RAPPORT

Gebiedsontwikkeling Groene Rivier Well

Technisch Ontwerp Waterkeringen VO2

Klant: Waterschap Limburg

Referentie:	250306_BJ1000_W3210-5_Hoofdrapport Technisch Ontwerp Waterkeringen_C03
Status:	Definitief/C03
Datum:	6 maart 2025

HASKONINGDHV NEDERLAND B.V.

Jonkerbosplein 52
6534 AB Nijmegen

Trade register number: 56515154

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

Titel document:	Gebiedsontwikkeling Groene Rivier Well
Ondertitel:	Technisch Ontwerp Waterkeringen VO2
Referentie:	250306_BJ1000_W3210-5_Hoofdrapport Technisch Ontwerp Waterkeringen_C03
Status:	C03/Definitief
Datum:	6 maart 2025
Projectnaam:	Gebiedsontwikkeling Well
Projectnummer:	BJ1000
Auteur(s):	Martin de Kant

Opgesteld door:	Martin de Kant
Gecontroleerd door:	Albert Wiggers
Datum:	06-03-2025

Classificatie
Projectgerelateerd

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 Nederland B.V. 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 Nederland B.V.. Voordat publicatie plaatsvindt (of anderzins 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.

Inhoud

1	**Inleiding**	**4**
1.1	Inhoud en doel van rapportage	4
1.2	Scope	4
1.3	Relatie met andere documenten	4
1.4	Leeswijzer	5
2	**Grondgestuurd ontwerpen**	**6**
3	**Ondergrondmodel**	**7**
3.1	Van in-situ onderzoek naar ondergrondmodel	7
4	**Ontwerp groene waterkeringen**	**9**
4.1	Ontwerpoverwegingen	9
4.2	Toelichting principeprofielen groene waterkeringen	9
4.3	Standaard dijken	10
4.4	Steilranddijken	12
4.5	Pipingscope en maatregelen	13
4.5.1	Pipingscope	13
4.5.2	Pipingmaatregel	14
5	**Principeoplossingen waterkerende constructies**	**16**
5.1	Kasteellaan	16
5.2	Oud Well achtertuinen	18
5.3	Oud Well Brienen	18
5.4	Oud Well Dorpsplein	20
5.5	Oud Well, Kerkhofmuur	20
5.6	Oud Well, Grotestraat 7A	21
5.7	Begraafplaatsmuur	21
6	**Hoogwaterontsluitingsroute Elsteren**	**23**
6.1	Benodigde hoogte	23
6.2	Geotechnisch ontwerp	24
7	**Grondbalans**	**25**
7.1	Fysische kwaliteit van het gebiedseigen materiaal	25
7.2	Resultaten grondbalans	28

8 Referenties 29

Bijlagen

De bijlagen bij dit rapport zijn de volgende notities (kenmerken 240913_BJ1000_W3420_5.1 tot en met 240913_BJ1000_W3420_5.13)

1. Macrostabiliteit Elsteren – de Paad West, ’t Leuken
2. Microstabiliteit Elsteren
3. Bekleding binnentalud 1op5 dijken
4. Haalbaarheid steilranddijken
5. Pipinganalyse
6. Geotechnische stabiliteit constructie Kasteellaan
7. Fundatie bestaande bebouwing Oud Well midden
8. Geotechnische toetsing constructie Dorpsplein
9. Geotechnische toetsing kelder Brienen
10. Historie kelder Brienen
11. Constructieve toetsing Kerkhofmuur
12. Geotechnische toetsing Kerkhofmuur
13. Macrostabiliteit evacuatiedam Elsteren

1 Inleiding

1.1 Inhoud en doel van rapportage

Voorliggende rapportage presenteert de resultaten van het technisch ontwerp voor de waterkeringen binnen de Gebiedsontwikkeling Groene Rivier Well. Het doel van het technisch ontwerp is het onderbouwen van het benodigde ruimtebeslag voor de waterkeringen en het onderbouwen van de kostenraming voor het referentieontwerp. Het ruimtebeslag moet zodanig gekozen worden dat:

- in de volgende fase door de aannemer binnen dit ruimtebeslag een haalbaar dijkontwerp gemaakt kan worden;
- het ontwerp daarmee kan voldoen aan de vigerende Nederlandse normen voor waterkeringen en;
- de aannemer nog voldoende ruimte heeft om te optimaliseren in het dijkontwerp en het eventueel te gebruiken materiaal.

Eén van de kansen binnen het project Gebiedsontwikkeling Groene Rivier Well is om bij het project vrijkomende grond weer te gebruiken in de nieuw aan te leggen waterkeringen en de te versterken waterkeringen. Dit betekent dat dijken zo veel mogelijk worden opgebouwd uit gebiedseigen grond. De ontwerpkeuzes die gemaakt zijn voor het technisch dijkontwerp faciliteren deze aanpak.

Om dit te kunnen doen is er veel energie gestopt in het opstellen van een ondergrondmodel, en is verkend hoeveel er per grondsoort vrijkomt binnen het project. Dit vormde onder meer de basis voor de vervolgkeuzes die zijn gemaakt bij het opstellen van de principeprofielen van de waterkeringen. Daarna zijn de ontwerpen met berekeningen getoetst op haalbaarheid binnen het ontworpen ruimtebeslag, en is er op basis van het totale ontwerp een integrale grondbalans opgesteld.

1.2 Scope

Dit rapport behandelt het ontwerp van de groene en constructieve waterkeringen. Daarnaast is het ontwerp van de hoogwaterontsluitingsroute Elsteren in deze rapportage opgenomen. Deze dam is geen formele waterkering maar toch hier gerapporteerd omdat het ontwerp raakt aan waterveiligheid. Hoewel de grondbalans het waterkering ontwerp overstijgt is het opgenomen in deze rapportage als verificatie van het grondgestuurd ontwerpen van de waterkering.

Niet in dit rapport beschreven en uitgewerkt zijn:

- de coupures, deze worden t.z.t. door de aannemer uitgewerkt in het DO;
- de pompinstallaties, idem;
- de maatwerk-waterkering op het terrein van Kasteel Well, hiervoor wordt verwezen naar document [2];
- de maatwerk-waterkering op het terrein van recreatiepark Leukermeer (De Kamp); hiervoor zijn separate afspraken gemaakt door Waterschap Limburg met de eigenaar van het recreatiepark.

De achtergrondberekeningen zijn in de bijlage van deze rapportage opgenomen. In voorliggende (hoofd)rapportage zijn de resultaten van de berekeningen samengevat.

1.3 Relatie met andere documenten

De uitgangspunten voor voorliggend ontwerp zijn opgenomen in de Technische Uitgangspunten Notitie (afgekort: TUN). [1].

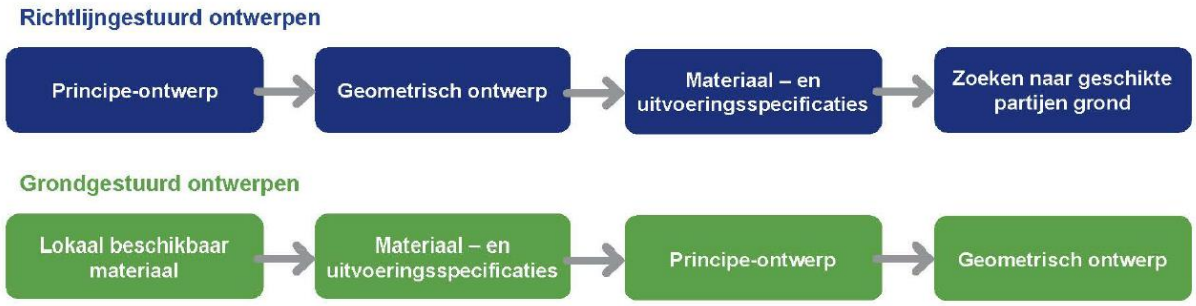
1.4 Leeswijzer

Hoofdstuk 2 gaat in op het ondergrondmodel. Dit is belangrijke input voor het geotechnisch ontwerp voor de waterkeringen en voor de grondbalans. Met het ondergrondmodel kan worden bepaald welke hoeveelheden per grondsoort vrijkomen bij de diverse ontgravingen zoals het graven van de groene rivier, aardenbanen en oude dijken.
Vervolgens wordt het ontwerp van de groene waterkeringen en de waterkerende constructies in hoofdstukken 3 en 4 beschreven.
De hoogwaterontsluitingsroute Elsteren verbindt Elsteren met Oud Well. In hoofdstuk 5 wordt de benodigde hoogte afgeleid en wordt het ontwerp van de dam onderbouwd.
Met de input van voorgaande hoofdstukken, en de ontwerpen van de andere objecten binnen het project Gebiedsontwikkeling Groene Rivier Well is de grondbalans opgesteld. Dit is beschreven in hoofdstuk 6.

2 Grondgestuurd ontwerpen

Veelal wordt voor een dijkontwerp een principeontwerp gemaakt waaruit een geometrisch ontwerp volgt. Vervolgens wordt het materiaal gespecificeerd dat nodig is om aan de eisen van de Waterwet te voldoen binnen het vastgestelde geometrisch ontwerp.

In voorliggend ontwerpproces zijn de stappen omgedraaid en is uitgegaan van het beschikbare materiaal in het projectgebied. Met de bijbehorende materiaaleigenschappen wordt een principeontwerp opgesteld en daaruit volgt een geometrisch ontwerp. Onderstaande afbeelding maakt het proces van beide ontwerpaanpakken visueel. De afbeelding is gebaseerd op een afbeelding uit het Technisch kader toepassing gebiedseigen grond van de POV Gebiedseigen Grond.



Figuur 2-1: Richtlijn gestuurd ontwerpen versus grondgestuurd ontwerpen [3]..

Om grondgestuurd te kunnen ontwerpen is kennis van de ondergrond essentieel. Daartoe is voor dit project een digitaal ondergrondmodel opgezet. Dit model faciliteert het geotechnische ontwerpproces en het bepalen van de bij het project vrijkomende hoeveelheden. Zie hoofdstuk 3.

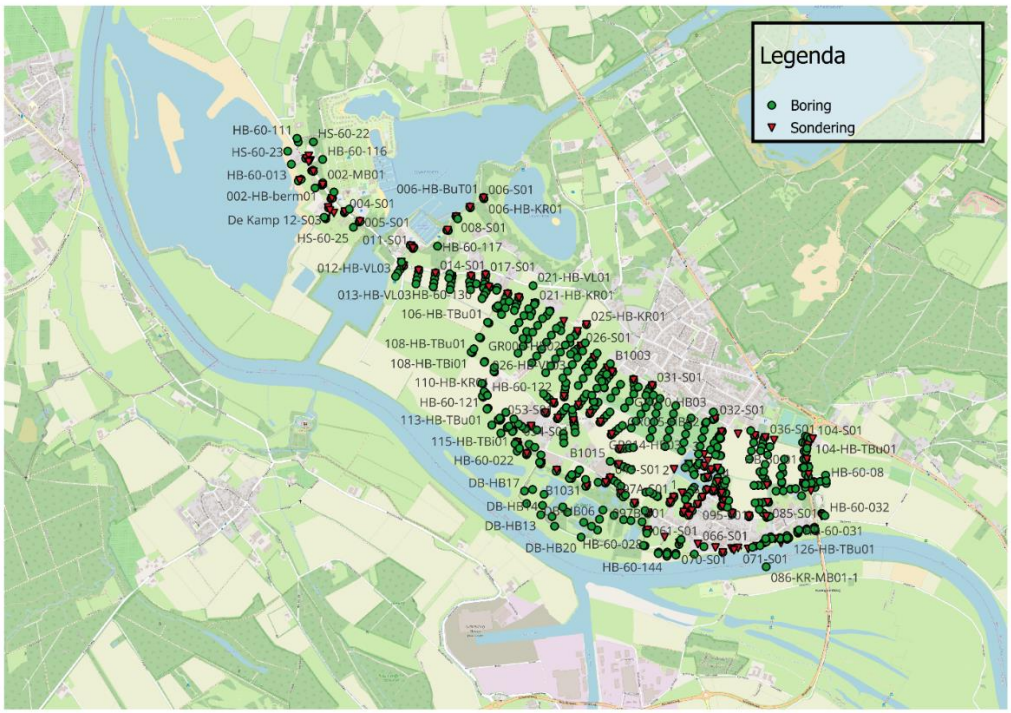
3 Ondergrondmodel

In de VO-fase is een omvangrijk grondonderzoek uitgevoerd ter plaatse van de beoogde waterkeringen, ontgravingen en bij de systeemmaatregelen (de Band en de Groene rivier). Om een zo goed mogelijk beeld te verkrijgen van de hoeveelheden vrijkomende grond in het projectgebied is een 3-dimensionaal ondergrondmodel opgezet. Het 3D-model maakt het mogelijk om de grondhoeveelheden per grondsoort geautomatiseerd te bepalen, en het ondersteunt ook diverse geotechnische en geohydrologische analyses.

In dit hoofdstuk geeft een globale beschrijving van de ondergrond per deelgebied.

3.1 Van in-situ onderzoek naar ondergrondmodel

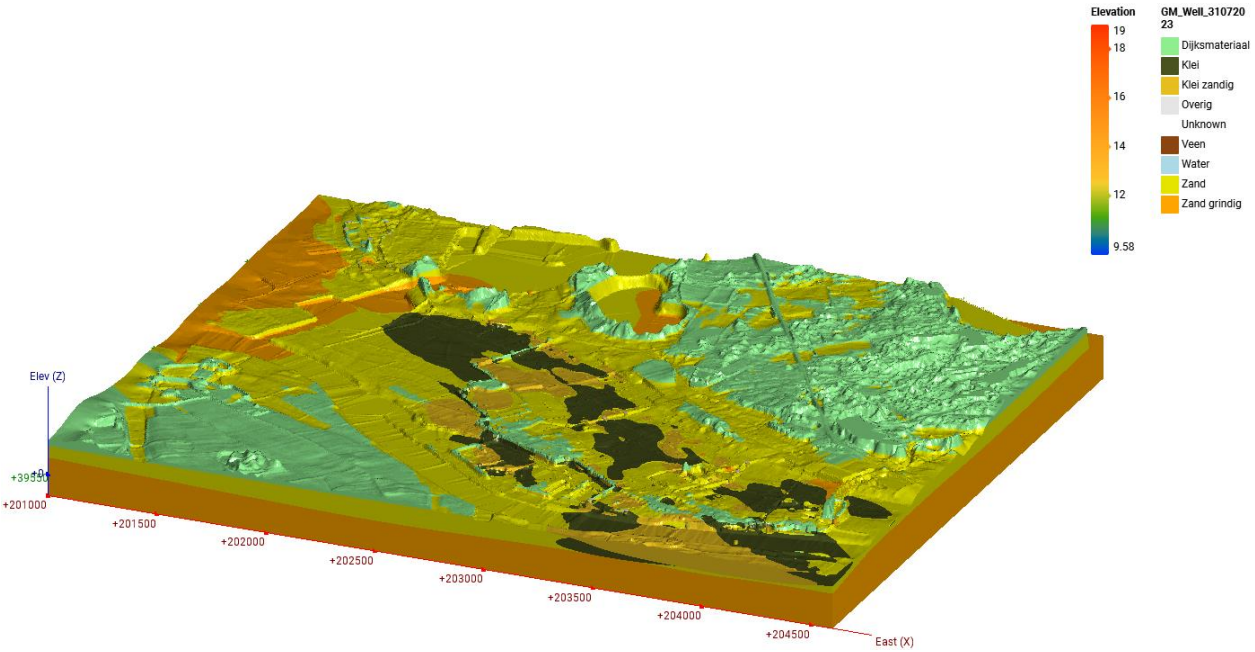
Het grondonderzoek is uitgevoerd door het bedrijf Silt, en bestaat uit mechanische boringen, handboringen, sonderingen en laboratoriumonderzoek. Voor het ondergrondmodel is gebruik gemaakt van de (hand en mechanische) boringen en sonderingen. In Figuur 3-1 geeft een overzicht van de gehanteerde sonderingen en boringen. Voor de details achter het geleverde grondonderzoek (hoeveelheden, soorten proeven etc.) wordt verwezen naar de TUN [1].



Figuur 3-1: Overzicht van het voor het project beschikbaar gestelde sonderingen en boringen.

Figuur 3-2 geeft een visualisatie van het 3D-model ondergrondmodel. De kleuren geven aan welke grondsoorten aan het maaiveld worden aangetroffen (zie legenda). Opgemerkt wordt dat het model buiten het projectgebied niet is geverifieerd en niet nauwkeurig is.

Bij De Paad West, Elsteren en Oud Well worden direct onder het maaiveld slappe lagen aangetroffen. Ook wordt duidelijk dat er veel klei aanwezig is direct onder het maaiveld ter hoogte van de Band en de Groene Rivier. De diktes van de kleilagen blijven echter beperkt (maximaal ongeveer 3m). In lijn met de duurzaamheidsdoelstellingen kan deze klei gebruikt worden bij de opbouw van de nieuwe dijken en de versterking van de bestaande dijken.



Figuur 3-2: Weergave van het Leapfrog ondergrondmodel. Opgemerkt wordt dat aan de bovenkant van het model de grondsoorten ter hoogte van maaiveld getoond worden.

Elsteren

Elsteren wordt gekenmerkt door een zandige deklaag in het midden van de beoogde dijkring. Ter hoogte van de nieuwe dijken bevindt zicht een relatief dikke kleilaag; in het zuiden bij de Baend circa 3 m, en in het noorden van ongeveer 1 m dikte. In het noordwesten bevindt zich onder de kleilaag ook een relatief dunne veenlaag (0,5 m). Op enkele meters diepte (circa 5 m) is de ondergrond grindig/zandig. Dit geldt overigens voor het gehele projectgebied.

Oud Well

Het zuiden van Oud Well (aan de Maas) wordt gekenmerkt door een dikke kleilaag (lokaal enkele meters dik). Ook in het noorden van Oud Well bevindt zich een kleilaag (1-2 m) welke soms aan het oppervlak ligt. Centraal in het deelgebied is de ondergrond grotendeels zandig met op enkele locaties een zandige kleilaag.

’t Leuken en De Paad-West

’t Leuken en De Paad-West worden gekenmerkt door een kleilaag (buitendijks) en daaronder een relatief dikke veenlaag. Ter hoogte van De Paad-West bedraagt de dikte van deze veenlaag lokaal circa 4 m. Ook bevindt zich hier recht onder de nieuwe dijk een zandige kleilaag van ongeveer een halve meter dik.

De Paad Oost

De ondergrond bij De Paad-Oost is zeer zandig. Aan het oppervlak bevindt zich een zandlaag van 2 m dik. Hieronder bevindt zich een grindige zandlaag.

-

4 Ontwerp groene waterkeringen

In dit hoofdstuk wordt ingegaan op het ontwerp van de groene waterkeringen, zijnde de waterkeringen die zijn opgebouwd uit grond. De keuzes die gemaakt zijn voor het technisch dijkontwerp volgen in grote mate uit de keuze om te ontwerpen met gebiedseigen grond. In paragraaf 4.1 wordt dit principe toegelicht. Een integrale ontwerpaanpak heeft geresulteerd in drie typen dijken (maasdijken, groene rivierdijken en steilranddijken). De onderbouwing en technische toetsing van deze profielen is beschreven in paragraaf 4.2. Tenslotte is het ontwerp getoetst op piping en is op hoofdlijnen ingegaan op de maatregelen om piping te mitigeren.

4.1 Ontwerpoverwegingen

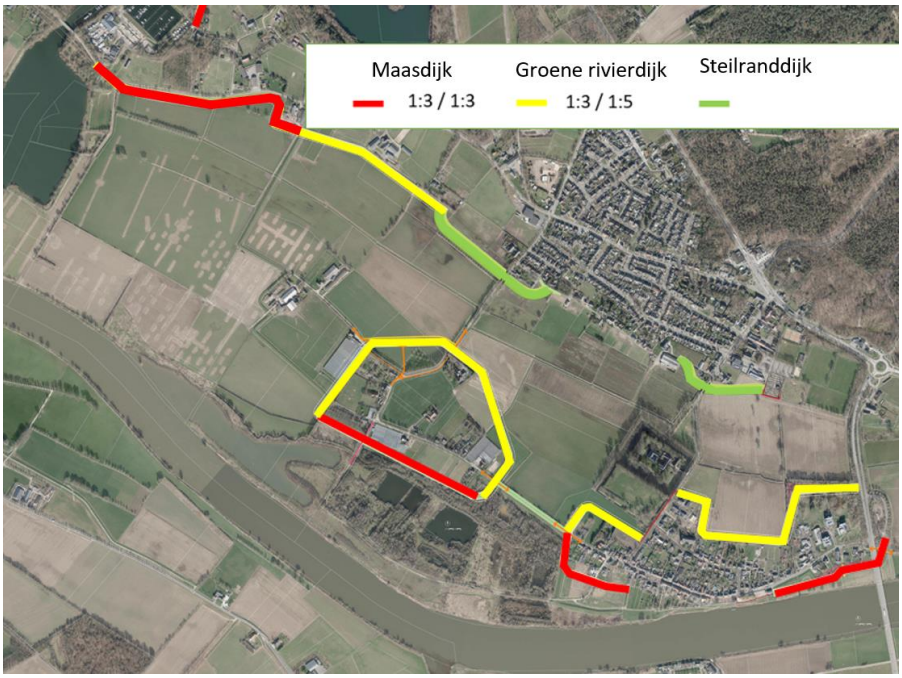
De ondergrond in het gebied is zeer zandig. De slecht doorlatende deklaag is op veel plekken dun en ontbreekt zelfs bij Elsteren en Oud Well aan de zijde van de Groene Rivier. Vanuit de functionele componenten van de dijk zijn onder meer de volgende randvoorwaarden te benoemen:

- er is slecht doorlatend materiaal nodig in een minimale zone om voldoende waterafdichting/ remming van grondwater door de dijk te realiseren;
- er is voldoende weerstand/ sterkte in en op het binnentalud nodig om weerstand te bieden bij overslag en overlopen;
- er moet voldoende weerstand zijn tegen onderloopsheid en piping;

Een groot gedeelte van de vrijkomende grond bestaat uit zand of zandige klei. In hoofdstuk 7 wordt aangetoond dat het gebied over onvoldoende erosiebestendige klei beschikt om overal een homogene of gezoneerde dijk aan te leggen waarbij klei wordt toegepast om de genoemde functies te vervullen. Om deze reden is voor een groot deel van het dijktracé gekozen voor een robuuster profiel met flauwe binnentaluds (taludhelling 1:5). Aangetoond is dat met dit robuustere profiel micro-instabiliteit van het binnentalud en verweking aan de teen van de waterkering wordt voorkomen. Op deze wijze kan er op de flauwe binnentaluds met klei van een lagere kwaliteit worden volstaan. Op locaties waar geen ruimte is voor dit robuustere profiel (langs de Maas, zie Figuur 4-1), voorziet het ontwerp in een standaard profiel met 1:3 taluds.

4.2 Toelichting principeprofielen groene waterkeringen

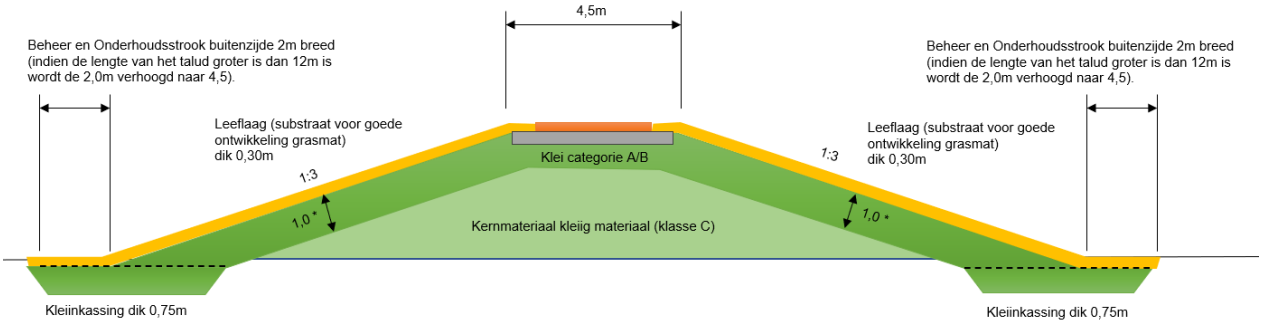
Onderstaand is per type waterkering de dimensionering en materialisatie (principeoplossing) toegelicht. Er wordt onderscheid gemaakt tussen standaarddijken en steilranddijken. Daarnaast zijn er twee typen standaarddijken: Maasdijken en Groene rivierdijken. Figuur 4-1 geeft een overzicht waar welke dijken worden toegepast.



Figuur 4-1: Overzicht van de aan te brengen groene keringen en de principeoplossingen ervan.

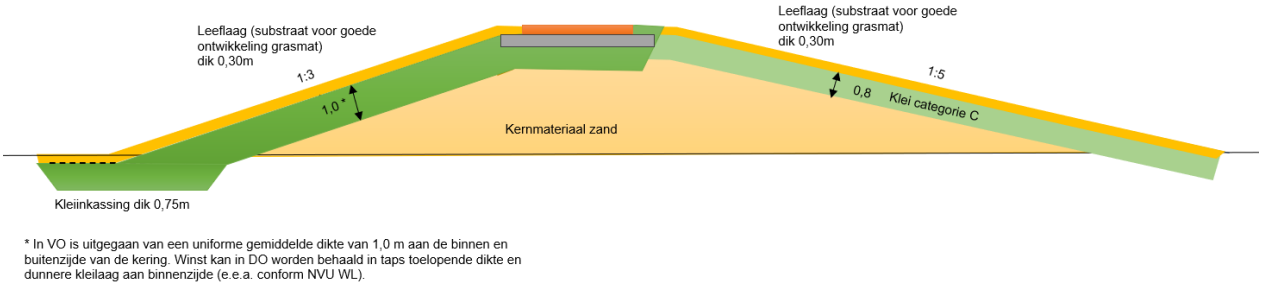
4.3 Standaard dijken

Voor de bestaande, te versterken groene keringen langs de Maas worden 1:3 binnen- en buitentaluds toegepast. Hiermee wordt aangesloten op het huidige profiel en wordt benodigde grondaankoop voor de kering beperkt. In het project worden deze als "**Maasdijken**" aangeduid. De dijk wordt net als de huidige dijken opgebouwd uit kleiig materiaal. De totale vereiste kruinhoogte van de dijk verschilt per deelgebied (zie [1]) en daarmee ook de breedte. Heaveschermen of andere pipingmaatregelen kunnen binnen het profiel worden gerealiseerd (zie paragraaf 4.5).



Figuur 4-2: Principeoplossing "Maasdijken"

Op locaties waar nieuwe dijken worden aangelegd is gekozen voor een robuuster profiel met een flauwer binnentalud en kernmateriaal van zand. Dit materiaal is in voldoende mate beschikbaar binnen het projectgebied (zie hoofdstuk 7). Het flauwere binnentalud mitigeert de kans op microinstabiliteit (verweking), en reduceert de eroderende werking van overslaand water (golfoverslag 5 l/s/m) waardoor de bekleding van het binnentalud uit minder erosiebestendig materiaal kan worden opgebouwd. De totale vereiste kruinhoogte van de dijk verschilt per deelgebied (zie [1]) en daarmee ook de breedte. Eventuele heaveschermen of andere pipingmaatregelen kunnen binnen het profiel worden gerealiseerd. In het project worden deze robuustere dijken als "**Groene rivierdijken**" aangeduid.



Figuur 4-3: Principeoplossing "Groene rivierdijken". Beheer en onderhoudspaden niet weergegeven

De stabiliteit van de groene dijken (STBI en STBU) is getoetst in bijlage 1. Er zijn twee kritische locaties beschouwd Elsteren Zuid vanwege de kleiige ondergrond van de Band en De Paad West/'t Leuken vanwege de dikke veenlaag. Voor beide situaties wordt bij taluds 1:3 voldaan. Ook de 1:5 dijken voldoen.

Uit de analyse van de microstabiliteit (STMI) van de binnentaluds (bijlage 2) volgt dat een dijk bestaande uit zand, (zonder kleibekleding op het binnentalud) en een binnentalud 1:3 niet voldoende bestand is tegen het mechanisme micro-instabiliteit bij de lokale ontwerpbelastingen en ondergrondkenmerken. Door uitspoeling kan lokale instabiliteit van het binnentalud optreden. Het restprofiel dat hierbij achterblijft schaart te ver in het dijklichaam waardoor uiteindelijk overstroming kan optreden. Bij een dijk bestaande uit zand, (zonder kleibekleding op het binnentalud) en binnentalud 1:5 geldt dat de waterkering wel voldoende bestand is tegen micro-instabiliteit en daarmee een voldoende waterveilig ontwerp oplevert. Een talud 1:5 voldoet bij de toepassing van binnen de projectgrenzen vrijkomend zandig materiaal. Op diverse locaties is een 1:5 talud landschappelijk niet wenselijk en/of is er onvoldoende ruimte voor, op die locaties is een talud 1:3 mogelijk wanneer de binnenbekleding bestaat uit klei A of klei B, zie hoofdstuk 6. Voor beide binnentaluds (1:3 en 1:5) geldt echter wel dat mogelijk verweking (drijfzandvorming) kan optreden in een deel van de strook tussen de binnenteen en de sloot. Dit is een relevant aspect voor het beheer van de kering tijdens hoogwater en het omgaan met calamiteiten tijdens hoogwater. De eisen die aan deze strook vanuit het beheer bij hoogwater worden gesteld moeten met het waterschap worden besproken in een volgende projectfase. Mocht het optreden van kwel en verweking in de teenzone tijdens hoogwater (tussen de binnenteen en sloot) vanuit het beheer en het calamiteitenplan niet acceptabel zijn dan dienen er maatregelen te worden toegepast, zoals:

- het vergroten van de drainage capaciteit rond de teen waarvoor een aanvullende drainagemaatregel nodig is;
- het verhogen van het maaiveld tussen het talud en de teen (binnenberm);
- het aanbrengen van een kleikist die aan de onderkant aansluit op de natuurlijke kleilaag (indien aanwezig) in de ondergrond en aan de bovenkant op de kleibekleding. Voor deze maatregel geldt dat dient te worden nagegaan of deze in de beschikbare ruimte past.

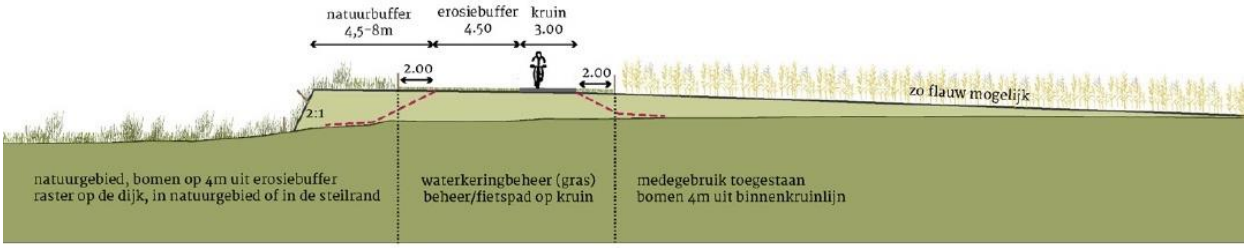
De waterkeringen worden ontworpen op een overslagdebiet van 5 l/s/m. Als bekledingsmateriaal van het binnentalud wordt bij de Maasdijken categorie A of B klei toegepast met een gesloten grasbekleding. Voor de Groene-rivierdijken is in bijlage 3 aangetoond dat met categorie C klei kan worden volstaan onder de volgende voorwaarden:

- de toplaag (cat. C materiaal) is ten minste 80cm dik;
- bij het opbouwen van het talud is rekening gehouden met optimale omstandigheden wat betreft de ontwikkeling van een goede zodelaag door het kiezen van het juiste substraat zodat, in combinatie met een goede beheerstrategie, een gesloten grasmat wordt verkregen.

4.4 Steilranddijken

Twee dijkvakken betreffen de deelgebieden ‘De Paad - West’ en ‘De Paad - Oost’, zie Figuur 4-4. Deze deelgebieden worden gekenmerkt door een maaiveld met een van nature aanwezig steil talud (steilrand). Om deze reden is in het VKA voorgesteld om –in lijn met het landschappelijke karakter van deze locaties– steilranddijken te realiseren. Dit sluit aan bij één van de duurzaamheidsdoelstellingen om gebruik te maken van de natuurlijke hoogtes en laagtes. Vanuit de duurzaamheidsaspecten van het project wordt gepoogd zoveel mogelijk gebiedseigen materiaal te gebruiken bij de opbouw van de dijk. Steilranddijken zijn eerder toegepast in het project Gebiedsontwikkeling Ooijen Wanssum.

De steilranddijk wordt gekenmerkt door een buitendijkse natuurbuffer met een talud 2:1. Hierachter bevindt zich achtereenvolgens een erosiebuffer en het dijklichaam. Binnendijks sluit de kruin aan op het maaiveld met een talud dat zo flauw mogelijk is. Hiermee wordt de dijk op een natuurlijke wijze ingepast in de hoge grond. Figuur 4-4 toont schematisch een doorsnede van de steilranddijk zoals deze is toegepast bij Ooijen-Wanssum.



Figuur 4-4: Schematische weergave steilranddijk (waardes zijn afkomstig van Gebiedsontwikkeling Ooijen-Wanssum) [2].

De haalbaarheid van de steilranddijk is beoordeeld op basis van de valhoogte, de erosie, en de macrostabiliteit (bijlage 4).

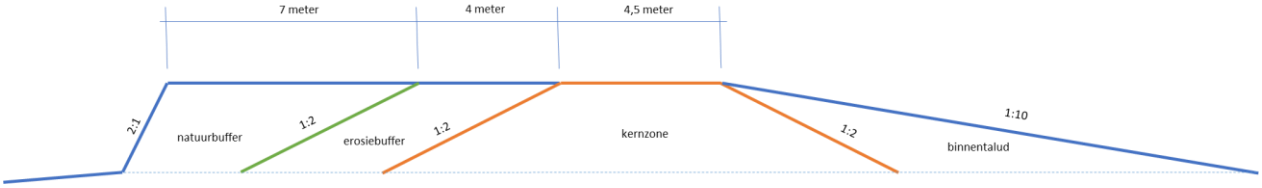
Vanwege het steile talud van de steilranddijk bestaat valgevaar voor personeel/materieel tijdens de uitvoering van de dijkversterking en gedurende beheer of door passanten met persoonlijk letsel als gevolg. Conform de Arbowet dient valgevaar voorkomen te worden (artikel 3.16). Bij een hoogte van 2,50 m dienen bovendien maatregelen te worden getroffen (artikel 7.23). Hoewel deze wet niet strikt toepasbaar is op deze situatie, is deze eis binnen dijkversterking Ooijen – Wanssum overgenomen. Voor project ‘Gebiedsontwikkeling Well’ is besloten om deze zelfde eis voorlopig over te nemen. Dit heeft tot gevolg dat maatregelen getroffen moeten worden wanneer de te keren hoogte groter is dan 2,5 m. Voor de Paad – West geldt een grote valhoogte over nagenoeg het hele deeltraject. Dit vereist – mogelijk onwenselijke – maatregelen. Vooralsnog is rekening gehouden met aanhelen van grond aan de rivierzijde zodat het hoogteverschil niet meer dan 2,5 meter bedraagt.

Zoals Figuur 4-4 aantoont, wijkt het ontwerp van een steilranddijk af van het ontwerp van een klassieke rivierdijk. De natuurbuffer mag zich dynamisch ontwikkelen waarbij natuurlijke erosieprocessen en begroeiing zijn vorm bepalen. De erosiebuffer vormt de daadwerkelijke (verholen en dus niet met gras beklede) bescherming van het dijklichaam. De breedte van de erosiebuffer wordt bepaald door de erodeerbaarheid ervan onder belasting van golfaanval en langsstroming. In bijlage 4 is op basis van een eenvoudige analyse onderbouwd dat een buffer van 4m volstaat. In het DO moet hier nader naar worden gekeken.

De macrostabiliteit van de steilranddijken is voor beide situaties getoetst in bijlage 4. Per deelgebied is een maatgevende doorsnede bepaald op basis van de ophoging (zie **Error! Reference source not found.**) en de ondergrond. Voor beide locaties wordt er qua macrostabiliteit voldaan (zowel binnenwaarts als buitenwaarts). Bij De Paad-West moet er, waar de veenlaag dik is, een grondverbetering worden toegepast

waarbij er een meter veen wordt afgegraven en vervangen door (gebiedseigen) zand. Deze doorsneden zijn ook gevoelig voor zettingen. In volgende ontwerpfase moet worden aangetoond dat aan de restzettingseisen voor de waterkering wordt voldaan.
Voor beide deelgebieden geldt dat de natuurbuffer met talud 2:1 rekenkundig niet stabiel is, en dat er lokale oppervlakkige glijvlakken kunnen optreden. In het referentieproject Ooijen-Wanssum daarentegen is gebleken dat de steilrand in praktijk stabiel wel blijft. Op basis van expert judgement wordt verwacht dat voor dit project hetzelfde geldt. In de volgende ontwerpfase dient dit nader te worden onderbouwd.

De afmetingen van het principeontwerp zijn getoond in Figuur 4-5.



Figuur 4-5: Principeontwerp van de steilranddijk. Binnentalud bij De Paad-West 1:14, Bij De Paad Oost 1:8 a 1:10. Bij De Paad-West wordt er aan de voorzijde een aanvulling aangebracht om de valhoogte te reduceren (niet getekend)

4.5 Pipingscope en maatregelen

Piping (ook onderloopsheid genoemd) is gedefinieerd als het ontstaan van holle ruimte onder een waterkering (dijk, dam of kunstwerk), ten gevolge van een geconcentreerde kwelstroom waarbij gronddeeltjes worden meegevoerd. Of piping kan ontstaan hangt af van verschillende factoren zoals:

- verhang over de waterkering moet groot genoeg zijn;
- de karakteristieken van de ondergrond moeten zodanig zijn dat er zandtransport kan plaatsvinden;
- is er sprake van doorlatendheidscontrast tussen grondlagen, met een doorlatende laag (bijvoorbeeld zand) onder een minder doorlatende deklaag (bijvoorbeeld kleiiig);
- kan er in het geval van een deklaag kortsluiting ontstaan aan de binnenteen, met andere woorden barst de deklaag op?

In het kader van dit ontwerp is hier uitvoerig naar gekeken, en is met berekeningen onderbouwd op welke locaties piping kan optreden (pipingscope). Voor de locaties waar piping kan optreden is gekeken naar de toe te passen maatregelen.

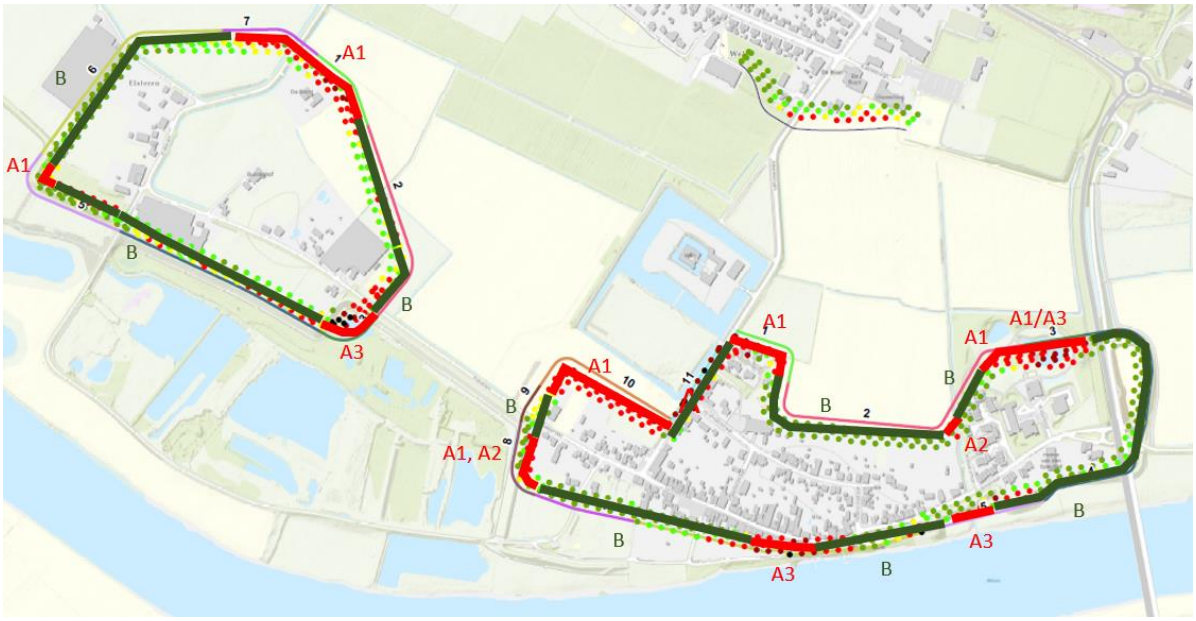
4.5.1 Pipingscope

Bij het bepalen van de pipingopgave voor de bestaande en nieuwe groene dijken is een hoekpuntenanalyse uitgevoerd waarbij is nagegaan welke invloed onzekerheden hebben op het wel of niet hebben van een opgave. Deze onzekerheden hebben betrekking op het ondergrondmodel, grondparameters, en de modelschematisatie in de rekenkundige analyses.
De hoekpuntenanalyse is een gevoeligheidsanalyse waarmee wordt verkend in welke mate de onzekerheidsmarge rond bepaalde parameters impact kan hebben op de opgave. Uit deze analyse volgt één van onderstaande uitkomsten:

A. zeker een pipingopgave ongeacht resterende onzekerheden;
B. zeker geen pipingopgave ongeacht resterende onzekerheden;
C. pipingopgave afhankelijk van resterende onzekerheden.

In bijlage 5 zijn de uitkomsten per deelgebied tabellarisch gepresenteerd. Zie ter illustratie ook Figuur 4-6 voor deelgebieden Elsteren en Oud Well. Zoals te zien is in deze figuur heeft de hoekpuntenanalyse geresulteerd in een onderverdeling tussen strekkingen met uitkomst A (zeker opgave) en uitkomst B

(geen opgave). De uitkomst is voor dit gebied dus stabiel gebleken, dat wil zeggen de pipingopgave is niet erg afhankelijk van restonzekerheden (uitkomst C). De volgende ontwerpfase kan zich richten op het vaststellen en ontwerpen van de type pipingmaatregel en het nader vaststellen van de exacte begrenzingen van de strekkingen die wel en geen pipingopagve hebben, ofwel de begrenzingen tussen de strekkingen met uitkomst A en B.



Figuur 4-6: Resultaten hoekpuntenanalyse voor Elsteren en Oud Well. De rode strekkingen geven aan waar een pipingopgave aanwezig is (uitkomst A van de hoekpuneten analyse). Op de groene strekkingen is geen pipingopgave (uitkomst B van de hoekpuntenanalyse). Let wel: de exacte begrenzingen tussen A en B kunnen niet uit deze kaart worden bepaald en dienen in een volgende fase te worden vastgesteld.

4.5.2 Pipingmaatregel

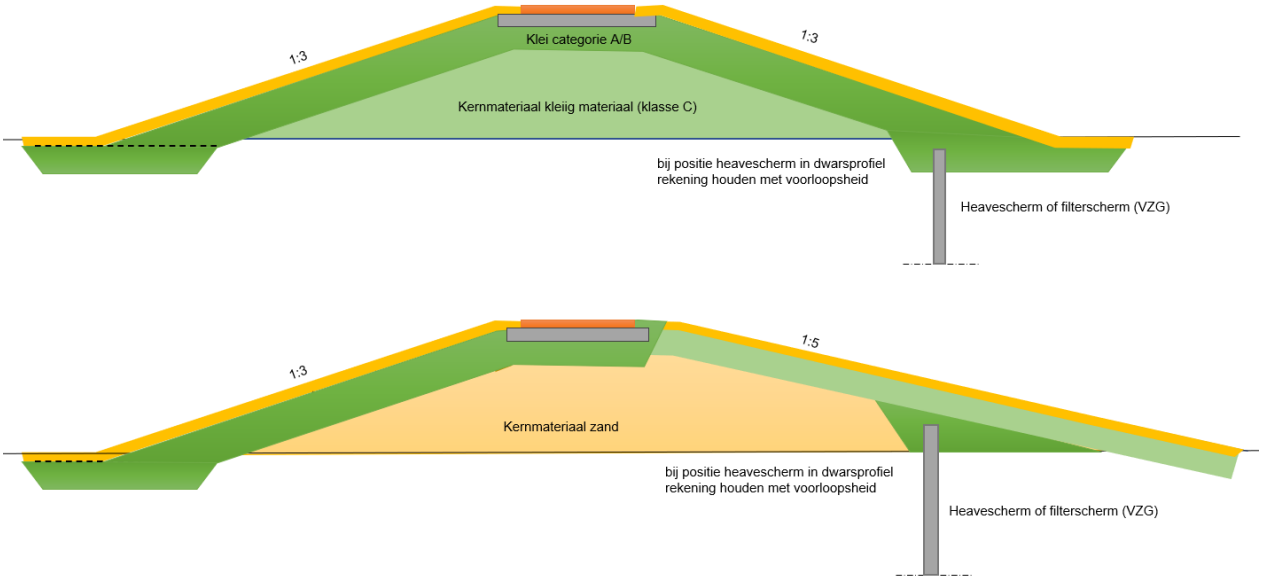
De volgende pipingmaatregelen zouden kunnen passen bij dit gebied:

1. Heaveschermen
2. Verticaal filter (VZG)
3. Horizontale filteroplossingen in combinatie met het verwijderen van de deklaag
4. Verleggen van sloten, filteren en ballasten van slootbodems

Andere pipingoplossingen liggen minder voor de hand in dit gebied. Zo zijn kwelwegverlengde maatregelen binnendijks (bermen) minder geschikt vanwege het ruimtebeslag. De mogelijkheden van kwelwegverlengde maatregelen in het voorland zijn beperkt door de korte afstand tot de rivier (bestaande dijken) en de randvoorwaarden vanuit de groene rivier (nieuwe dijken). Drainageoplossingen die zich richten op het tegengaan van het ontstaan van een zandmeevoerend zijn bij dunne cohesieve deklagen in dit van nature kwelgevoelige gebied niet realistisch omdat dit een buitenproportionele bemalings-inspanning zou vergen.

Voor de kostenraming van het referentie ontwerp (dit VO) is uitgegaan van heaveschermen. Vanuit het oogpunt van duurzaamheid en kosten wordt sterk aanbevolen om ook de filteroplossingen in een volgende fase nader te onderzoeken. Bij het kasteel Well is een horizontaal filter als voorkeursoplossing in het VO opgenomen. Deze oplossing zou ook goed bij de standaarddijken (1:3 en 1:5) kunnen passen maar vergt een gedetailleerde afstemming met de materialisering van de dijk zelf. Omdat hierin nog keuzen moeten worden gemaakt in de vervolgfase, is vooralsnog uitgegaan van heaveschermen, hetgeen

ook financieel voldoende dekking geeft voor andere oplossingen. In onderstaande figuur is schetsmatig aangegeven hoe het scherm als functionele component kan worden opgenomen in een integraal waterveiligheidsontwerp.



Figuur 4-7: schetsmatige weergave van pipingscherm als functionele component in de 1:3 en 1:5 standaardprofielen.

Het ontwerp van de pipingmaatregel is in dit VO op schetsniveau uitgewerkt. De schermen hebben een verticale lengte tussen 3,5m en 8m afhankelijk van de locatie. Als in het DO wordt gekozen voor de toepassing van heaveschermen kan door toepassing van nieuwe inzichten en rekenregels naar verwachting aanzienlijk op de lengtes worden bespaard. Daarnaast kan de mogelijkheid worden onderzocht van toepassing van andere materialen dan staal, bijvoorbeeld kunststof of wanden die worden gerealiseerd met soilmix technieken.

In de volgende fase moet de afweging tussen de diverse pipingoplossingen, de materialen en inbrengtechnieken nadere onderzocht worden. Hierbij zal aandacht moeten worden besteed aan gebiedskenmerken zolas het voorkomen van vastgepakte grindlagen, zie paragraaf 3.1. Binnen De InnovatieVersneller (DIV) wordt er doorlopend gewerkt aan landelijke kennisuitwisseling van praktijkervaringen rond pipingmaatregelen en innovatie technieken. Deze kennis kan in de volgende fase gebruikt worden om te komen tot de meest passende keuze.

5 Principeoplossingen waterkerende constructies

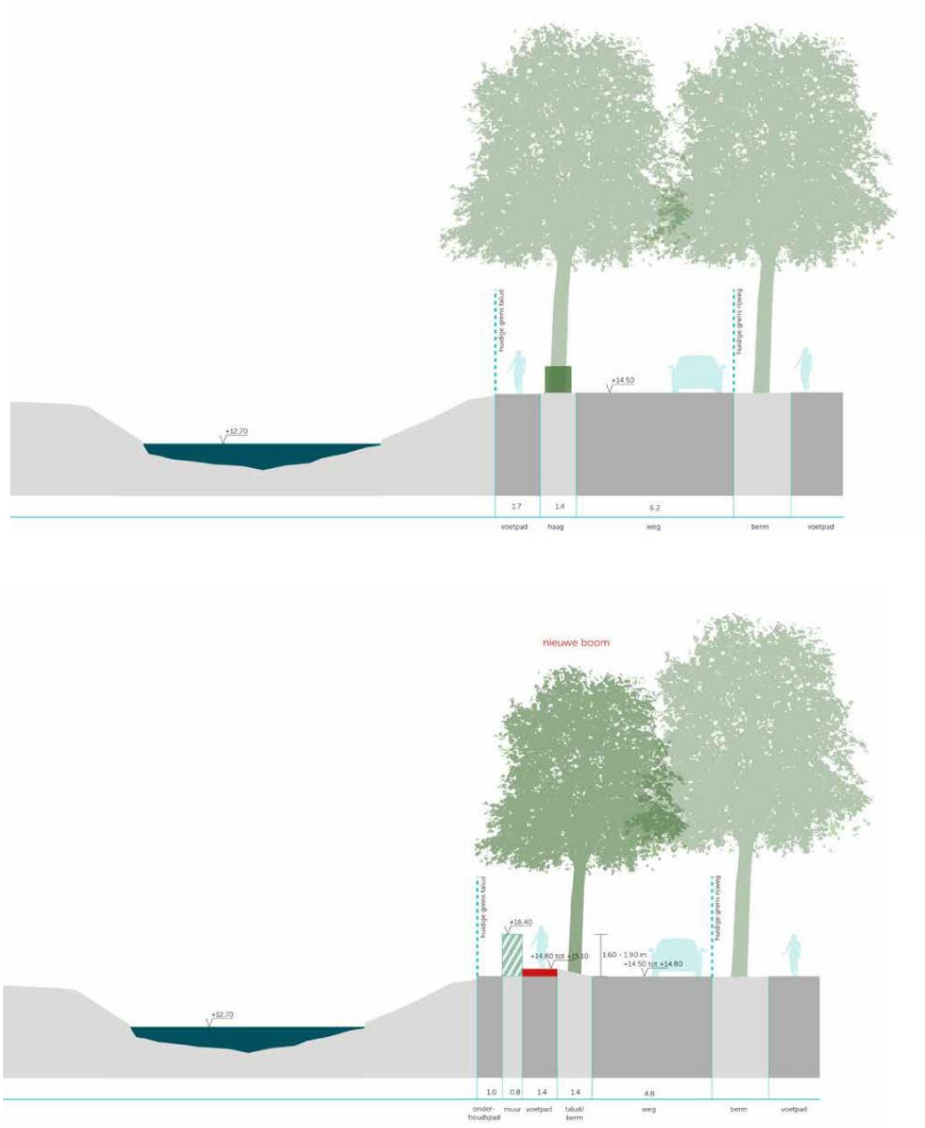
Het dorp oud Well ligt aan de zuidzijde tegen de Maas. Waar de bebouwing het dichtst tegen de maas ligt, er weinig ruimte is, en de beleving met de Maas belangrijk is, bestaat de waterkering in de huidige situatie uit muren en demontabele keringen (zie Figuur 5-1). Deze keringen voldoen niet meer aan de eisen en worden binnen dit project aangepast. Langs de kasteellaan komt er een nieuwe constructieve kering omdat hier onvoldoende ruimte is voor een groene dijk. In Nieuw Well moet de begraafplaats worden bescherm tegen hoogwater. Ook dit wordt gedeeltelijk een constructieve kering. Navolgend worden deze waterkerende constructies nader beschreven.



Figuur 5-1: Locatie constructies Oud Well

5.1 Kasteellaan

Op deze locatie is de beschikbare ruimte beperkt waardoor een groene kering niet mogelijk is. De kering in de Kasteellaan bestaat uit een constructieve wand die aan de hoge zijde van het talud wordt gesitueerd. De bovenzijde van de wand komt op NAP+16,15m ongeveer 1,2 tot 1,7m boven de bestaande weg. De Kasteellaan zelf wordt versmald en opnieuw ingericht.



Figuur 5-2: schematische doorsnede kasteel laan (oude en nieuwe situatie [1])

Indicatieve berekeningen tonen aan dat de keermuur bij de kasteellaan kan worden uitgevoerd als onverankerde stalen damwandconstructie (zie bijlage 6). De damwand is niet zichtbaar en wordt aan beide zijden esthetisch afgewerkt met een voormetseling.
De lengte van de damwand bedraagt circa 10 m. Er kan met een relatief licht damwandprofiel (AZ17) worden volstaan. Mogelijk is een zwaarder profiel nodig om de damwand schadevrij in te kunnen brengen. De verwachting is dat de damwand zonder omgevingsschade kan worden ingebracht. Indien nodig kan de grond per plank worden voorgeboord zodat de inbrengweerstand wordt gereduceerd. De stalen damwand kan worden voorzien van een bekleding zodat het aanzicht kan worden vormgegeven volgens landschappelijke wensen.

Als alternatief voor de stalen damwand is een op staal fundeerde betonnen L-muur beschouwd. Ook dit is een technisch haalbare oplossing. Het nadeel van deze oplossing is dat er aanzienlijk grondverzet nodig

[1] *De nieuwe situatie is hier nog ingetekend voor een ontwerplevensduur van 100 jaar met bijbehorende hoogte. Lopende het voorontwerp is besloten om de constructie adaptief te versterken met een ontwerplevensduur voor de bovenbouw van 50 jaar, resulterende in een lagere wand (NAP+16,15m, in plaats van NAP +16,40m).*

is om de wand op gewenste diepte te plaatsen. Deze constructie is naar verwachting aanzienlijk duurder dan een stalen damwand.

5.2 Oud Well achtertuinen

Ter plaatse van de achtertuinen in Oud Well wordt de huidige kering verwijderd en een nieuwe kering landschappelijk ingepast (zie Figuur *5-3*). De bovenzijde van de muur komt op NAP +15,10 m te liggen. De constructie steekt minimaal 30cm boven het maaiveld uit. In het westelijke deel keert de constructie ook grond, maximaal ongeveer 1,20m.
Op de constructie die aan de bovenzijde wordt afgewerkt met een deksloof wordt waterkerend glas bevestigd, dat een hoogte heeft van 1,35m. Bijna elke tuin krijgt een coupure.

In het VO is uitgegaan van een constructie waarbij de fundatie bestaat uit een stalen damwand die tevens als heavescherm fungeert. De damwand zelf is niet zichtbaar en wordt esthetisch afgewerkt.

Aandachtspunt voor dit traject is de korte afstand van de nieuwe kering tot de woningen. Vooral in het oostelijk deel is er weinig ruimte (minimaal 4m bij woning 13A). Voor dit gedeelte is een bureaustudie uitgevoerd naar de fundatie van de woningen (bijlage 7). Hieruit blijkt dat onderzochte woningen zijn gefundeerd op stroken en/of poeren-funderingen. De fundatie van de woningen wordt niet doorsneden door de nieuwe kering. De afstand is dusdanig dat het mogelijk is om (beperkte) ontgravingen uit te voeren ten bate van de aanleg van de fundatie van de kering. Het grootste risico is het aanbrengen van de heaveschermen. Het ontwerp, en de uitvoeringsmethode moet zo zijn dat de kans op (trillings-) schade wordt geminimaliseerd. Dit is maatwerk dat in het DO verder uitgewerkt moet worden.



Figuur 5-3: Oud Well achtertuinen

5.3 Oud Well Brienen

De waterkering bij Brienen (zie Figuur 5-1) is in de huidige situatie opgebouwd uit een stalen damwand met daarop een betonnen deksloof waarop een mobiele kering (aluminium schotbalken) kan worden

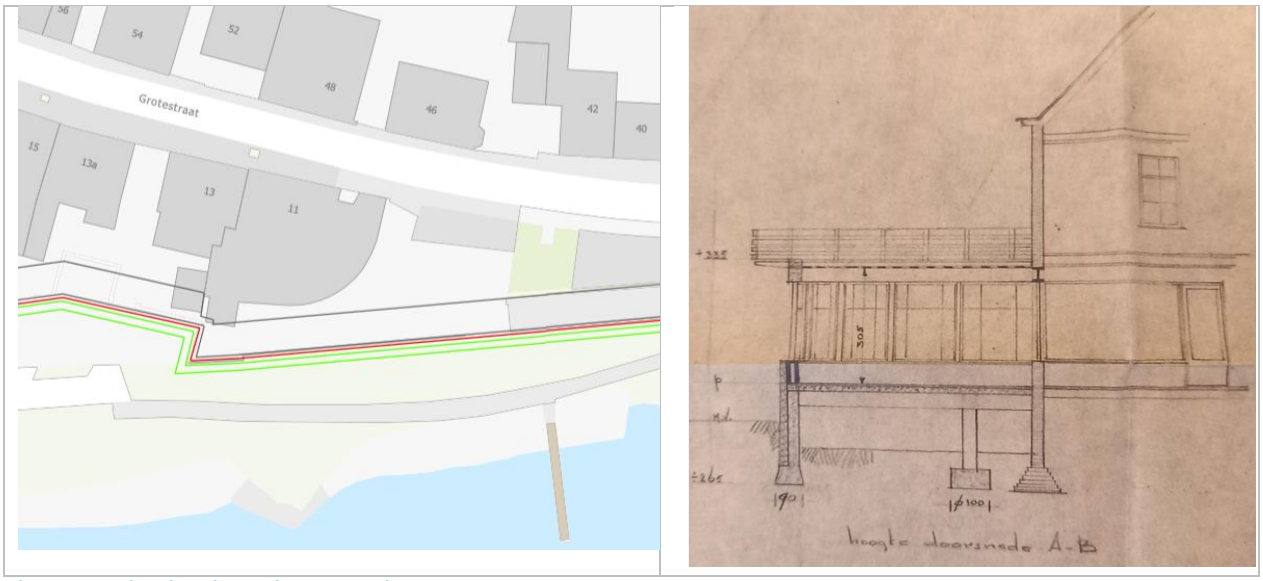
aangebracht. Bovenzijde van de deksloof ligt op ongeveer NAP +14,4 m. In de nieuwe situatie zal de drempelhoogte toenemen tot NAP +14,80 m. De deksloof wordt hiertoe vervangen maar de intentie is om de bestaande fundatie te hergebruiken. De opbouw van de constructie is aangeleverd door het waterschap, maar er wordt opgemerkt dat er geen “as-built” tekeningen zijn. Uit analyse voor piping en sterkte blijkt dat de bestaande damwand (conform de beperkt beschikbare informatie) voldoet onder de voorwaarde dat de constructie destijds zo is gebouwd zoals in de analyse is aangenomen (zie bijlage 8).



Figuur 5-4: Situatie Oud Well midden (links = dorpsplein, rechts boven = aansluiting op kerkhofmuur, rechts onder = situatie Brienen)

Bij het restaurant Brienen aan de Maas bevindt zich kort achter de waterkering een kelder, zie Figuur *5-5*. Volgens de beschikbare gegevens bestaat de kelderwand uit ongewapend stampbeton en is er geen constructieve keldervloer aanwezig. Uit analyse (bijlage 9) blijkt dat de kelderwand (vanuit geotechnisch oogpunt) niet stabiel is, en bij hoogwater rekenkundig zal bezwijken als gevolg van de passieve gronddruk die de waterkering bij hoog water “doorgeeft” aan de kelderwand. Dat de keldermuur in het verleden hoog water situaties heeft weerstaan betekent dat deze ten opzichte van de uitgevoerde berekeningen “reserve” heeft. De in dit VO uitgevoerde berekeningen hebben niet de diepgang om na te kunnen gaan hoe groot deze reserve is, en of deze reserve voldoende is om ook een nieuw hoog water (met een hogere belasting dan eerder) te kunnen weerstaan.

De constructie (damwand met mobiele kering) die de waterkering vormt en op enkele meters voor de kelderwand staat zal bezwijken als de kelderwand bezwijkt, maar is voldoende sterk en diep als de kelderwand stabiel is. Er zijn 2 oplossingen mogelijk: het opvullen van de kelder met grond, of het inwendig versterken van de keldervloer en de kelderwanden. Beide oplossingen zijn technisch goed mogelijk. De eerste optie heeft de voorkeur omdat de functies van gebouw en kering dan gescheiden worden, maar legt beperking op aan de gebruiksfuncties. Uitgangspunt voor het VO is dat de kelder wordt versterkt. In het DO zal nader naar deze maatwerk locatie worden gekeken.



Figuur 5-5: Situatie Brienen (nummer 11)

5.4 Oud Well Dorpsplein

Zie waterkering Brienen en Figuur *5-5*.. De constructie is hier hetzelfde maar de problematiek van de kelder speelt hier niet. Uit analyse blijkt dat de bestaande damwand voldoet (sterkte en piping) onder de voorwaarde dat de constructie destijds zo is gebouwd zoals in de analyse is aangenomen (zie bijlage 8).

5.5 Oud Well, Kerkhofmuur

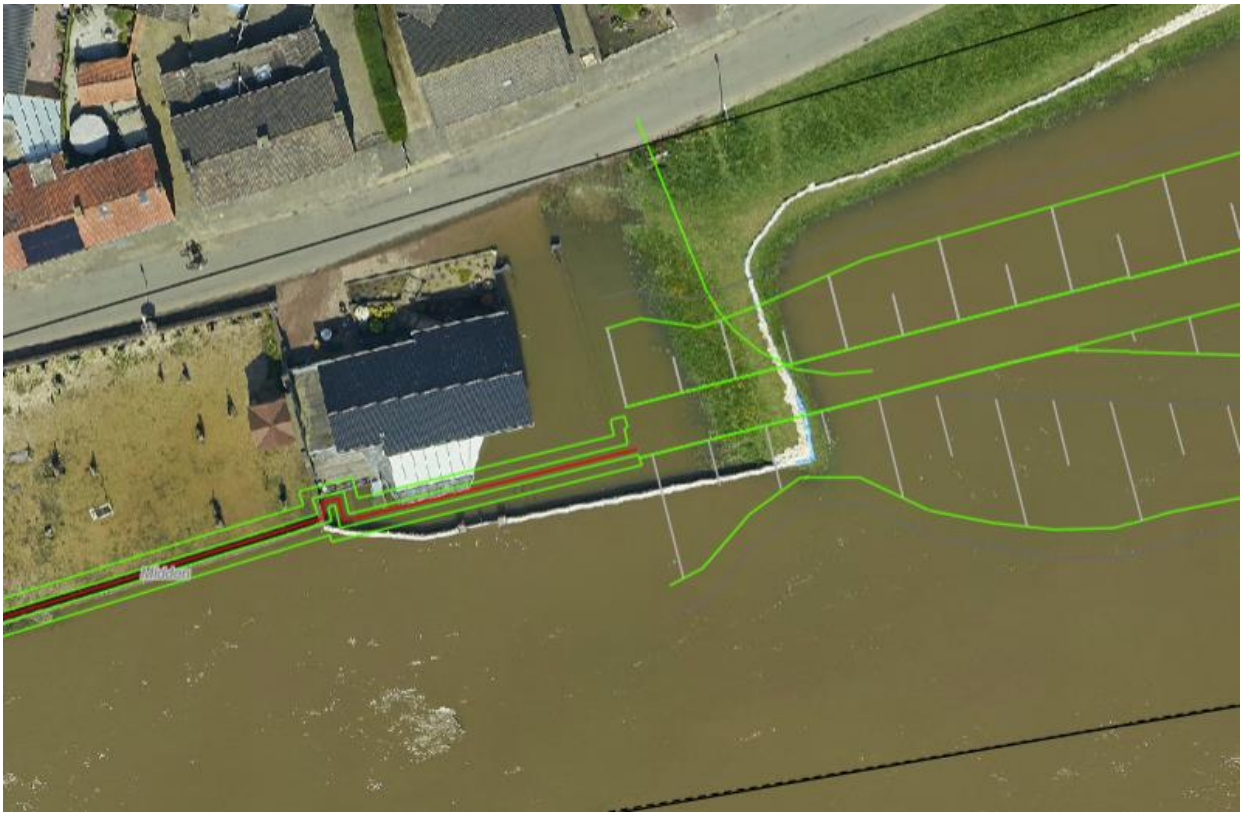
Als onderdeel van het aanpassen van de waterkering in Oud Well is in de huidige plannen opgenomen dat de bestaande muur tussen het oude kerkhof en de Maas onderdeel wordt van de kering.
Deze muur wordt gezien als een historische constructie waardoor de wens is het huidige karakter zo veel mogelijk in stand te houden.
De ontwerphoogte van de muur ligt op NAP +16,45 (HBN). De huidige hoogte varieert tussen NAP +16,62 (westzijde) en NAP +16,26 m (oostzijde), dus de muur wordt aan de bovenzijde opgemetseld. Omdat de muur in de loop van de tijd door diverse verbouwingen, vernielingen, restauraties en aanpassingen heeft ondergaan bestaat de huidige constructie uit diverse delen die samen de huidige muur vormen. In bijlage 10 is de sterkte van het historische metselwerk van de oude kerkhofmuur globaal getoetst. Uit de toetsing blijkt dat verwacht mag worden dat de muur in staat is om de waterdruk te keren maar opgemerkt wordt dat er bij gebrek aan gedetailleerde technische informatie van de muur wel onzekerheden en kanttekeningen zijn. Hierbij wordt gedacht aan in-homogeniteit, scheurvorming, temperatuureffecten, vegetatie, waterhuishouding in de constructie. In de DO fase moeten de volgende onderzoeken worden uitgevoerd:

- naar de geometrie van de muur (exacte hoogte van de overgang maar het muurdeel van 0,4 m dik) en de exacte dikte van het muurdeel wat nu als “0,4 m dik” is verondersteld;
- naar de werkelijk aanwezige constructieve eigenschappen van de bestaande constructie om de exacte sterkte van de muur beter te kunnen bepalen;
- of de waterhuishouding in de muur van invloed kan zijn op de constructieve sterkte van de muur;
- hoe moet worden omgegaan met eventuele vegetatie op de muur en welke invloed eventuele vegetatie heeft;
- nagaan of het nodig en mogelijk is om een “aanvaarbescherming” aan de Maaszijde van de historische muur aan te brengen.

Uit geotechnische berekeningen blijkt dat de muur vanuit geotechnisch oogpunt onder meerdere situaties stabiel blijft. Hetzelfde geldt voor de draagkracht van de ondergrond (zie bijlage 12).

5.6 Oud Well, Grotestraat 7A

Bij de Grotestraat 7A bestaat de huidige waterkering uit een muur. De muur sluit in het westen aan op de kerkhofmuur, en in het oosten op de groene kering (Figuur *5-6*). De groene dijk wordt hier naar buiten toe verlegd zodat een minder bochtig tracé ontstaat. In de nieuwe situatie komt de kering, en ook de muur bij 7A, in het verlengde van de kerkhofmuur te liggen. De constructie is in het VO niet uitgewerkt.



Figuur 5-6: Situatie Grotestraat 7A (situatie bij hoogwater). Overgang muur naar groene dijk op deze figuur niet uitgewerkt.

5.7 Begraafplaatsmuur

De begraafplaats in Nieuw Well ligt aan de steilrand ten noorden van de Groene rivier. De steilrand heeft hier een hoogte van circa 1,20m. Aan de westzijde van de begraafplaats sluit de steilranddijk aan. Aan de oostzijde is er hoge grond en geen waterkering nodig. De begraafplaats zelf ligt echter gedeeltelijk onder WBN (NAP +15,71m), het laagste deel op NAP +15,20m. Om inundatie te voorkomen wordt een muurtje aangebracht op de locatie zoals aangegeven in onderstaande figuur. De constructie is in het VO niet uitgewerkt. Er zijn verschillende mogelijkheden zoals een damwand, of een keerwand.



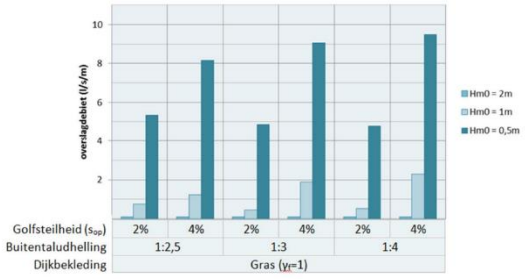
Figuur 5-7: Situatie begraafplaats Nieuw Well

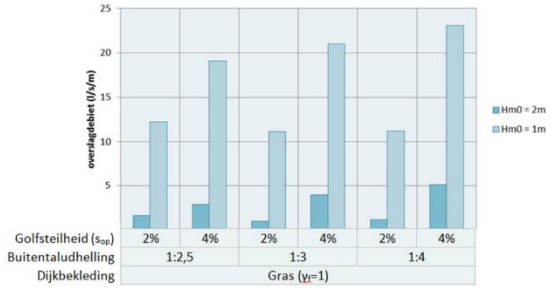
6 Hoogwaterontsluitingsroute Elsteren

De dam tussen Elsteren en Oud Well is een ontsluitingsroute voor de bewoners vanuit Elsteren. De huidige weg op de dam wordt opgehoogd tot een niveau waarbij de dam nog veilig berijdbaar is (zie Figuur 6-4). Vanuit landschappelijk oogpunt is er een wens om de dam lager aan te leggen dan de dijken van Elsteren en Oud-Well, en zo onderscheid te maken tussen beide structuren. De ontwerphoogte van de waterkering ligt bij de aansluitingen van de dam op NAP +16,35m. In dit hoofdstuk wordt de hoogte van de dam onderbouwd, en wordt ingegaan op het technische ontwerp van de dam.

6.1 Benodigde hoogte

In het POV document “Integrale benadering toegestaan golfoverslagdebiet“ [4], is een handvat gegeven voor begaanbaarheid van wandelaars en voertuigen bij golfoverslag. In Figuur 6-1 uit dit document is te zien dat bij golfcondities met een significante golfhoogte van 0,5 m en voor taludhellingen 1:2 á 1:3, de kruinhoogte van de dijk zodanig hoog moet zijn dat het gemiddeld overslagdebiet maximaal orde 5 l/s is wanneer personen (wandelaars, fietsers) veilig de dijk moeten kunnen betreden. Wanneer het voldoende is om alleen voertuigen toe te laten op de dijk kan een lagere kruinhoogte van de dijk volstaan met grotere gemiddelde overslagdebieten. Figuur 6-2 laat zien dat wanneer de maatgevende golfcondities een significante golfhoogte van 1 m of lager hebben de dijk nog steeds begaanbaar is voor voertuigen bij een kruinhoogte zodanig dat het gemiddeld overslagdebiet 10 l/s/m is.

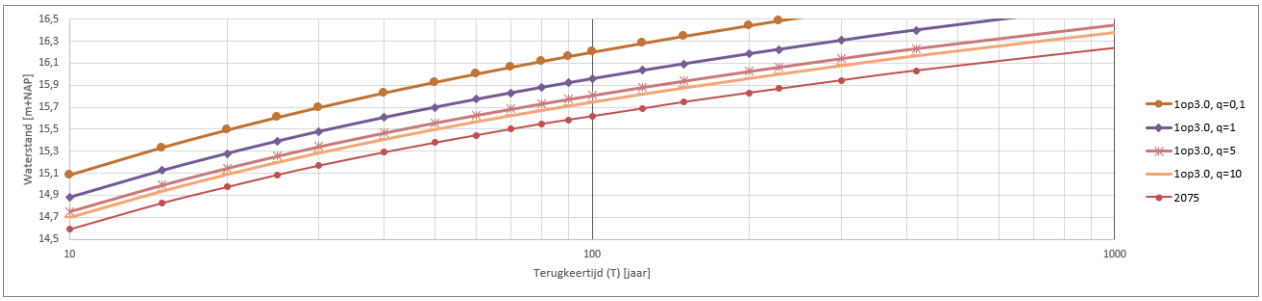




Figuur 6-1: Maximaal gemiddeld overslagdebiet waarbij personen op de dijk nog kunnen betreden.
Figuur 6-2: Maximaal gemiddeld overslagdebiet waarbij voertuigen op de dijk nog kunnen betreden.

.

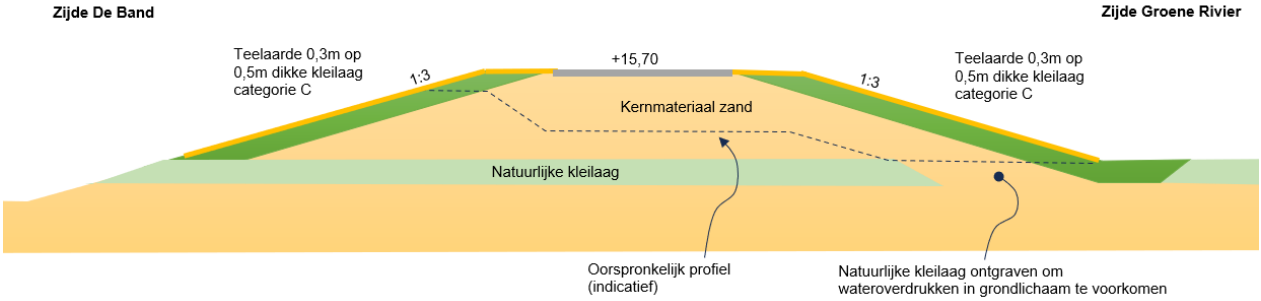
In Figuur 6-3 is voor de locatie van de dam de door WL berekende relatie weergegeven tussen kruinhoogte, terugkeertijd van de waterstand en overslagdebiet. Uit de figuur is het volgende te concluderen. Als de ontsluitingsweg op de 1/100 waterstand wordt aangelegd (WBN = NAP +15,70) en er maximaal 5 l/s/m wordt toegestaan moet er worden geëvacueerd bij een maaspeil van NAP +15,50m (0,20m onder WBN). Dit is een waterstand die met een terugkeertijd van 1/70^{e}. Als er maximaal 10 l/s/m wordt toegestaan moet er worden geëvacueerd bij een maaspeil van NAP +15,55m (0,15m onder WBN). Dit is een waterstand met een terugkeertijd van 1/90^{e}. Op basis van een standaard afvoer betekent dit dat er ongeveer 30 á 40 uur voor de piekafvoer moet worden geëvacueerd. Opgemerkt wordt dat de relatie van Figuur 6-3 gebaseerd is op berekeningen waarbij de begroeiing in de Band niet is meegenomen. Deze begroeiing zal grote remmende werking hebben op de golfhoogte. De analyse is daarmee conservatief en werkelijke terugkeertijden van waterstand zijn kleiner dan hierboven aangegeven. Bovenstaande analyse rechtvaardigt een ontwerphoogte van de dam op de ontwerpwaterstand van NAP +15,70m.



Figuur 6-3: Relatie tussen kruinhoogte, terugkeertijd van de waterstand en overslagdebiet voor locatie aan de zuidzijde van de ontsluitingsdam (taluds 1:3, zichtjaar 2075).

6.2 Geotechnisch ontwerp

Vanuit landschappelijk oogpunt is er een wens om de dam met steile taluds te realiseren en hiermee een visueel onderscheid te maken tussen de dam en de dijken van Elsteren en Oud Well waar de dam op aansluit.
Uit geotechnische analyse (zie bijlage 13) blijkt echter dan een talud steiler dan 1:3 in de situatie van een bijna volledig verzadigde dam, met aan weerszijden water op NAP+15,70m, niet voldoet aan de eisen van bouwbesluit (Eurocode). Steilere taluds zijn technisch wel mogelijk door te rekenen met bufferzones waarbij er wordt toegestaan dat er materiaal erodeert (principe steilranddijken). Een andere mogelijkheid is om te werken met geokunstoffen. Deze alternatieven zijn in het VO niet uitgewerkt. Een aandachtspunt bij de uitwerking van de dam is dat zich bij val van hoog water geen overdrukken in de dam kunnen opbouwen. Hiertoe moet (een deel van) de aanwezige kleilaag onder huidige de dam worden ontgraven en vervangen door zand of grind.



Figuur 6-4: Geometrische kenmerken hoogwaterontsluitingsroute Elsteren

7 Grondbalans

In dit hoofdstuk is de totale hoeveelheid binnen het project Groene Rivier Well vrijkomende grond per grondsoort bepaald, alsmede de benodigde hoeveelheid om nieuwe grondlichamen en aanvullingen aan te brengen. Het gaat hierbij om alle binnen het project vrijkomende en benodigde grondhoeveelheden. Met de totale balans is getoetst of de aanpak van grondgestuurd ontwerpen realistisch is geweest. Opgemerkt wordt dat de grondbalans ook een relatie heeft met fasering van het project, hier zijn aannamen gedaan. In de volgende fase wordt hier door de opdrachtnemer nauwkeuriger naar gekeken wat de grondbalans kan beïnvloeden.

In paragraaf 7.1 wordt ingegaan op de kwaliteit van het beschikbare vrijkomende materiaal in relatie tot de toepassing in de dijken. De resultaten van de grondbalans zij beschreven in paragraaf 7.2. Paragraaf

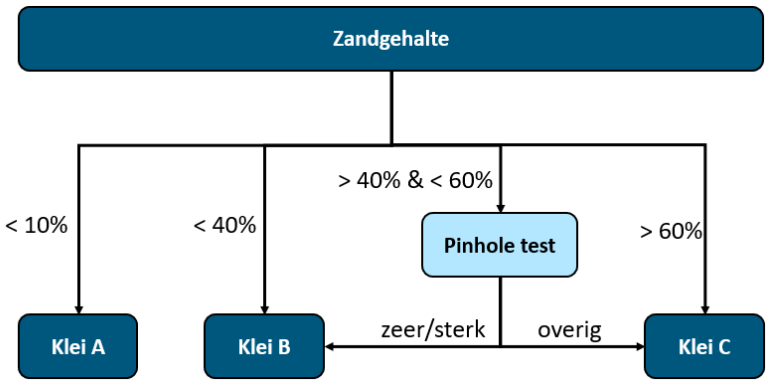
7.1 Fysische kwaliteit van het gebiedseigen materiaal

Ter bepaling van de geschiktheid van het gebiedseigen materiaal voor de constructie van de waterkeringen is laboratorium onderzoek uitgevoerd, bestaande uit onder andere classificatieproeven en triaxiaalproeven. In deze paragraaf zijn classificatieproeven beschouwd uit locaties waar grond ontgraven wordt en locaties waar zich reeds een dijk bevindt. Dit betreft het volgende beschikbaar gestelde grondonderzoek:

- Handboringen uit de Groene Rivier.
- Handboringen uit de Band.
- Handboringen en mechanische boringen uit de bestaande kruin van de waterkeringen en de verbindingsdam.

Normaliter wordt op basis van de resultaten van labonderzoek aan de hand van het Technisch Rapport Klei voor Dijken (TR17) [5] bepaald in hoeverre grond geschikt is als bekleding. Echter heeft de ondergrond in Limburg een sterk zandig karakter. Bij het volgen van het TR17 wordt er dan een grote hoeveelheid grond als ongeschikt beoordeeld. Uit meer recente inzichten [6] is gebleken dat zandig materiaal geschikter is dan voorheen gedacht. Om deze reden is binnen het project ‘Gebiedsontwikkeling Ooijen-Wanssum’ een project specifiek onderzoek verricht naar de grond in het gebied. Een resultaat van dit onderzoek was een meer geschikte classificatie van de gebiedseigen klei. Vanwege de korte afstand van Well tot Ooijen-Wanssum is besloten om binnen project Gebiedsontwikkeling Groene Rivier Well dezelfde classificatie te hanteren. Tevens valt ‘Gebiedsontwikkeling Ooijen-Wanssum’ binnen de Noordelijke Maasvallei.

Voor ‘Ooijen-Wanssum’ zijn 3 types klei onderscheiden; klei A, klei B en Klei C. Van deze types zijn klei A en klei B geschikt als dijkmateriaal. In grote lijnen is de classificatie van het type klei afhankelijk van het zandgehalte en van het resultaat van een (mogelijke) pinhole test. In Figuur 7-1 is de wijze van classificatie visueel gepresenteerd.



Figuur 7-1: Classificatie van klei die gehanteerd is in het project 'Gebiedsontwikkeling Ooijen-Wanssum.' Bij een zandgehalte tussen de 40% en 60% zijn er manieren om te onderscheiden tussen klei B en klei C dan zoals getoond.

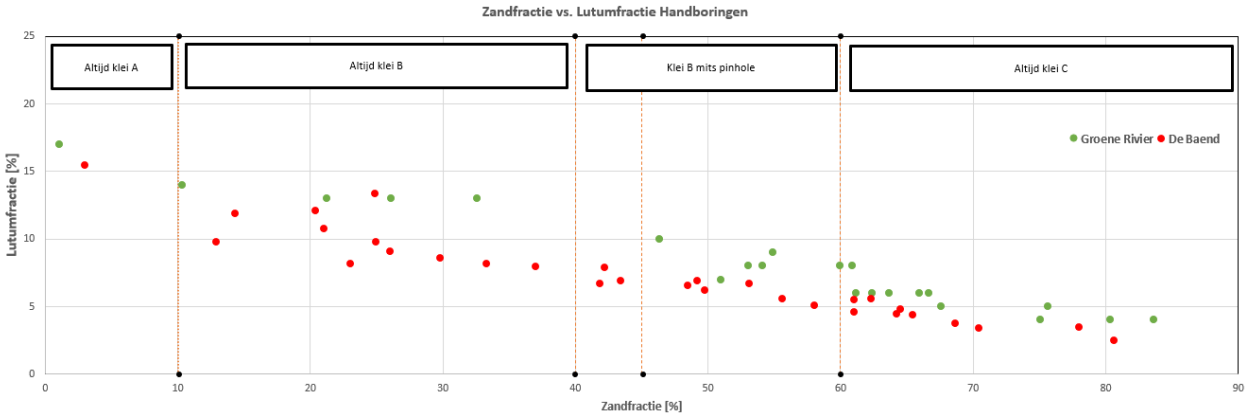
Op basis van het beschouwde grondonderzoek is aan de hand van deze onderverdeling een classificatie opgesteld voor het project 'Gebiedsontwikkeling Groene Rivier Well. Hierbij is een onderscheid gemaakt tussen de klei die uit grond ontgraven wordt en klei die in de huidige dijken is gebruikt.

Ten behoeve van de klei die wordt ontgraven zijn handboringen uit de Groene Rivier, uit de Band en uit de bestaande dijken beschouwd. De resultaten van het van het laboratoriumonderzoek zijn weergegeven in Figuur 7-2. Uit de resultaten blijkt dat de grootste hoeveelheid geschikte klei afkomstig is uit de Band. Met aanvullend onderzoek in de vorm van pinhole tests kan meer zekerheid worden verkregen over toepassing van categorie B klei.

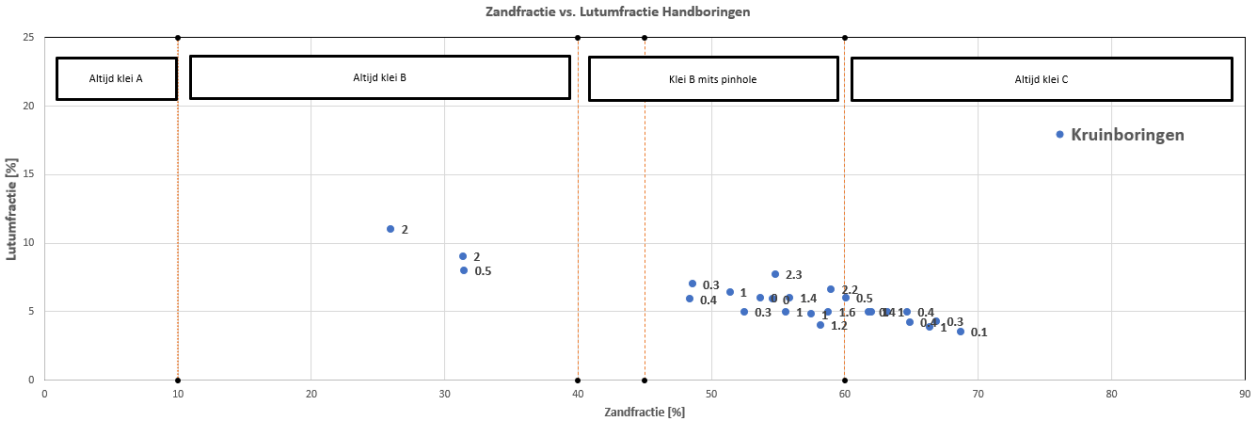
Tabel 7-1: Percentages van de kleiclassificaties.

Classificatie	Percentage Groene Rivier en De Band	Percentage Bestaande dijken
Klei A	4,0	0,0
Klei B	31,5	10,0
Klei B (mogelijk o.b.v. pinhole)	31,5	40,0
Klei C	33,0	50,0

De resultaten van de classificatieproeven van de klei uit de bestaande dijk zijn gepresenteerd in Figuur 7-3. Opgemerkt wordt dat een grote hoeveelheid van de onderzochte monsters erg zandig zijn. Een relatief grote hoeveelheid wordt geclassificeerd als Klei C.

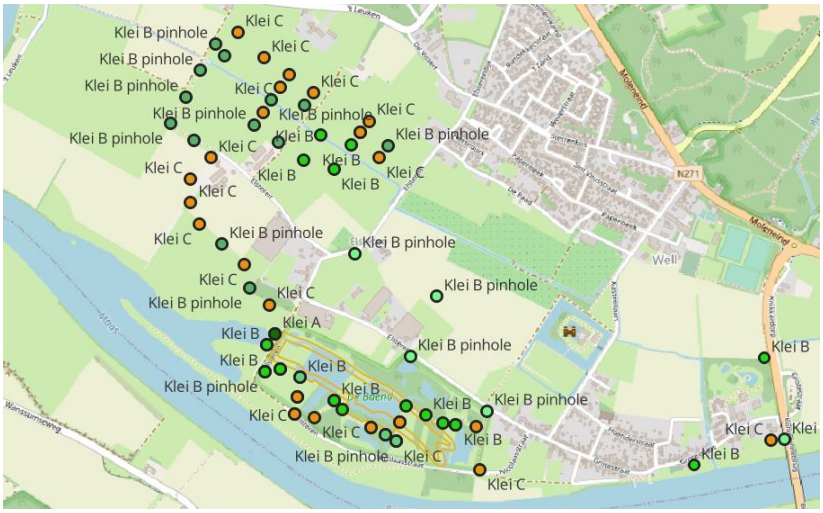


Figuur 7-2: Resultaten van de classificatieproeven van de klei uit de Groene Rivier en De Baend. Bij de classificatie is het onderzoek van project 'Gebiedsontwikkeling Ooijen-Wanssum' gevolgd.



Figuur 7-3: Resultaten van de classificatieproeven van de klei uit de kruin van de bestaande dijk tussen 't Leuken en Elsteren. Bij de classificatie is het onderzoek van project 'Gebiedsontwikkeling Ooijen-Wanssum' gevolgd. De getallen naast de punten geven de diepte (t.o.v. maaiveld) van de bovenkant van het monster.

Figuur 7-4 geeft inzicht in de ruimtelijke variabiliteit van de kleikwaliteit. In een volgende ontwerp fase zal moeten worden nagegaan in hoeverre het in de praktijk haalbaar is om partijen ruimtelijk te definiëren en gescheiden te ontgraven. In het VO is hiermee geen rekening gehouden en zijn de hierboven genoemde percentages als uitgangspunt gehanteerd in de grondbalans. Ten tijde van de het uitwerken van de grondbalans waren er geen monsters beschikbaar uit de oostzijde van de Groene Rivier.



.

Figuur 7-4: Locaties van de resultaten van de classificatieproeven. Bij meerdere monsters per boring is het monster dichtst tegen het maaiveld weergegeven. Klei B pinhole staat voor klei die met behulp van een pinhole test mogelijk als klei B kan worden geclassificeerd conform het onderzoek van project 'Gebiedsontwikkeling Ooijen-Wanssum'.

7.2 Resultaten grondbalans

Onderstaande tabel geeft een samenvattend overzicht van de grondbalans van het totale project Groene Rivier Well.

In de kolom verwerking zijn de benodigde hoeveelheden opgenomen voor de realisatie van de waterkeringen en de aan te leggen wegen. Voor de opbouw van de dijken is rekening gehouden met de opbouw zoals omschreven in paragraaf 4.1. Bij de verwerking staan de grondsoorten/-classificaties met de toevoeging AW2000. Dit dient grond te zijn die voldoet aan de kwaliteitseis “Landbouw of natuur” (in de oude wet- en regelgeving aangeduid met achtergrondwaarde AW2000). De kruin en het binnentalud zijn in de hoeveelheden afzonderlijk bepaald gezien de kwaliteitseis van de vrijkomende grond niet altijd voldoet aan “Landbouw of natuur”.
De daaropvolgende kolommen hergebruik, leveren en afvoeren zijn bepaald inclusief het faseringsverlies, als gevolg van de aanleg van een tijdelijke waterkering en het behoud van een bestaande kering. Door deze fasering is het noodzakelijk om dus grond te leveren, terwijl deze aan het eind van het werk weer afgevoerd moet worden.

Tabel 7-2: Grondbalans , hoeveelheden in m3

	vrijkomend	verwerken	hergebruik	leveren	afvoeren
klei A/B	84.760	77.649	77.649	8.627	15.737
klei A/B AW2000	-	44.879	-	44.879	-
klei C	73.245	37.755	37.755	-	35.490
Veen	7.334	-	-	-	7.334
Zand	113.650	110.978	102.235	8.876	20.291
zand AW2000	-	2.778	-	2.778	-
zand, grindig	29.283	-	10.145	-	19.138
slib	14.009	-	-	-	14.009
leeflaag	155.937	38.658	38.658	-	117.279
leeflaag AW	-	62.480	-	62.480	-
Totaal	**478.217**	**375.177**	**266.442**	**127.640**	**229.277**

De vrijkomende grond is afkomstig uit de Band, de Groene Rivier, de bestaande dijken en de locaties van de nieuwe dijken. Deze vrijkomende grond is onderverdeeld in een aantal grondsoorten en grondclassificaties (zie paragraaf 7.1).

In totaal dient er ca. 480.000 m^3 te worden ontgraven, ca. 375.000 m^3 te worden verwerkt. Van de te verwerken grond komt ruim 70% vrij uit het werk, de overige 30% moet worden geleverd en aan het einde van het werk is er ca. 230.000 m^3 grond afgevoerd, waarvan ca. 50 % bestaat uit een leeflaag met een kwaliteitseis die niet voldoet aan “Landbouw of natuur”.

8 Referenties

[1] Gebiedsontwikkeling Groene Rivier Well, Technische Uitgangspunten Notitie Waterkeringen, Royal HaskoningDHV, 20240906_BJ1000_W3210-2

[2] Gebiedsontwikkeling Groene Rivier Well, Technisch ontwerp waterkering kasteel, Royal HaskoningDHV, 20240903_BJ1000_W3420-3

[3] Technisch kader toepassing gebiedseigen grond, 4 Oktober 2022

[4] Integrale benadering toegestaan golfoverslagdebiet, POV, 17 december 2018

[5] Technisch rapport klei voor dijken, TAW, mei 1996

[6] Technisch kader toepassing gebiedseigen grond: Van richtlijngestuurd ontwerp naar grondgestuurd ontwerp, IPM team en schrijfteam POV-DGG, 4 oktober 2022

[7] Ontwerpnota VO1 Groene Rivier Well, Onderbouwing VO1 Groene Rivier & De Band, Royal HaskoningDHV, 28 november 2023