beton zichtbaar is. Aan de uitstroomzijde moeten voorzieningen worden getroffen om erosie van buitentalud en bodem als gevolg van het spuien te voorkomen. Aan de bovenzijde is alleen een toegangsluik zichtbaar. Dit luik is nodig om de pompen te kunnen bereiken voor inspectie en onderhoud. De bedieningskast staat bij gemalen vaak bovengronds maar kan hier op afstand van het gemaal staan zodat deze geen verstorend element is in de kasteeltuinen. Het aggregaat voor de noodstroom kan in de huidige opslagloods, diesel (ca. 2 m³) kan in een ondergrondse opslagtank op een nader te bepalen locatie.

Het voordeel van een gemaal is dat deze zonder voorbereidende werkzaamheden kan worden aangezet. Als het gemaal actief is heeft het geen impact op de bedrijfsvoering van het kasteel. Het nadeel van een gemaal zijn de kosten. Hierbij wordt wel opgemerkt dat kosten voor het vervangen van ongeveer 70 jaar oude duiker kunnen worden uitgespaard (het gemaal vervangt de duiker), en er geen kosten nodig zijn voor de bouw van een opslaglocatie zoals bij een tijdelijk pompsysteem. Een ander nadeel is potentiële impact op cultuurhistorie omdat er voor de bouw van het gemaal aanzienlijke graafwerkzaamheden nodig zijn. Door de plek van het gemaal goed te kiezen kan dit nadeel echter grotendeels worden ondervangen (zie ook paragraaf 6.1.3).



Figuur 6-1: Voorbeelden vaste pompopstelling (Goede Diep en Kanaalweg, Vopo pompen)



Figuur 6-2: Voorbeelden tijdelijk pompsysteem

Een tijdelijke pompopstelling bestaat uit elementen (mobiele pompen, slangen) die voorafgaande aan hoogwater worden opgesteld. Een logisch plek hiervoor is de binnenplaats van de Voorburcht. Van daaruit worden de slangen aangebracht en verbonden met de buitengracht. Er zijn verschillende pompsystemen beschikbaar. Figuur 6-2 laat een voorbeeld zien van een systeem waarbij de pompunits in de binnengracht worden gezet.

Een tijdelijk pompsysteem heeft een aanzienlijk groter risico op “falen” van het systeem dan een permanente opstelling omdat er voorafgaande aan het hoog water veel handelingen nodig zijn. Falen van het pompsysteem is een top risico voor de waterveiligheid van het kasteel en zal direct leiden tot inundatie. Om het risico van een niet tijdige aanvoer uit te sluiten moeten de pompen permanent op het terrein aanwezig zijn. Voordat de coupure dichtgaat wordt er een vrachtwagen en kraan aangevoerd om de pompen van de opslaglocatie naar de opstellocatie te transporteren. De huidige opslagloods voorziet niet in het opslaan van de pompen (inclusief de noodpomp) en de slangen. In het geval van een tijdelijk pompsysteem moet er een nieuw gebouw op het kasteelterrein komen voor de opslag van deze elementen.

Naast het grotere risico op inundatie van het kasteel heeft een tijdelijk pompsysteem het nadeel dat het een aanzienlijk grotere beheer inspanning vergt van het Emerson college. Het college is hier niet op ingericht zoals een waterschap dat is. Bij elk hoogwater, naar verwachting ongeveer eens per 5 jaar, is er een operatie nodig om het pompsysteem operationeel te krijgen. Als er iets misgaat zijn er niet direct specialisten beschikbaar om het probleem op te lossen. Een ander groot nadeel is het geluid van de draaiende pompen op de binnenplaats. Dat zal impact gaan hebben op de continuïteit van de lessen (bedrijfsvoering).

Onderstaande tabel geeft een overzicht van de voor, - en nadelen van beide systemen op een aantal onderscheidende criteria. Op basis van een integrale afweging waarbij hoogwaterveiligheid en beheerbaarheid doorslaggevend zijn is gekozen voor een vast pompsysteem.

Tabel 6-1: Trade-off pompsysteem

Onderscheidende criteria	Vaste pompopstelling (gemaal)	Tijdelijke pompopstelling	Toelichting score
Hoogwaterveiligheid	+	-	Bij tijdelijk: extra handelingen waardoor risico (mobilisatie vrachtwagen en kraan, transport en inrichten pomplocatie)
Ruimtelijke kwaliteit en cultuurhistorie	+	-	Bij tijdelijk: opslaglocatie (pompen en slangen) en verharde weg nodig op kasteelterrein Bij gemaal: impact op cultuurhistorie door ontgravingen
Duurzaamheid	-	+	Bij gemaal: de bouw vraagt meer grondstoffen en meer uitstoot Bij tijdelijk: operationeel vraagt meer uitstoot
Beheerbaarheid en onderhoud	+	-	Bij tijdelijk: grotere beheer inspanning bij hoog water vraagt veel van het Emerson college
Bedrijfsvoering kasteel	+	-	Bij tijdelijk: geluidsoverlast tijdens bemalen
Kosten	-	+	Bij gemaal: duur pompgemaal Bij tijdelijk: operationele kosten, kosten nieuwe opslaglocatie en eventuele vervanging van de duiker

6.1.3 Voorkeurslocatie gemaal

Het gemaal verbindt de binnengracht met de buitengracht. De belangrijkste randvoorwaarden bij de keuze van de locatie zijn:

- het gemaal wordt ingepast in het landschap waarbij waardevolle begroeiing wordt gespaard;
- de bouw van het gemaal heeft geen impact op de constructie van het kasteel;
- de bouw van het gemaal heeft een minimale verstoring van de ondergrond;
- het gemaal kan met een onderhoudsvoertuig worden bereikt;
- de locatie leidt niet tot excessieve kosten (maakbaarheid en lengte).

Dit resulteert in een voorkeurslocatie ter plaatse van de huidige duiker aan de noordzijde van de binnengracht. De cultuurhistorische impact op de bodem is hier relatief beperkt omdat de ondergrond boven de duiker al is verstoord door van de bouw van de duiker in de vorige eeuw. Daarnaast zijn er op deze locatie sowieso aanzienlijke graafwerkzaamheden benodigd aan het binnentalud (zie Figuur 5-15). De impact van graaf- en/of heiwerkzaamheden op voorburcht en hoofdgebouw moeten in de volgende ontwerpfase worden onderzocht. Op deze locatie is het waarschijnlijk niet nodig om extra bomen te verwijderen om de bouw van het gemaal mogelijk te maken. Het gemaal kan worden bereikt via de te bouwen poort in bij de huidige parkeerplaats. Op deze locatie is de omwalling het smalst, wat gunstig is voor de kosten.

7 Voorlopig ontwerp constructies

De waterkering op het kasteelterrein zal naast groene keringen in grond ook bestaan uit enkele constructies. Deze worden hieronder toegelicht (par. 7.1) en vervolgens (in par. 7.2) wordt het ontwerp ervan besproken aan de hand van de bepalende faalmechanismen. In par. 7.3 wordt de omvang met enkele niet-waterkerende constructies besproken.

7.1 Waterkerende constructies

Zoals in hoofdstuk 1 aangegeven zijn op het kasteelterrein in het Voorkeursalternatief de volgende waterkerende constructies voorzien, zie Figuur 7-1:

- nieuwe muur tussen coupure en kering in grond;
- coupure toegang kasteel;
- gevel van de tiendschuur;
- bestaande muur;
- nieuwe muur langs de parkeerplaats
- demontabele kering in verlengde van muur parkeerplaats

De locatie van deze constructies is in de oosthoek van het kasteelterrein. De constructies sluiten op elkaar aan.



Figuur 7-1: Locatie constructies Voorkeursalternatief Verkenningfase

Figuur 7-2: Locatie constructies Voorontwerp

7.1.1 Afwijking Voorontwerp van Voorkeursalternatief

Zie Figuur 7-1 en Figuur 7-2. In het voorkeursalternatief van de verkenningfase is er sprake van een demontabele kering langs de Voorburcht om uitzicht te houden vanuit de laag gelegen ruimtes van de Voorburcht. In het voorontwerp wordt hiervan met instemming van het Emerson college en het RCE afgeweken en wordt de groene grondwal doorgezet tot aan de parkeerplaats (zie 7.1.6). Hiervoor is een extra muur nodig die aansluit op de bestaande muur langs de parkeerplaats. Een belangrijke reden voor deze aanpassing is een landschappelijke; een glooiend graslandschap met vloeiende paden is de essentie van de Engelse landschapsstijl waarin de kasteelwal is en wordt aangelegd. Een lange rechte

strip zou het glooiende reliëf en vloeiende vormen onderbreken, terwijl het gevolg van de verhoging van de kasteelwal op het zicht vanuit het kasteel beperkt is. De ophoging is hier maximaal 30 centimeter. Een andere reden is dat een demontabele kering extra onderhoudsinspanning vergt van het Emerson college. De strategie is om deze binnen de mogelijkheden zoveel mogelijk te beperken.

7.1.2 Nieuwe muur (tussen coupure en kering in grond)

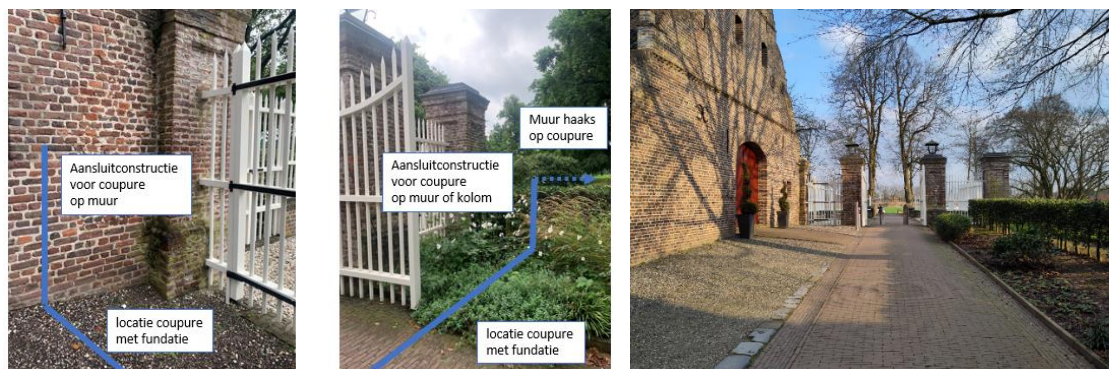
In de huidige situatie is het terrein zuidwestelijk van de Tiendschuur een grasveld. In de nieuwe situatie is op dit grasveld de waterkering gerealiseerd (grondwal). De nieuwe muur vormt hierbij de aansluiting tussen deze grondwal en de coupure voor de toegang tot het kasteel. Voor de waterkering zijn vooral de fundatie (stabiliteit, onderloopsheid) en de constructieve sterkte van belang.



Figuur 7-3: Situatie nieuwe muur tussen coupure en grondkering

7.1.3 Coupure voor toegang tot het kasteel

Het kasteelterrein is vanaf de openbare weg bereikbaar via een brug. Vanwege het historische karakter van deze brug is een ophoging van de toegang, die aanpassing van die brug inhoudt, uitgesloten. Om de toegang tot het kasteel toch van een waterkering te kunnen voorzien, wordt op het kasteelterrein, juist achter de toegangsbrug een nieuwe coupure gerealiseerd die bij naderend hoog water afgesloten kan worden. Voor de waterkering zijn vooral de fundatie (stabiliteit, onderloopsheid) en de constructieve sterkte van belang. Vanuit dagelijks gebruik is de aansluiting op en inpassing in de toegangsweg van belang.



Figuur 7-4: Situatie poort en inpassing coupure

7.1.4 Tiendschuur

Volgens de literatuur is dit gebouw in 1609 gebouwd als onderdeel van het kasteelcomplex. Een tiende was een vorm van winstbelasting, waarbij men een deel van de opbrengst aan de grondbezitter diende te betalen. De inning gebeurde in natura, waarbij letterlijk een tiende deel van een oogst diende te worden betaald. De tienden werden opgeslagen in een tiendschuur. In de loop van de tijd heeft de schuur meerdere functies gehad en is daar meerdere keren op aangepast. Voor de waterkering zijn voornamelijk de buitenmuren en de begane grond vloer (inclusief onderliggende bodem) van belang. Het vloerpeil van de Tiendschuur is ingemeten op een hoogte van NAP +15,80m.

De gevels zijn forse, anderhalf steens dikke gemetselde muren. Deze gevels hebben geen deuropeningen, wel enkele vensters maar deze hebben beperkte afmetingen en bevinden zich allemaal boven de ontwerpwaterstand voor de waterkering.

7.1.5 Bestaande muur

In het verlengde van de kopgevel, evenwijdig aan de buitengracht aan de noordwestzijde van de Tiendschuur is een muur aanwezig. In de huidige situatie vormt deze muur een (visuele) afscherming tussen de kasteeltuin en het parkeerterrein tussen de Tiendschuur en de voorburcht.

Achtergronden en historie van deze muur zijn verder onbekend. Helaas is van deze muur ook de exacte fundatie onbekend. Er zijn wel enkele foto's beschikbaar van delen van de fundering juist onder maaiveld. Als onderdeel van de waterkering zijn de fundatie (stabiliteit, onderloopsheid) en de constructieve sterkte van de wand van belang.

7.1.6 Nieuwe muur (aansluitend op bestaande muur)

In de huidige situatie is het terrein noordwestelijk van de Tiendschuur een vlak grasveld. In de nieuwe situatie is ook ter plaatse van dit grasveld een waterkering gerealiseerd. De nieuwe muur vormt hierbij de aansluiting tussen deze nieuwe waterkering en de in paragraaf 6.1.4 genoemde waterkerende muur. De nieuwe muur komt bij benadering op de locatie van een bestaande haag. Tussen de Voorburcht en de muur komt er een poort die ontsluiting van de noordelijke kasteeltuin voor onderhoudsvoertuigen mogelijk maakt. Voor de waterkering zijn vooral de fundatie (stabiliteit, onderloopsheid) en de constructieve sterkte van belang.



Figuur 7-5: situatie nieuwe muur aansluitend op bestaande muur

7.2 Analyse van directe faalmechanismen en maatregelen

7.2.1 Hoogte (HTKW)

Het maatwerk voor kasteel Well wordt ontworpen met een waterstand bij een ontwerpjaar van 2075 voor het groene deel en 2125 voor de waterkerende constructies voor sterkte maar 2075 voor hoogte. Dit betekent dat de waterkerende constructies bij het kasteel adaptief worden ontworpen. De terugkeertijd van de waterstand is 100 jaar (horend bij de MTK 1/100) en een overslagdebiets van 1,0 l/s/m. In [ref 2] wordt voorgesteld de standaard faalkansbegroting aan te houden volgens OI2014. Dit vertaalt zich voor de kunstwerken in de volgende niveaus (Alle hoogtes afgerond op "0" of "5" cm):

- HBN bij 1 l/s/m/ bedraagt NAP +16.20m
- Ontwerpwaterstand voor harde kering NAP +16.20m
- Ontwerpwaterstand voor piping NAP +15.75m

Tiendschuur

Van de Tiendschuur is bekend dat het vloerpeil zich op NAP +15,80m bevindt. Het niveau van de vensteropeningen in de muur is hoger dan NAP +16,20m. De Tiendschuur zal om die reden voor het faalmechanisme hoogte zeker voldoen.

Bestaande muur

Deze muur heeft in de huidige situatie een hoogte tot ruim 2 m boven het huidige maaiveld. De hoogte van deze muur zal om die reden zeker voldoen.

Overige muren en coupure

Voor de andere constructies geldt dat deze nog gerealiseerd moeten worden (nieuwe muur tussen coupure en kering in grond, coupure toegang kasteel en nieuwe muur langs de parkeerplaats). De hoogte van de bovenzijde van deze nieuwe constructies moet minimaal NAP +16,20m worden.

Naast de hoogte van de kering is voor de coupure ook de drempelhoogte van belang. Deze is voor het kasteel voorzien op NAP +15,40m. Het verhardingsniveau van de toegangsweg ligt op ongeveer NAP +15,30m en zal dus beperkt opgehoogd moeten worden. Naar verwachting is dit in te passen. De hoogte van de afsluitmiddelen in de coupure is net als de vaste keringen NAP +16,20 m.

7.2.2 Piping (PKW)

Voor het faalmechanisme piping wordt de WOWK gevolgd. Indien sprake is van een afsluitende laag zal ook het fenomeen opbarsten worden getoetst. De ontwerpwaterstand die voor faalmechanisme piping wordt aangehouden is NAP +15.75m (NAP +15.72m).

Coupure

De coupure moet nog worden gerealiseerd. Om de constructie te kunnen laten voldoen aan de benodigde constructieve sterkte, is een draagkrachtige fundatie nodig. Die fundatie kan worden uitgevoerd in de vorm van een (stalen) damwand waarmee gelijktijdig het optreden van piping kan worden voorkomen. Nadeel van een damwand is dat deze ook door de lijn van in de huidige situatie aanwezige kabels en leidingen moet worden aangebracht. Daarnaast zal een damwand niet (of minder) kunnen verzakken dan de op de coupure aansluitende verharding. Omdat de ontwerpwaterstand voor piping maar beperkt hoger is dan de minimale drempelhoogte van de coupure (NAP +15,75 om NAP +15,40m) kan ook worden gezocht naar een oplossing waarbij door een filterconstructie wordt voorkomen dat piping kan ontstaan. Een filter kan bijvoorbeeld bestaan uit een grondlicht weefsel in combinatie met een beperkte

grondverbetering. De lengte waarover dit weefsel moet worden aangebracht is voor nadere uitwerking in de volgende ontwerpfasen. Dit zal echter hooguit enkele meters bedragen.

Tiendschuur

Voor de Tiendschuur geldt een waterstandsverschil van $\text{NAP } +15,75 - \text{NAP } +15,80 = -0,05 \text{ m}$. Dat wil zeggen dat een piping-beschouwing niet nodig is. Gelet op het aanwezige vloerpeil mag worden verwacht dat er geen piping op kan treden, zeker niet als de begane grond vloer voldoende dicht is en enige constructieve sterkte heeft. Mocht toch een piping-toets uitgevoerd moeten worden dan ontbreken op dit moment gegevens over de bestaande vloer. Om deze gegevens te kunnen krijgen is nader onderzoek nodig. Voor dit VO wordt volstaan met de constatering dat het vloerpeil hoger ligt dan de ontwerpwaterstand voor faalmechanisme piping.

Specifieke aandacht moet worden geschonken aan de aansluitingen van de coupure en de waterkerende muur op de Tiendschuur. Wellicht is hier (plaatselijk) bodeminjectie of een filterconstructie nodig om piping te voorkomen.

Bestaande keermuur

Voor de keermuur geldt een waterstandsverschil wat nog iets groter is dan bij de Tiendschuur, orde 0,30 tot 0,50 m. Dat wil zeggen dat hier een piping-beschouwing nodig is.

Op dit moment ontbreken gegevens over de huidige fundatie van de muur om te kunnen toetsen of er een risico is op piping. Verwacht mag worden dat omvang en diepte van deze muur te beperkt zijn. Gelet op het beperkte waterstandsverschil en de historisch veronderstelde ondergrond, verdient een filterconstructie nabij het oppervlak in dit geval de voorkeur.

Overige muren

Voor de overige muren (nieuwe muur haaks op de huidige poort en nieuwe muur langs de parkeerplaats) geldt dat deze nieuw worden gerealiseerd. Onder deze muren kan eenvoudig een damwand als fundatieconstructie worden aangebracht die ook meteen een functie heeft om piping te voorkomen. Als alternatief kan ook hier een prefab L-wand met een kwelscherm of een filterconstructie worden toegepast.

7.2.3 Constructief falen (STKW)

Voor het faalmechanisme constructief falen is de Wet op de Waterkering als maatgevend voor het veiligheidsniveau aangehouden. In het Bouwbesluit is beschreven dat het veiligheidsniveau vanuit de Wet op de Waterkering moet worden aangehouden. Hoewel niet strikt noodzakelijk is rekening gehouden met belastingfactoren zoals genoemd in de onder het Bouwbesluit vallende Eurocodes, behorende bij een gevolgklasse CC2 [ref 2].

Als ontwerpwaterstand wordt NAP +16,20m (HBN c.q. minimale constructiehoogte) aangehouden.

Coupure

De coupure moet nog worden gerealiseerd. Om de constructie te kunnen laten voldoen aan de benodigde constructieve sterkte, is een fundatie met voldoende draagkracht nodig. Dit kan in de vorm van een (stalen) damwand maar kan ook in de vorm van een op staal gefundeerde betonsloof.

De rekenkundige waterkerende hoogte van de (gesloten) coupure blijft beperkt tot circa 0,60 m. Door die beperkte hoogte kan worden volstaan met een constructie die bestaat uit een betonnen voetplaat met daarop een betonbalk. Omdat vanuit het faalmechanisme piping bij toepassing van een filter, een kwelscherm niet noodzakelijk is en om ruimte te houden voor reeds aanwezige kabels en leidingen, wordt in dit geval gekozen voor deze laatste optie, een op staal gefundeerde betonnen voetplaat met daarop een betonbalk.

De nieuwe coupure sluit aan de ene zijde aan op de Tiendschuur en aan de andere zijde op de nieuwe muur tussen coupure en kering in grond. Tussen deze constructies onderling moet een voegconstructie worden aangebracht om mogelijke verschilzettingen op te kunnen nemen. Deze voegen worden in de volgende fase nader uitgewerkt.

Tiendschuur

Voor de Tiendschuur geldt een waterstandsverschil van $\text{NAP } +16,20 - \text{NAP } +15,80 = 0,40 \text{ m}$.

Op basis van de momenteel beschikbare gegevens van de muren is een beschouwing opgesteld waaruit blijkt dat de buitengevels voldoende capaciteit hebben om het genoemde waterstandsverschil te kunnen keren. Hierbij is vooral het gegeven dat de verticale belasting die de muren dragen (eigen gewicht van de muur) van belang. De optredende drukspanning in de muur door dit eigengewicht overheerst ten opzichte van de trekspanning die ontstaat door de (beperkte) eenzijdige waterdruk.

Bestaande muur

Voor de keermuur geldt een waterstandsverschil van 60 cm, iets groter dan bij de Tiendschuur. Dat wil zeggen dat ook hier een constructieve toets nodig is. Uit de uitgevoerde toetsing blijkt dat de sterkte van deze muur op de grens zit van de benodigde sterkte.

Hiernaast is van belang dat er onvoldoende gegevens over de fundatie van de muur bekend zijn.

Er zijn foto's van een ontgraven deel van de muur beschikbaar waarop een verzwaring onderaan de muur zichtbaar is die op zich gunstig kan werken. Het bodemniveau van de muur is echter niet zichtbaar. Daar komt bij dat op andere foto's herstel van de muur zichtbaar is waarbij forse schollen uit de muur zijn verwijderd en teruggeplaatst. Het is onbekend of de nieuw ingemetselde stenen voldoende aan de achterliggende constructie zijn bevestigd om te mogen spreken van een homogene gemetselde constructie. Inboeten of inmetdelen van stenen is prima geschikt om een tuinmuur of een gevel te herstellen maar volstaat in de regel niet om een (relatief) dunne gemetselde muur te kunnen laten voldoen als waterkerende muur. De conclusie is dat met de beschikbare informatie kan niet worden gegarandeerd dat de muur voldoet. Voor dit VO is het uitgangspunt dat de muur moet worden vervangen. In het DO kan worden onderzocht of het mogelijk is om de muur te handhaven en te versterken.



Figuur 7-6: Restauratie van de keermuur in 2007 (tijdens en na de werkzaamheden)

7.2.4 Niet sluiten (BSKW)

Voor de coupure in te toegang naar het kasteel moet in de volgende fase het faalmechanisme betrouwbaarheid sluiten worden getoetst. De andere constructies zijn permanent aanwezig en hebben geen mobiele keermiddelen.

7.3 Overige constructies en niet waterkerende objecten

7.3.1 Landhoofd huidige toegangsbrug

Het landhoofd van de toegangsbrug naar het kasteelterrein is geen waterkerende constructie. De brug is tot bepaalde waterstanden wel de belangrijkste toegangsweg naar het kasteel. Daarnaast sluit de constructie van het noordwestelijke landhoofd in de vorm van een gemetselde keermuur. Van dit landhoofd zijn geen constructieve gegevens beschikbaar.

Ter plaatse is zichtbaar dat de omvang van de constructie redelijk fors is en dat de kerende hoogte van dit landhoofd zo beperkt is dat in dit VO verondersteld mag worden dat dit landhoofd geen invloed heeft op de Tiendschuur, de naastgelegen coupure en de nieuwe muur tussen coupure en kering in grond. Om de definitieve omvang van alle werkzaamheden in beeld te brengen wordt er wel van uitgegaan dat in de volgende fase nader onderzoek naar de werkelijke omvang van de constructie wordt gedaan.

7.3.1.1 Duiker

De duiker aan de noordzijde van de omwalling verbindt de buitengracht met de binnengracht. Aan beide einden zijn afsluiters aanwezig die worden gebruikt als er onderhoud wordt gepleegd in de binnengracht waardoor het waterpeil moet worden verlaagd. Deze functioneren niet meer goed en moeten worden vervangen. De duiker dateert van halverwege de vorige eeuw.

In de nieuwe situatie is de duiker een waterkerend object, en maakt als zodanig deel uit van de waterkering. Gezien de leeftijd is er een grote kans dat de constructie van de duiker einde levensduur is en in zijn geheel moet worden vervangen. Dit is voor nadere uitwerking in de volgende ontwerpfase. Zie ook hoofdstuk 6.



Figuur 7-7: Duiker binnenzijde en buitenzijde

7.3.2 Landhoofd westelijke toegangsbrug naar het hoofdgebouw

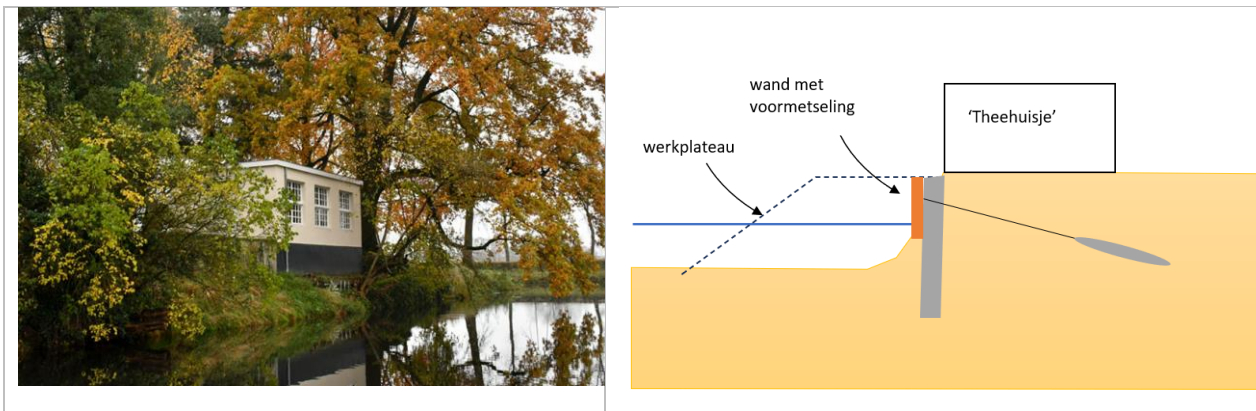
Zie Figuur 5-1. Dit landhoofd is een grondkerende constructie en staat in het binnentalud van de waterkering. Het falen van de keermuur kan zorgen voor een verzwakking van het binnentalud. In het DO zal nader moeten worden gekeken naar de staat van de keermuur en de interactie van het object met de in dit rapport beschreven maatregelen.

7.3.3 Theehuisje

Dit gebouwtje aan de westzijde van de omwalling doet nu dienst als opslag voor onderhoudsmaterieel en zal in de toekomst worden ingericht als keuken voor de studenten. Het is gebouwd op de fundatie van het oude poortgebouw. Gedetailleerde informatie van deze fundatie ontbreekt. Vloerniveau ligt op ongeveer NAP +15,5m, enkele decimeters onder de maatgevende waterstand (NAP +15,7m). De ramen liggen hier ruim boven. Als het gebouwtje tijdens hoog water droog moet blijven zijn mogelijk maatregelen nodig, bij de deur en de onderste decimeters van de muren. Dit is voor uitwerking in het DO.

Er treden op deze locatie grote stroomsnelheden op. De kans bestaat dat de oever onder het theehuisje zal eroderen en het theehuisje zal ondermijnen. Voorgesteld wordt om in de DO fase gedetailleerd onderzoek te doen naar de kenmerken en afmetingen van de fundatie. Op basis daarvan kan worden onderzocht of maatregelen nodig zijn om verzakking en schade aan het Theehuisje onder invloed van stroming tegen te gaan.

Maatregelen kunnen bestaan uit het aanpassen van de huidige fundatie (versterken en/of verdiepen) of het aanbrengen van een nieuwe constructie voor de huidige fundatie. In dat geval wordt er langs de gevel, aan de buitengrachtszijde, een verticale wand aangebracht. De wand sluit aan op het landhoofd van de nieuwe brug aan de westzijde van het gebouw. In het VO wordt uitgegaan van een verankerde wand met voormetseling. De wand wordt aangebracht vanaf een tijdelijk werkplateau in de gracht. In het DO moet de bouwwijze verder worden uitgewerkt.



Figuur 7-8: Het Theehuisje

Figuur 7-9: Oplossing verticale wand

8 Referenties

- ref 1. Gebiedsontwikkeling Groene Rivier Well, Technisch ontwerp waterkeringen VO, BJ1000_W3410-5
- ref 2. Gebiedsontwikkeling Groene Rivier Well, Technische Uitgangspunten Notitie Waterkeringen, TUN BJ1000_W3210-2
- ref 3. Gebiedsontwikkeling Groene Rivier Well, Ruimtelijk Kwaliteitskader Deel II
- ref 4. Gebiedsontwikkeling Groene Rivier Well, Onderbouwing beschermingsaanpak maatwerk kasteel Well, BJ1000_W3410-xx
- ref 5. Profielen kasteellaan 20, 210736-02 A1 1000, Lankelma
- ref 6. Integraal onderzoek cultuurhistorie kasteelterrein Well, CB.DR60.35.005
- ref 7. Lankelma Geotechnisch onderzoek i.v.m. dijkversterking, Kasteel Well (Kasteellaan), 2101909RG 29 juli 2021
- ref 8. Lankelma, handboringen kasteel, 2300614-HB
- ref 9. Groenwacht, Inspectierapport kasteel Well, objectnummer GWN11070, 2019
- ref 10. Gecombineerd geofysisch onderzoek Kasteel Well en omgeving te Well, 23S055-DR-01, Saricon, 3-10-2023
- ref 11. Geonius, Waterpassing Kasteel Well en Paad, 10-9-2021
- ref 12. OI2014
- ref 13. WBI Veiligheidsraamwerk Kabels en Leidingen" (Deltares, mei 2018)
- ref 14. Veiligheidsraamwerk dierlijke graverijen in waterkeringen, Deltares 2022
- ref 15. WBI2017 - Regeling veiligheid primaire waterkeringen 2017, Bijlage III Sterkte en veiligheid, Definitief, Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving, Lelystad, 2017.
- ref 16. Eindadvies beoordeling gras op zandbekledingen, Deltares, 11204369-002-GEO-0018, 22 november 2022
- ref 17. Nota Voorkeursalternatief Dijkverbetering DT60 Well

