

RAPPORT

Gebiedsontwikkeling Groene Rivier Well

Technische Uitgangspunten Notitie Waterkeringen

Klant: Waterschap Limburg

Referentie: 20250306_BJ1000_W3210-2_Technische
Uitgangspunten Notitie Waterkeringen_C05

Status: Definitief

Datum: 6 maart 2025

HASKONINGDHV NEDERLAND B.V.

Jonkerbosplein 52
6534 AB Nijmegen

Trade register number: 56515154

Telefoon: +31 88 348 70 00

Email: info@rhdhv.com

Website: royalhaskoningdhv.com

Titel document: Gebiedsontwikkeling Groene Rivier Well

Ondertitel:

Referentie: 20250306_BJ1000_W3210-2_Technische Uitgangspunten Notitie
Waterkeringen_C05

Status: Definitief

Datum: 6 maart 2025

Projectnaam: Gebiedsontwikkeling Well

Projectnummer: BJ1000

Auteur(s): Monique Sanders

Opgesteld door: Monique Sanders

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 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.

Inhoud

1	Inleiding	7
1.1	Achtergrond en aanleiding	7
1.2	Visie en doelstelling project	9
1.3	Doelstelling en status van het rapport	9
1.4	Inhoud	10
1.5	Dijktypologie	10
2	Ontwerp instrumentarium	11
2.1	Overstromingskansnorm	11
2.2	Gebruik Ontwerp Instrumentarium	11
2.2.1	Ontwerp Instrumentarium 2014	11
2.2.2	Omgaan met onzekerheden	12
2.3	Gebruik van de Werkwijzer Ontwerpen Waterkerende Kunstwerken	12
2.4	Ontwerpverificatie overige functies	13
2.5	Signaleringswaarde en Maximaal Toelaatbare Kans	13
2.5.1	Eisen voor de beschouwde normtrajecten	13
2.5.2	Maatwerkoplossingen De Kamp en Kasteel	14
2.6	Faalkansruimte	14
2.7	Faalkanseis op doorsnedeniveau voor waterkerende grondlichamen	15
2.7.1	Faalkanseis Hoogte (overloop en overslag)	15
2.7.2	Faalkanseis opbarsten en piping (STPH)	16
2.7.3	Faalkanseis Stabiliteit Binnenwaarts (STBI)	16
2.7.4	Faalkanseis Stabiliteit Buitenwaarts (STBU)	17
2.7.5	Faalkanseis Erosie Grasbekleding (GEBU)	17
2.7.6	Overzicht faalkanseisen op doorsnedeniveau	17
2.8	Faalkanseis op doorsnedeniveau voor kunstwerken	18
2.8.1	Faalkanseis Niet Sluiten	18
2.8.2	Faalkanseis Piping	19
2.8.3	Constructief Falen	19
2.8.4	Overzicht faalkanseisen op doorsnedeniveau	20
2.9	Ontwerplevensduur	20
3	Geometrische uitgangspunten	21
3.1	Kruinbreedte	21
3.2	Ontwerphoogte	21
3.3	Beheer en onderhoudsstroken	21
3.4	Autonome bodemdaling	21
3.5	Geometrische eisen grondwal kasteel	21

4	Belastingen	22
4.1	Maximaal toelaatbaar overslagdebiet	22
4.2	Hydraulische Randvoorwaarden Hoogwater Maas	22
4.2.1	Hydraulisch Belasting Niveau	22
4.2.2	Ontwerpwaterstand geotechnisch faalmechanismen (WBN)	24
4.2.3	Ontwerpwaterstand constructief falen (kunstwerken)	24
4.2.4	Klimaatscenario's en onzekerheidstoets	25
4.3	Golfbelasting	26
4.4	Overige hydraulische belastingen	26
4.4.1	Rivierwaterstand gemiddelde omstandigheden (GW)	26
4.4.2	Val na hoogwater	26
4.4.3	Snelle val	26
4.4.4	Stroomsnelheden	26
4.5	Grondwaterstanden achterland	27
4.6	Verkeersbelasting	27
4.7	Aardbevingsbelasting	27
4.8	Overige belastingen	27
4.8.1	Belasting door ijs	27
4.8.2	Stootbelasting	28
4.8.3	Vandalisme	28
4.8.4	Aanvaarbelasting	28
5	Duurzaamheid	29
5.1	Duurzaamheidsdoelen en -ambities	29
5.2	Grondgestuurd ontwerpen	30
5.2.1	Aanpak	30
5.2.2	Classificatie aanwezige grond	30
6	Schematisering dijk en ondergrond	32
6.1	Interpretatie grondonderzoek	32
6.2	Ruimtelijk ondergrondmodel	32
6.3	Dijkopbouw	33
6.3.1	Bestaande dijken	33
6.3.2	Nieuwe dijken	33
6.4	Geohydrologische eigenschappen	33
6.4.1	Ondergrond	33
7	Grondparameters	35
7.1	Proevenverzameling	35
7.1.1	Voorheen uitgevoerd grondonderzoek	35
7.1.2	Grondonderzoek voor de huidige fase	35
7.2	Grondparameters voor ontwerpen grondconstructies	35

7.3	Grondparameters voor geotechnische stabiliteit constructies	36
7.4	Parameters zetting en klink	37
7.5	Parameters piping	37
8	Schematisering waterspanningen	38
8.1.1	Belastingssituaties	38
8.1.2	Detailniveau	38
8.2	Waterspanningen dagelijkse situatie	38
8.3	Waterspanningen bij extreme neerslag	38
8.3.1	Freatische lijn (PL1)	39
8.3.2	Stijghoogte watervoerend pakket (PL3)	39
8.3.3	Waterspanningsverloop	39
8.4	Waterspanningen bij hoogwater (STBI)	39
8.4.1	Freatische lijn (PL1) zonder overslag	39
8.4.2	Freatische lijn (PL1) bij significant overslag	40
8.4.3	Stijghoogten watervoerend pakket (PL3)	40
8.4.4	Waterspanningsverloop	41
8.5	Waterspanningen bij val na hoogwater (STBU)	41
8.5.1	Freatische lijn (PL1) bij val vanaf WBN	41
8.5.2	Freatische lijn (PL1) bij strijken stuw	41
8.5.3	Stijghoogten watervoerend pakket (PL3)	42
8.5.4	Waterspanningsverloop	42
9	Hoogte (HT, HTKW)	43
9.1	Hoogte groene dijken (HT)	43
9.1.1	Overslagdebiet en grasbekleding binnentalud	43
9.1.2	Zetting en klink	44
9.1.3	Benodigde kruinhoogte groene dijken	45
9.1.4	Abrupte overgangen in hoogte opgave groene dijken	45
9.2	Hoogte kunstwerken (HTKW)	45
9.3	Drempelhoogtes	45
10	Betrouwbaarheid sluiten (BSKW)	47
10.1	Lengte-effect	47
10.2	Faalkans coupures	47
10.3	Faalkans afsluiters	47
11	Constructief falen (STKW)	48
12	Piping (STPH, PKW)	49
12.1	Piping bij groene dijken (STPH)	49
12.1.1	Omgaan met onzekerheden (hoekpuntenanalyse)	49
12.1.2	Pipinganalyse	49

12.1.3	Verificatie van berekende faalkans	50
12.1.4	Categorie-indeling WBI	50
12.1.5	Rekenlocaties	51
12.1.6	Maaiveldhoogte bij uittredepunt	51
12.1.7	Binnendijks grondwaterpeil	52
12.1.8	Stijghoogte opbarsten en heave	52
12.1.9	Volumiek gewicht deklaag	52
12.1.10	Standaardparameters Sellmeijer	52
12.1.11	Locatiespecifieke parameters	53
12.2	Ontwerp pipingmaatregelen groene dijken (STPH) en piping bij kunstwerken (PKW)	53
12.2.1	Algemeen	53
12.2.2	Heaveschermen	53
13	Macrostabieliteit (STBI en STBU)	54
13.1	Veiligheidsfactoren macrostabieliteit	54
13.1.1	Faalkans en schadefactor γ_n	54
13.1.2	Materiaalfactor γ_m	54
13.1.3	Modelfactoren γ_d	55
13.1.4	Schematiseringsfactor γ_b	55
13.2	Macrostabieliteit binnenwaarts (STBI)	55
13.2.1	Macrostabieliteit bij opbarsten	56
13.2.2	Steilranddijken	56
13.3	Macrostabieliteit buitenwaarts (STBU)	56
13.3.1	Belastinggevallen	56
14	Microstabieliteit (STMI)	58
15	Bekleding (GEBU, GEK, GABU en GABI)	59
15.1	Functionele eisen	59
15.2	Erosiebestendigheid	59
15.2.1	Teelaarde (schrake klei)	59
15.2.2	Grasmat	60
15.3	Afschuiving bekleding (GABU en GABI)	60
15.4	Waterdichtheid	60
15.5	Afmetingen bekledingslagen	61
16	Zettingsvloeiing (statisch)	62
17	Niet-waterkerende objecten (leidingen, bebouwing en BBB)	63
18	Ontwerp overig	64
18.1	Dijkkern	64
18.2	Klei-inkassing	64
18.2.1	Glazen kering	64

1 Inleiding

In voorliggend document zijn de technische uitgangspunten beschreven die worden gehanteerd voor de technische (versterkings-)ontwerpen van nieuwe en bestaande waterkeringen binnen de Gebiedsontwikkeling Groene Rivier Well, fase voorlopig ontwerp. Het product van deze fase is een referentieontwerp voor de realisatiefase.

In het referentieontwerp wordt het definitief tracé en ruimtebeslag van de waterkeringen bepaald en worden de haalbaarheid van verschillende type oplossingsrichtingen voor de waterkerende constructies bepaald.

1.1 Achtergrond en aanleiding

Het project 'Gebiedsontwikkeling Groene Rivier Well' in de gemeente Bergen is onderdeel van het programma Noordelijke Maasvallei dat als onderdeel van het Hoogwaterbeschermingsprogramma wordt uitgevoerd. De dijken binnen het Programma HWBP Noordelijke Maasvallei voldoen niet aan de wettelijke normen voor waterveiligheid en zijn derhalve afgekeurd. Onderstaande figuur toont de huidige ligging van dijktraject 60-1.



Figuur 1-1: Huidig traject 60-1 [5]

Voor het te versterken traject is in 2022 een Voorkeursalternatief (VKA) opgesteld waarbinnen een tracé is vastgelegd voor de te versterken waterkering. Voorliggend document is onderdeel van de planuitwerkingsfase waarbinnen een Projectbesluit Omgevingswet wordt voorbereid.

In het projectgebied Groene Rivier Well wordt de ligging van het dijktracé aangepast, als gevolg van inpassing van de groene rivier in het gebied. In plaats van een aaneengesloten dijktraject 60-1, worden drie aparte dijktrajecten aangelegd rondom Nieuw-Well (60-1), Oud-Well bestaande uit 't Leuken, De Paad west en De Paad Oost (60-2) en Elsteren (60-3) (zie Figuur 1-2 en Figuur 1-3). Dit worden 3 afzonderlijke normtrajecten met een ondergrens van 1/100 per jaar. Daarnaast worden enkele maatwerkoplossingen toegepast: bij de Kamp en bij Kasteel Well. Deze maatwerkoplossingen zijn geen genormeerde dijktrajecten, en komen buitendijks te liggen.

LEGENDA

DKR

- Kuiflijn d&k
- Constructiefijs glas
- Demonteerbare constructie
- Dikbuis
- Dijklicham
- Steilwanddijk
- Steilwand
- Capure

MAATWERK

- Woning, openruimte
- Aanhefing kade / aanvoerende grond ophefing
- Constructiefijs maatwerk
- Maatwerk kening (grondlicham)
- Bestaande waterkering, te vernieuwen
- Maatwerk kasten

GROENE RIJVER

- Riviergrind
- Reefmateriaal
- Reefgrasland
- Grasland
- Landbouw
- Oever-De-Band
- Aanplanting Maatschap op riviergrind
- Alternatieve aanplanting Maatschap op riviergrind
- Maatschap
- Sofitatie bomen
- Boeshaag
- Bomenrij
- Hoogstamboomgaard
- Waterfontein

VERKEER

- Oorsluitingsroute wegen
- Oorsluitingsroute fiets
- Hoogsteaanplantingsroute
- Dijkovergang locatie-indicator
- Brug N270
- Weggen door Groene Rijk

PLAN MAASGAST WĖJ

- Concreetgrens ontgraving, 13-10-2020
- Water Maasgast Wijk, 13-10-2020
- Neder te bouwen aanplanting rijkten groene rijkten en Maasgast WĖj

8

1.2 Visie en doelstelling project

De Gebiedsontwikkeling Groene Rivier Well is ook een duurzaam project. Met dit project worden, op kleine schaal, zowel de gevolgen als de oorzaken van de klimaatverandering tegengegaan. Hiermee zetten we de Gebiedsontwikkeling Groene Rivier Well op de kaart als een van de duurzaamste landelijke voorbeeldprojecten. Zo wordt de grond uit het gebied direct benut voor de aanleg van de waterkeringen. Dit zorgt voor een minimale uitstoot tijdens de werkzaamheden. Maar ook daarna blijft het gebied bijdragen aan een gezond klimaat. Het wordt een natuurlijk gebied waar natuurinclusieve landbouw voedselproductie combineert met landschapsbeheer, belevingswaarde, een gezonde bodem en een hoge biodiversiteit. Kortom: de ruimtelijke kwaliteit van het gehele gebied wordt met deze integrale werkwijze op een hoger niveau gebracht.

Dit alles vraagt om slim samenspel met partners en betrokkenen. Samen bepalen we wat belangrijk is voor het gebied. Passend bij de bijzondere ontstaansgeschiedenis en klaar voor de toekomst. Zo bouwen we samen aan een hoogwaterveilig, klimaatbestendig én aantrekkelijk Limburgs Maaslandschap. Ook in het karakteristieke en cultuurhistorische interessante Well met onder andere haar Rijksmonumentale kasteel.

1.3 Doelstelling en status van het rapport

Dit document heeft tot doel om de technische uitgangspunten voor het ontwerp van de waterkering eenduidig vast te leggen. De uitgangspunten in dit document zijn gedeeltelijk een interpretatie van de uitgangspunten die door het waterschap in eerdere fases zijn opgesteld ([5] en [6]). Daarnaast zijn bij enkele onderwerpen uitgangspunten op basis van nieuwe ontwikkelingen toegelicht in het document.

Dit rapport is opgesteld ten bate van het referentieontwerp, maar het is daarnaast ook een bindend document voor het ontwerp van realisatiefase. Daartoe is onderscheid gemaakt in eisen en uitgangspunten. De eisen zijn bindend, er kan alleen van worden afgeweken in overleg en met toestemming van de opdrachtgever.

Omdat het referentieontwerp in het algemeen conservatief is ontworpen, is er bij de totstandkoming van de uitgangspunten in dit document niet altijd gezocht naar maximale aanscherping. Voor de realisatiefase wordt de opdrachtnemer uitgedaagd om het ontwerp waar nodig te optimaliseren, met als doel om binnen de wettelijke kaders en vergunningen tot een sober en doelmatig en duurzaam ontwerp te komen. Dit kan onder andere door kritische beschouwing van de in dit rapport benoemde uitgangspunten, zoals schematisering van waterspanningen en ondergrond. Waar nodig kunnen uitgangspunten, mits goed onderbouwd en in overleg met de opdrachtgever, worden aangescherpt.

Tabel 1-1 geeft een overzicht van de delen van deze rapportage die bindend zijn.

Tabel 1-1: overzicht van de delen van deze rapportage die bindend zijn

Hoofdstuk/paragraaf	Onderwerp
Hoofdstuk 2	Ontwerpinstrumentarium
Hoofdstuk 3	Geometrische uitgangspunten
Hoofdstuk 4	Belastingen
Hoofdstuk 9	Hoogte
Hoofdstuk 10	Betrouwbaarheid sluiten
Hoofdstuk 18	Ontwerp overig

1.4 Inhoud

In voorliggend document wordt o.a. ingegaan op de eisen en uitgangspunten die ten grondslag liggen aan de ontwerpen voor:

- de hoogte van de kering met dijk, vaste constructies, demontabele keringen en coupures;
- de taludhellingen van het dijklichaam;
- het constructief ontwerp van de vaste constructies ten behoeve van haalbaarheid en alternatieven afweging;
- het vaststellen van de pipingopgave en indicatie van omvang pipingmaatregelen;
- de verificatie op betrouwbaarheid sluiten;
- beheer- en onderhoudsaspecten, waaronder beheerstroken;
- het toepassen van gebiedseigen materiaal in het onderdelen van de dijk.

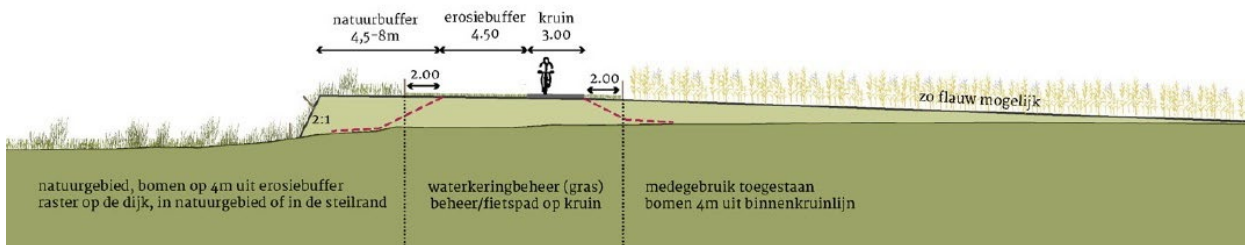
Er zijn in dit document geen uitgangspunten opgenomen voor detailontwerpen, zoals bijvoorbeeld het ontwerp van de materialisatie van de waterkeringen, en (aansluit)details, en overgangsconstructies.

1.5 Dijktypologie

In het project worden groene keringen en constructies toegepast. De constructies zijn onder te verdelen in vaste en demontabele keringen. In enkele gevallen zijn de vaste keringen gedeeltelijk uit glas opgebouwd. Langs de begraafplaats in dijktraject 60-2 Oud-Well, en op het terrein van kasteel Well worden bestaande keringen versterkt.

In het dijktraject 60-1 Nieuw Well, worden op de deellocaties De Paad Oost en West steilranddijken toegepast. De steilranddijken zijn robuuste waterkeringen die passend zijn in het Limburgse terrassenlandschap. De uitgangspunten van de steilranddijk zijn gebaseerd op de bevindingen en uitgangspunten van de gebiedsontwikkeling Ooijen-Wanssum.

De steilranddijk bestaat buitendijks uit een natuurbuffer met een steil talud 2:1, daarachter bevindt zich een erosiebuffer, dan de kruin van de dijk en binnendijks een zo flauw als mogelijk (minimaal 1:8) binnentalud wat aansluit op hoge grond (zie Figuur 1-4).



Figuur 1-4: Schematische weergave steilranddijk (waardes zijn afkomstig van gebiedsontwikkeling Ooijen-Wanssum) [33]

2 Ontwerp instrumentarium

2.1 Algemeen

Gedurende de looptijd van het project Gebiedsontwikkeling Well bevinden we ons in een transitie van Waterwet naar Omgevingswet. Bij deze overgang krijgen enkele voor het ontwerp elementaire begrippen een nieuwe naam. Zo wordt de bekende “ondergrens” (maximale de faalkans op trajectniveau) gewijzigd in “omgevingswaarde”. Deze nieuwe nomenclatuur is niet overgenomen in de stukken bij het ontwerp en dus ook niet opgenomen in deze TUN. Dit zou verwarrend worden omdat we voor het ontwerp noodzakelijkerwijs nog gebruik moeten maken van het ontwerpinstrumentarium dat hoort bij de Waterwet. Het nieuwe Beoordelings- en Ontwerp instrumentarium is namelijk nog in ontwikkeling en nog niet formeel vastgesteld. Toch is er bij het opstellen van het ontwerp al wel geanticipeerd op deze nieuwe ontwikkelingen zonder dat dit conflicteert met het “oude” en nog steeds vigerende instrumentarium en onderliggende technische leidraden.

2.2 Overstromingskansnorm

In de nieuwe situatie wordt het dijktraject opgeknipt in 3 stukken. De nieuwe dijktrajecten krijgen de volgende benaming:

- 60-1: Nieuw Well
- 60-2: Oud-Well
- 60-3: Elsteren

In de nieuwe Waterwet van 2017 is een nieuwe norm voor het huidige dijktraject (60-1) vastgesteld. Deze norm heeft de vorm van een overstromingskans. De overstromingskansnorm bedraagt 1/100 per jaar (ondergrens). Deze kans wordt ook toegekend aan de nieuwe trajecten (60-2 en 60-3).

Voor het afleiden van de veiligheidsfactoren dient de lengte van het normtraject van de betreffende ring te worden gehanteerd. Om binnen het project dezelfde veiligheidsfactoren te hanteren is gekozen voor een uniforme (fictieve) lengte voor al deze trajecten van 3000m. Deze lengte is gebaseerd op de langste trajectlengte, wat leidt tot de meest conservatieve uitgangspunten.

2.3 Gebruik Ontwerp Instrumentarium

2.3.1 Ontwerp Instrumentarium 2014

Het Ontwerp Instrumentarium 2014 (OI2014 v4) [3] is door RWS opgesteld om, voor de projecten in het Hoogwaterbeschermingsprogramma die van start gaan, aan de hand van de huidige leidraden en technische rapporten te kunnen ontwerpen op basis van een overstromingskans.

Voor het ontwikkelen van het ontwerpinstrumentarium is een doorgroeimodel gehanteerd. Dit betekent dat er regelmatig nieuwe versies worden voorzien waarin de laatste ontwikkelingen zijn meegenomen. In februari 2017 is het OI2014 v4 uitgebracht. Het OI2014 v4 vormt de basis voor de ontwerpen in de verkenningsfase van de Gebiedsontwikkeling Groene Rivier Well.

Ten aanzien van de rekenregels wordt opgemerkt dat de rekenregels uit het OI2014 v4 als basis gelden, maar indien noodzakelijk wordt er gebruik gemaakt van nieuwere kennis, zoals de ontwikkeling van het Wettelijk Beoordelingsinstrumentarium 2017.

Het ontwerp van de groene onderdelen van de waterkering, leidingkruisingen en overige niet waterkerende objecten (NWO's) zullen ontworpen worden conform het OI2014 v4.

De demontabele keringen (incl. coupures) en de harde waterkerende constructies, ook wel waterkerende kunstwerken genoemd, worden ontworpen met de Werkwijzer Ontwerpen Waterkerende Kunstwerken, zie volgende paragraaf. De bestaande constructie langs het kerkhof zal apart beschouwd worden waarbij haalbaarheid met gebruik van adaptief ontwerp beschouwd wordt om de bestaande constructie, in dit geval een gemetselde keermuur, te kunnen behouden.

2.3.2 Omgaan met onzekerheden

In het vigerende ontwerpinstrumentarium OI2014 v4 en onderliggende technische rapporten zijn handvatten gegeven voor het schematiseren, modelleren en vaststellen van parameters voor het uitvoeren van (semi-)probabilistische analyses die worden gebruikt voor de ontwerpverificatie of de nadere veiligheidsanalyse. In de praktijk blijkt het onvermijdelijk dat er, zeker aan het begin van het ontwerptraject, onzekerheden bestaan die moeilijk op basis van bovengenoemde aanpak zijn te kwantificeren omdat de onzekerheden ook samenhangen met de begrenzingen van een onderzoeksinspanning of omdat er onzekerheden zijn die te maken hebben met het omgaan met nieuwe onzekere kennis. Bij de ontwikkeling van het nieuwe Beoordelings- en Ontwerp Instrumentarium (BOI) is gebleken dat het omgaan met dergelijke onzekerheden bijzondere aandacht verdient. Anticiperend op deze ontwikkeling is in deze fase van het ontwerp expliciet aandacht besteed aan de onzekerheden die samenhangen met de begrenzingen van een onderzoeksinspanning of onzekere kennis.

Deze onzekerheden zijn geïnterpreteerd en per parameter is een bandbreedte van de verwachte ontwerpparameter geschat. Het effect van deze “hoekpunten” op de opgave is inzichtelijk gemaakt in de ontwerp rapportage en onderliggende verificatiedocumenten (bijlagen). In de ontwerp rapportage is vervolgens aangegeven hoe de resultaten van deze hoekpuntenanalyse zijn gebruikt voor het bepalen van de opgave.

Bovenstaande werkwijze is voor dit project met name toegepast op het mechanisme piping en in mindere mate op geotechnische stabiliteit.

2.4 Gebruik van de Werkwijzer Ontwerpen Waterkerende Kunstwerken

Voor het ontwerpen van waterkerende kunstwerken is in 2003 de Leidraad Kunstwerken opgesteld. Vanwege alle wijzigingen m.b.t. de normering (Waterwet: overschrijdingskans naar overstromingskans c.q. Bouwbesluit: NEN naar Eurocode) is in 2018 de Werkwijzer Ontwerpen Waterkerende Kunstwerken (WOWK) [4] opgesteld waarin handvatten zijn gegeven hoe om te gaan met deze wijzigingen.

Door het Adviesteam Dijkontwerp is aangegeven dat de WOWK, sinds het wijzigingsbesluit Staatsblad 2021, 147 niet meer actueel is ten aanzien van de eis dat in alle gevallen een Bouwbesluit-verificatie, naast de Waterwet-verificatie, dient te worden uitgevoerd. In wijzigingsbesluit Staatsblad 2021, 147 is na het uitbrengen van de WOWK het volgende artikel opgenomen:

Artikel 2.10a (waterkerende bouwwerken)

De paragrafen 3.2.1, 4.2.1 en artikel 5.9 zijn niet van toepassing voor zover de eisen betrekking hebben op de mate van waterkerendheid van het bouwwerk of een onderdeel daarvan.

Sinds 2021 gelden voor de waterkerende functie van bouwwerken dus alleen nog de specifieke regels in en op grond van de Waterwet, en niet de algemene constructieve eisen uit het Bouwbesluit 2012. Dat is uiteindelijk geregeld door artikel 1.15b van het Bouwbesluit ('Afdeling 2.1 is niet van toepassing voor zover de eisen betrekking hebben op de mate van waterkerendheid van het bouwwerk of een onderdeel daarvan.'). Dit betekent dat de waterkerende functie ('waterkerendheid') van een kunstwerk niet getoetst of ontworpen hoeft te worden op basis van de algemene constructieve eisen uit het Bouwbesluit 2012. Een toets op grond van de Waterwet volstaat. Het staat het waterschap uiteraard vrij om dergelijke eisen toch te hanteren (beleidskeuze), al heeft dit mogelijk consequenties voor de financiering vanuit HWBP.

Hoe is omgegaan met de WOWK is nader toegelicht in hoofdstuk 11.

2.5 Ontwerpverificatie overige functies

Het Ontwerpinstrumentarium (OI-2014) en de Werkwijzer Ontwerp waterkerende Kunstwerken (WOWK) zijn niet van toepassing voor niet-waterkerende functies en belastinggevallen die niet aan hoogwater zijn gerelateerd. In de Verkenningsfase ligt het accent op het ontwerp dat is gericht op waterkerende functies, echter in enkele gevallen worden ook objecten ontworpen die geen waterkerende functie hebben. In die situaties is een ontwerpverificatie (op voorontwerp/referentieontwerp niveau) uitgevoerd op basis van de bij de functie horen de technische richtlijn of norm. Bij Gebiedsontwikkeling Groene Rivier Well betreft dit de Hoogwaterontsluitingsroute Elsteren, onder niet-hoogwater-gerelateerde omstandigheden. In dit geval is een ontwerpverificatie uitgevoerd conform het bouwbesluit volgens de vigerende NEN9997. In de bijlage Analyse geotechnische stabiliteit evacuatiedam bij het Technisch Ontwerp Waterkeringen Gebiedsontwikkeling Well zijn de belastinggevallen en bijbehorende verificatiemethoden en uitgangspunten nader toegelicht.

2.6 Signaleringswaarde en Maximaal Toelaatbare Kans

2.6.1 Eisen voor de beschouwde normtrajecten

In de Waterwet zijn twee normen gedefinieerd per normtraject: een 'Signaleringswaarde' en een Maximaal Toelaatbare Kans. De Maximaal Toelaatbare Kans mag niet overschreden worden. De Signaleringswaarde is kleiner dan de Maximaal Toelaatbare Kans en dient als een waarschuwing voor de keringbeheerder om te starten met een dijkversterkingsproject. Het duurt immers enige tijd voordat een dijk is versterkt.

De huidige leidraden en technische rapporten zijn opgesteld op basis van een ondergrens-filosofie. De benodigde veiligheid voor de waterkering gedurende de planperiode wordt immers gerealiseerd door opslagen op de ontwerpwaterstand. In het OI2014 v4 [3] dient gebruik te worden gemaakt van de Maximaal Toelaatbare Kans. Voor het normtraject 60-1, 60-2 en 60-3 geldt dat de Maximaal Toelaatbare Kans 3 maal de Signaleringswaarde is. In Tabel 2-1 zijn de normen weergegeven zoals die binnen dit project worden gehanteerd.

Tabel 2-1: De faalkansnormen conform de Waterwet (kansen per jaar)

Kans	Traject 60-1, 60-2 en 60-3
Signaleringswaarde	1/300
Maximaal Toelaatbare kans	1/100

2.6.2 Maatwerkoplossingen De Kamp en Kasteel

Bestuurlijk is afgesproken om het maatwerk te beschermen met een maximale norm van 1/100e. Voor kasteel Well en de op te vijzelen woningen in de Kamp is de 1/100e norm gehanteerd.

Voor het vakantiepark is in overleg met stakeholders een goed inpasbare ontwerphoogte van NAP +15,7 meter aangehouden.

2.7 Faalkansruimte

De Maximaal Toelaatbare Kans, zoals in Tabel 2-1 is afgeleid, dient te worden uitgesplitst naar verschillende faalmechanismen. Dit resulteert in faalkanseisen per faalmechanisme. In het referentieontwerp is de faalkansverdeling van Tabel 2-2 gehanteerd.

Voor het faalmechanisme niet-sluiten van de kunstwerken in Oud Well is een faalkansbudget van 8% gehanteerd. Hiermee wordt voldoende ontwerpruimte gecreëerd om in de planuitwerkingsfase de drempelhoogte van de coupures en demontabele keringen te verlagen (zie ook hoofdstuk 10). Deze extra 4% is vanuit het faalmechanisme piping “overgeheveld”. Dit mag er niet toe leiden dat een (duurdere) verticale piping oplossing noodzakelijk is, terwijl bij de oorspronkelijke faalkansruimte van 24% een horizontale oplossing mogelijk zou zijn geweest. Als dat wel het geval is, dient voor piping een faalkansruimte van 24% te worden aangehouden, en dient 4% faalkansruimte vanuit een ander faalmechanisme te worden overgeheveld naar betrouwbaarheid sluiting.

De dijkversterking betreft een traject met groene waterkeringen en waterkerende constructies zoals een dijkmuur en een demontabele kering. Voor de verificatie op overstromingsfaalkansen van de dijkmuur en de demontabele kering wordt de faalkansruimteverdeling zoals bij kunstwerken gehanteerd met uitzondering van de geotechnische faalmechanismen piping en macrostabiliteit. De faalkanseisen voor deze geotechnische faalmechanismen worden afgeleid van dezelfde faalkansruimteverdeling als voor dijken. De reden hiervan is dat deze mechanismen weinig tot geen interactie hebben met de constructie en ruimtelijke correlaties beter overeenkomen met de situatie bij dijken.

Tabel 2-2: Faalkansruimteverdeling dijkversterking Well

Type waterkering	Faalmechanisme	ω standaard	ω Nieuw Well; 60-1; ω Elsteren; 60-3	ω Oud Well; 60-2
Dijk	Overloop en golfoverslag (hoogte) ^{a)}	0,24	0,24	0,24
	Piping en heave	0,24 ^{b)}	0,24 ^{b)}	0,20 (0,24-0,04) ^{b)}
	Macrostabiliteit binnenw.	0,04	0,04	0,04
	Beschadiging en erosie grasbekleding)	0,05	0,05	0,05
	Beschadiging en erosie overige bekledingen	0,05	0,05	0,05

Kunstwerk	Niet sluiten	0,04	0,04	0,08 (0,04+0,04)
	Piping ^{c)}	0,02 ^{b), c)}	0,02 ^{b), c)}	0,02 ^{b), c)}
	Constructief falen ^{c)}	0,02	0,02	0,02
Duin	Duinafslag	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
Overig		0,30	0,30	0,30
Totaal:		1,00	1,00	1,00

- a) Overloop en golfoverslag bij kunstwerken is samengevoegd met overloop en golfoverslag bij dijken
- b) Afhankelijk van de verificatiemethode wordt een deterministische of semi-probabilistische verificatie uitgevoerd. De hier genoemde faalkanseis is alleen van toepassing op een verificatie met de methode van Sellmeijer. Alleen voor deze methode biedt het WBI een kalibratieformule aan waarmee een dergelijke verificatie kan worden uitgevoerd. Voor andere verificatiemethoden zoals voor onderloopsheid in geval van onderloopsheischermen is momenteel alleen deterministische verificatiemethode beschikbaar.
- c) Vanwege de kenmerken van de waterkerende langsconstructies bij Well is de faalkansruimte voor de geotechnische faalmechanismen die kunnen leiden tot constructief falen of piping bij deze kunstwerken op gelijke wijze getoetst als bij dijken.

In Tabel 2-2 is onder 'overige' opgenomen het falen van:

- het buitentalud t.g.v. zettingsvloeiing (met name van belang noordzijdewaar tot dicht bij de waterkering grond ontgonnen wordt);
- het falen ten gevolge van dierlijke graverij;
- het falen van de leiding in de leidingkruising bij de pomplocaties;
- het falen van begroeiing (windworp) bij kasteel Well;
- het falen van de pompen bij kasteel Well;
- het falen door nog niet gedefinieerde omstandigheden.

Het bezwijken van de waterkering ten gevolge van een aardbeving wordt niet beoordeeld omdat de kans van optreden te laag is in combinatie met het optreden van een hoogwater.

2.8 Faalkanseis op doorsnedeniveau voor waterkerende grondlichamen

De faalkanseis die per doorsnede aan een faalmechanisme wordt gesteld kan met het lengte-effect naar het doorsnedeniveau worden omgerekend volgens de volgende formule:

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

Waarin:

$P_{eis;dsn}$	: Maximaal toelaatbare faalkans op doorsnedeniveau	[1/per jaar]
P_{max}	: Maximaal toelaatbare faalkans op trajectniveau	[1/per jaar]
ω	: Faalkansruimtefactor	[-]
N	: Lengte-effectfactor	[-]

2.8.1 Faalkanseis Hoogte (overloop en overslag)

De faalkanseis op doorsnedeniveau bedraagt:

$$P_{eis;dsn} = \frac{P_{max} \cdot \omega}{N} = \frac{1}{100} \cdot 0,24 = 2,4 \cdot 10^{-3}$$

N kan voor het mechanisme hoogte variëren tussen een waarde van 1, 2 of 3. In het OI2014 v4 is voor het huidige normtraject 60-1 een waarde $N = 1$ vastgesteld. Deze wordt overgenomen voor de nieuwe 60-1, 60-2 en 60-3.

2.8.2 Faalkanseis opbarsten en piping (STPH)

De lengte-effectfactor voor de geotechnische faalmechanismen wordt afgeleid met onderstaande vergelijking:

$$N = 1 + \frac{a \cdot L_{traject}}{b} = 1 + \frac{0,9 \cdot 3.000}{300} = 10 [-]$$

Waarin:

$L_{traject}$	: Lengte van het normtraject waarop de norm van toepassing is	[m]
a	: Fractie van de lengte van het traject dat gevoelig is voor het betreffende faalmechanisme	[-]
b	: lengte van onafhankelijke, equivalente vakken voor het betreffende faalmechanisme	[-]

De waardes a en b zijn gegeven door het OI2014 en samengevat in Tabel 2-3.

Tabel 2-3: Parameter a en b ter bepaling van de faalkanseis per mechanisme.

Faalmechanisme	Watersysteem (piping) of materiaalmodel (macrostabiliteit)	Parameter a [-] fractie van de lengte van het traject dat gevoelig is voor het betreffende faalmechanisme	Parameter b [m] lengte van onafhankelijke, equivalente vakken voor het betreffende faalmechanisme
Piping	Bovenrivieren	0,90	300
Macrostabiliteit	Alle systemen	0,033	50

Met bovenstaande wordt de faalkanseis op doorsnedeniveau als volgt bepaald voor Nieuw Well & Elsteren en Oud well respectievelijk:

$$P_{eis;dsn} = \frac{P_{max} \cdot \omega}{N} = \frac{1}{100} \cdot \frac{0,24}{10} = 2,4 \cdot 10^{-4}$$

$$P_{eis;dsn} = \frac{P_{max} \cdot \omega}{N} = \frac{1}{100} \cdot \frac{0,20}{10} = 2,0 \cdot 10^{-4}$$

2.8.3 Faalkanseis Stabiliteit Binnenwaarts (STBI)

De lengte-effectfactor voor de geotechnische faalmechanismen wordt afgeleid met onderstaande vergelijking:

$$N = 1 + \frac{a \cdot L_{traject}}{b} = 1 + \frac{0,033 \cdot 3.000}{50} = 2,98 [-]$$

De waardes a en b zijn gegeven in [4]. Tabel 2-3. Met bovenstaande wordt de faalkanseis op doorsnedeniveau als volgt bepaald:

$$P_{eis;dsn} = \frac{P_{max} \cdot \omega}{N} = \frac{\frac{1}{100} \cdot 0,04}{2,98} = 1,34 \cdot 10^{-4}$$

2.8.4 Faalkanseis Stabiliteit Buitenwaarts (STBU)

Volgens het OI2014v4 mag voor de faalkans voor Stabiliteit Buitenwaarts de faalkans voor Stabiliteit Binnenwaarts vermenigvuldigd worden met 10.

$$P_{eis;dsn} = 10 \times 1,34 \cdot 10^{-4} = 1,34 \cdot 10^{-3}$$

Deze eis is genuanceerd bij voor bestaande buitentaluds die bij deze dijkversterking niet ongunstig worden aangepast en die in het verleden zijn belast onder condities die gelijkwaardig zijn aan de condities die voor het ontwerp gelden.

2.8.5 Faalkanseis Erosie Grasbekleding (GEBU)

N is voor het mechanisme GEBU in OI2014 v4 voor het huidige normtraject 60-1 vastgesteld op N=1. Deze wordt overgenomen voor de nieuwe 60-1, 60-2 en 60-3.

$$P_{eis;dsn} = \frac{P_{max} \cdot \omega}{N} = \frac{\frac{1}{100} \cdot 0,05}{1} = 5,0 \cdot 10^{-4}$$

Uit recent onderzoek is gebleken dat de lengte-effectfactor voor gras op zandbekledingen voor het mechanisme GEBU-golfklap met één moet worden opgehoogd ten opzichte van de waarde voor gras op kleibekledingen [34].

$$P_{eis;dsn} = \frac{P_{max} \cdot \omega}{N} = \frac{\frac{1}{100} \cdot 0,05}{2} = 2,5 \cdot 10^{-4}$$

2.8.6 Overzicht faalkanseisen op doorsnedeniveau

Tabel 2-4 toont een samenvatting van de bepaalde faalkanseisen op doorsnedeniveau voor de waterkerende grondconstructies.

Tabel 2-4: Faalkanseisen per waterkerende grondconstructie

Faalmechanisme	$P_{eis;KW;i}$ [per jaar]	Herhalingstijd (HT) [jaar]
Hoogte	$2,4 \cdot 10^{-3}$	416
Opbarsten en piping	$2,4 \cdot 10^{-4}$; $2,0 \cdot 10^{-4}$ ^{a)}	4167 ; 5000 ^{a)}
Stabiliteit Binnenwaarts	$1,34 \cdot 10^{-4}$	7462
Stabiliteit Buitenwaarts	$1,34 \cdot 10^{-3}$ ^{b)}	746 ^{b)}
Grasbekleding erosie buitentalud (gras op klei)	$5,0 \cdot 10^{-4}$	2000
Grasbekleding erosie buitentalud (gras op zand)	$2,5 \cdot 10^{-4}$	4000

a) De faalkanseisen op doorsnedeniveau voor Oud Well, /Elsteren, en Nieuw Well respectievelijk.

b) Nuancering mogelijk bij bestaande taluds die onder ontwerpcondities zijn belast.

2.9 Faalkanseis op doorsnedeniveau voor kunstwerken

Binnen het project Gebiedsontwikkeling Well zijn momenteel diverse waterkerende constructies aanwezig in de dijktrajecten. Daarnaast worden nieuwe waterkerende constructies ontworpen. Er kan onderscheid gemaakt worden in:

- puntconstructies, zoals coupures;
- langsconstructies, zoals de historische kerkhofmuur, de kering bij de achtertuinen en de keermuur langs de Kasteellaan.

Voor de puntconstructies wordt onverkort de WOWK toegepast. Voor de langsconstructies wordt de WOWK toegepast voor de verificatie op niet sluiten (indien van toepassing) en constructief falen. De geotechnische verificaties zoals piping en macrostabiliteit van het omliggende grondlichaam wordt op gelijke wijze uitgevoerd als voor groene dijken.

Bij de ontwerpverificatie van de faalmechanismen waarvoor de WOWK van toepassing is, wordt de faalkanseis per doorsnede (individueel kunstwerk of constructieonderdeel) bepaald conform onderstaande vergelijking uit de WOWK.

De relevante faalmechanismen voor puntconstructies zijn gegeven in Tabel 2-2.

$$P_{eis;kw} = \frac{P_{eis}}{N} = \frac{P_{max} \cdot \omega}{N}$$

Waarin:

- $P_{eis;kw}$: Faalkanseis voor het beschouwde faalmechanisme voor een individueel kunstwerk per jaar [-]
 P_{eis} : Faalkanseis voor het beschouwde faalmechanisme op trajectniveau per jaar [-]
 P_{max} : Maximaal toelaatbare overstromingskans van het dijktraject (in de wet aangeduid als ondergrens) per jaar [-]
 ω : Faalkansruimtefactor voor het betreffende faalmechanisme [-]
 N : Lengte-effectfactor voor het beschouwde faalmechanisme. Voor piping bij puntconstructies kan hiervoor het totaal aantal puntconstructies van het traject worden genomen met een maximum van 10. Zie WOWK.

2.9.1 Faalkanseis Niet Sluiten

De faalkanseis voor niet sluiten is reeds afgeleid in [5]. In de beschouwing is de faalkans opgesplitst naar een faalkans per coupure $P_{f,coupure}$ en per afsluiter $P_{f,afsluiter}$. Tevens varieert de faalkans per deeltraject. Zie Tabel 2-5 voor de waarden.

Tabel 2-5: Faalkanseneisen voor coupures en afsluiters.

Zichtjaar	Oud Well		Nieuw Well		Elsteren	
	$P_{f,coupure}$	$P_{f,afsluiter}$	$P_{f,coupure}$	$P_{f,afsluiter}$	$P_{f,coupure}^a)$	$P_{f,afsluiter}$
2023	$1,74 \cdot 10^{-4}$	$1,30 \cdot 10^{-5}$	$1,01 \cdot 10^{-4}$	$6,63 \cdot 10^{-6}$	0	$7,03 \cdot 10^{-6}$
2075	$3,20 \cdot 10^{-4}$	$1,94 \cdot 10^{-5}$	$2,19 \cdot 10^{-4}$	$1,20 \cdot 10^{-5}$	0	$1,20 \cdot 10^{-5}$
2125	$4,55 \cdot 10^{-4}$	$2,47 \cdot 10^{-5}$	$3,24 \cdot 10^{-4}$	$1,73 \cdot 10^{-5}$	0	$1,65 \cdot 10^{-5}$

a) De afwezigheid van coupures resulteert in zeer kleine faalkansen voor betrouwbaarheid sluiting in Elsteren

Als blijkt dat type kunstwerken afwijken van de in Tabel 2-5 gegeven types wordt de faalkans nader bepaald.

2.9.2 Faalkanseis Piping

Voor onderloopsheid bij situaties met schermen is de verificatie van hydraulische grondbreuk (hydraulic heave) vaak maatgevend. Voor een dergelijke verificatie is het ongebruikelijk om te toetsen aan een faalkanseis omdat nog geen kalibratieformule beschikbaar is voor een semi-probabilistische verificatie. In dat geval wordt een deterministische verificatiemethode toegepast met een overall veiligheidsfactor. Hierbij wordt ervan uitgegaan dat impliciet is aangetoond dat aan de vereiste faalkanseis is voldaan wanneer de overall veiligheidsfactor minimaal gelijk is aan 2,0. Deze verificatiemethode is uitgewerkt in de Publicatie Heaveschermen voor situatie met en zonder deklaag. In de WOWK is dit detail niet opgenomen en is een deterministische verificatiemethode beschreven in de vorm van toetsen aan een toelaatbare gemiddelde grondwaterstromingsgradiënt gelijk aan 0,5. Voor situaties zonder deklaag komen beide methoden op het zelfde neer. Voor situaties met deklaag is de methode uit het WOWK niet goed bruikbaar. Daarom is ervoor gekozen om in alle gevallen de Publicatie Heaveschermen te volgen voor de verificatie op onderloopsheid.

Voor piping door achterloopsheid en voor terugschrijdende erosie piping via horizontale kwelwegen onder cohesieve deklagen zonder beschouwing van kwelschermen kan de methode van Sellmijer worden toegepast waarvoor een kalibratieformule beschikbaar is waarmee een semi-probabilistische verificatie kan worden uitgevoerd om te toetsen aan een faalkanseis. Voor de afleiding van de faalkanseis wordt verwezen naar tabel 2-3.

2.9.3 Constructief Falen

De faalkanseis voor constructief falen is in eerste instantie afgeleid van de wettelijke eis voor het normtraject en wordt bepaald conform de WOWK. Er is sprake van constructief falen bij de volgende gebeurtenissen:

- Het bezwijken van een of meerdere waterkerende constructieonderdelen.
- Instabiliteit van de constructie en/of het grondlichaam waaraan de kerende constructie krachten afdraagt onder hoogwaterbelasting.

Kunstwerken die onderdeel uitmaken van waterkeringen dienen te voldoen aan de normen uit de Waterwet. De normen uit de Waterwet zijn overgenomen in de WOWK [4] en deze stelt dat de faalkanseis $P_{eis;KW;CON}$ als volgt wordt berekend:

$$P_{eis;KW;CON} = \frac{P_{max} \cdot \omega_{con} \cdot c}{N_{dsn}}$$

Waarin:

- c : Correctiefactor voor de correlatie tussen constructief falen en falen door overloop/overslag. Deze bedraagt 7 als $P_{max} = 1/100$.
- N_{dsn} : Lengte-effectfactor voor constructief falen. Voor puntconstructies wordt in de WOWK $N=3$ aanbevolen. Voor constructieonderdelen van langsconstructies zoals de dijkmuur en de demontabele kering bij Well is deze lengtefactor niet zondermeer toepasbaar. Voor deze langsconstructies is de doorsnede faalkanseis voor constructief falen verhoogd ten opzichte van de eis uit WOWK. In lijn met de pragmatische aanbeveling uit de CUR publicatie 166 ten aanzien van het lengte-effect, wordt de betrouwbaarheidsindex voor langsconstructies bepaald door de betrouwbaarheidsindex voor een puntconstructie met 10% te verhogen. Deze pragmatische

aanpak voor het verdisconteren van het lengte-effect voor langsconstructies bij Limburgse waterkeringen is overgenomen uit een TNO memo die voor Waterschap Limburg is opgesteld voor het ontwerp van een glazen kering op een dijklichaam [35].

Invullen van de bovenstaande formule met $N=3$ resulteert in een faalkanseis op doorsnede-niveau voor puntconstructies:

$$P_{eis;KW;CON,punt} = \frac{\frac{1}{100} \cdot 0,02 \cdot 7}{3} = 4,67 \cdot 10^{-4} \text{ per jaar}$$

Hieruit kan een betrouwbaarheidseis niveau voor puntconstructies worden afgeleid:

$$\beta_{eis;dns,punt} = -\phi^{-1}(P_{eis;KW;CON,punt}) = 3,31$$

Vervolgens wordt het lengte-effect verdisconteerd door de betrouwbaarheidsindex van puntconstructie te verhogen met 10% of wel met een factor 1,1:

$$\beta_{eis;dns} = \beta_{eis;dns,punt} \cdot 1,1 = 3,64$$

Waaruit kan worden bepaald: $P_{eis;KW;CON} = 1,36 \cdot 10^{-4}$ per jaar

2.9.4 Overzicht faalkanseisen op doorsnedeniveau

Tabel 2-6 toont een samenvatting van de bepaalde faalkanseisen op doorsnedeniveau voor de kunstwerken.

Tabel 2-6: Faalkanseisen per kunstwerk

Faalmechanisme	$P_{eis;KW;i}$ [per jaar]	Herhalingstijd (HT) [jaar]
Betrouwbaarheid Sluiten	Zie par. 2.9.1 Tabel 2-5	Zie par. 2.9.1 Tabel 2-5
Piping (puntconstructies)	$2,0 \cdot 10^{-4} / N$, waarin $N = \max(\text{aantal puntconstr}; 10)$ a)	$2,0 \cdot 10^{-4} / N$, waarin $N = \max(\text{aantal puntconstr}; 10)$ a)
Constructief falen	$1,36 \cdot 10^{-4}$	7336

a) Afhankelijk van de verificatiemethode wordt een deterministische of semi-probabilistische verificatie uitgevoerd. De hier genoemde faalkanseis is alleen van toepassing op een verificatie met de methode van Sellmeijer. Alleen voor deze methode biedt het WBI een kalibratieformule aan waarmee een dergelijke verificatie kan worden uitgevoerd. Voor andere verificatiemethoden zoals voor onderloopsheid in geval van onderloopsheid schermen is momenteel alleen een deterministische verificatiemethode beschikbaar.

2.10 Ontwerplevensduur

Conform Nota van Uitgangspunten Waterkeringen [5] dient een ontwerplevensduur (zichtduur) van 50 jaar gehanteerd te worden. Dit geldt voor de groene dijken en de hoogte van de constructies.

Voor het ontwerp van de constructieve sterkte en draagconstructie van alle nieuwe constructies wordt een zichtduur van 100 jaar als uitgangspunt gehanteerd.

Alle onderdelen die een levensduur minder dan 100 jaar hebben, dienen vervangbaar te zijn zonder ingrijpende en destructieve maatregelen.

3 Geometrische uitgangspunten

3.1 Kruinbreedte

Conform NVU2.0 [6] wordt voor het ontwerp uitgegaan van een kruinbreedte van 4,5 m (dit is de standaardbreedte van 3,0 m vermeerderd met 2x0,75 m wegberm). Als het nodig is hiervan af te wijken, wordt dit onderbouwd en afgestemd met de opdrachtgever. Een uitzondering op deze eis geldt voor het kasteel, zie paragraaf 3.5.

Ervaring leert dat een smallere wegberm 1) lastig buiten te maken is door de aannemer, omdat de semi-verharding dan weinig tot geen steun aan weerszijden heeft, 2) dat er ruimte nodig is voor het plaatsen van de dijkpaalbordjes, 3) dat de randen snel worden stukgereden / worden afgerond.

3.2 Ontwerphoogte

De vereiste ontwerphoogtes zijn weergegeven in 4.2.2. De opleverhoogte is de ontwerphoogte voor een ontwerpperiode van 50 jaar, vermeerderd met een overhoogte ter compensatie van zettingen.

Bij overgangen naar andere ontwerphoogtes wordt een overgangshelling van 1:50 gehanteerd.

3.3 Beheer en onderhoudsstroken

De volgende eisen gelden voor de beheer en onderhoudsstroken:

- Beheer en Onderhoudsstrook binnenzijde en buitenzijde 2m breed (indien de lengte van het talud groter is dan 12m is wordt de 2,0m verhoogd naar 4,5).

Een uitzondering op deze eis geldt voor het kasteel, zie paragraaf 3.5.

3.4 Autonome bodemdaling

Autonome bodemdaling van het maaiveld en bijbehorende zakking van de grondwaterstanden en de binnendijkse grondwaterstand in het achterland zijn een belasting voor een waterkering. In Limburg speelt autonome bodemdaling geen rol. Lokaal is zelfs sprake van rijzing langs breuklijnen in de orde grootte van één tot enkele millimeters per jaar.

3.5 Geometrische eisen grondwal kasteel

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.

4 Belastingen

4.1 Maximaal toelaatbaar overslagdebiet

Het kritieke overslagdebiet is bepaald voor de drie dijktrajecten en de maatwerkoplossing Kasteel Well. Tabel 4.1 geeft een overzicht. Voor de onderbouwing van de overslagdebieten wordt verwezen naar [5].

Tabel 4-1: Kritiek overslagdebiet per dijktraject

Dijktraject	overslagdebiet
Nieuw Well (westelijk deel)	5 l/s/m
Nieuw Well (De Paad Oost)	1 l/s/m
Oud Well	5 l/s/m
Elsteren	5 l/s/m
Kasteel Well	1 l/s/m

4.2 Hydraulische Randvoorwaarden Hoogwater Maas

De waterstands- en golfoverslagberekeningen van HKV [5] zijn uitgevoerd zonder aftoppen van Maasafvoeren en rekening houdend met modelonzekerheden en statistische onzekerheid. Gezien de beperkte toelaatbare golfoverslaghoeveelheden is bij de berekeningen voor verticale wanden gerekend met de windinvloed. De berekeningen voor groene dijken zijn uitgevoerd voor een standaard 1 op 3 profiel, hetgeen voor keringen binnen Waterschap Limburg een standaard dijkelling bij ontwerp betreft.

Tabel 4-2: Overschrijdingsfrequenties van de hydraulische belastingen conform het OI2014 v4 en de WoWK

Kans	Traject 60-1, 60-2 en 60-3
Maximaal Toelaatbare kans	1/ 100
Overschrijdingsfrequentie van ontwerpwaterstand voor constructief falen	1/500 (zie par 4.2.3)
Overschrijdingsfrequentie van ontwerpwaterstand voor geotechnische faalmechanismen groene dijken en steilranddijk Dit is Waterstand bij Norm (WbN).	1/100
Waterstand overige faalmechanismen	N.t.b. hangt af van het faalmechanisme

4.2.1 Hydraulisch Belasting Niveau

Het Hydraulisch Belasting Niveau (HBN) geeft de benodigde kruinhoogte, gegeven een dijkprofiel, overschrijdingskans (Tabel 4-2) en een opgegeven kritiek overslagdebiet (q_c). De HBN is bepaald voor meerdere locaties langs het dijktraject en voor een taludhelling van het buitentalud op 1:3 [41]. De resultaten van de HBN-berekeningen zijn weergegeven in Tabel 4-3 per locatie met het betreffende overslag debiet en ontwerpjaar. Voor de metrerig wordt verwezen naar de ontwerptekeningen van het referentieontwerp [43] tot en met [49].

Tabel 4-3 Hydraulisch belasting niveau per dijkvak

Dijkvak	Metreering	Overslagdebiet (qc) [l/m/s]	Ontwerpjear	HBN [m+NAP]
Elsteren Zuid	0 – 770	5	2075	16,20
Elsteren West	770 – 1020	5	2075	16,20
Elsteren Noord	1020 – 1500	5	2075	16,10
Elsteren Oost	1500 – 1800	5	2075	16,10
Oud Well – Maaszijde Entree	0 – 300	5	2075	16,45
Oud Well – Maaszijde Midden/Achtertuinten	300 – 940	5	2075	16,45
Oud Well – Maaszijde Dijkeruglegging	940 -1275	5	2075	16,35
Oud Well – Noordwestdijk Kasteellaan	1275 – 1600	5	2075	16,10
Oud Well – kasteellaan	1600 – 1790	5	2075	16,15 ¹⁾
Oud Well – Noordzijde Hoenderstr. – Eldershof	1790 – 2550	5	2075	16,25
De Paad - Oost	(-135) – 395	1	2075	16,45 ^{2) 3)}
De Paad - West	0 – 505	5	2075	16,35 ²⁾
t Leuken	1000 – 2085	5	2075	16,25
't Leuken Noord	2185 – 2430	5	2075	16,00
De Kamp Schiereiland	-	5	2075	15,70 ⁴⁾
De Kamp 3 (opvijzelen)	-	1	2125	16,25 ⁵⁾
De Kamp 10-12 (opvijzelen)	-	1	2125	16,20 ⁵⁾
Kasteel Well	-	1	2075	16,20 ⁶⁾
Coupure – Kasteellaan Oud Well	-	5	2075	16,20 ¹⁾
Coupure – Kasteellaan Nieuw Well De Paad - Oost	-	1	2075	16,45 ¹⁾
Coupure – Elsterendijk Nieuw Well	-	5	2075	16,25 ¹⁾
Coupure – Elsteren	-	5	2075	16,05 ¹⁾

1) = Dit betreft een adaptieve versterking voor zichtjaar 2075

2) = Het betreft hier steilranddijken, voor de hoogtebepaling is uitgegaan van verticale taluds

3) = De hoogte is van toepassing op de steilranddijk en de constructie ter hoogte van de begraafplaats

4) = De hoogte is door WL in overleg met stakeholders vastgesteld op NAP +15,70 m

5) = De hoogte is bepaald bij norm (en niet op doorsnede eis)

6) = Hierbij is een taludhelling gehanteerd van 1:3 boven WBN. Met de glooiende inpassing van kering in de kasteeltuin is dit een realistisch uitgangspunt.

4.2.2 Ontwerpwaterstand geotechnisch faalmechanismen (WBN)

Voor de verschillende dijktrajecten en maatwerkoplossingen zijn voor een herhalingsjijd van 50 en 100 jaar de waterstanden bij norm (WBN) opgenomen in de navolgende paragrafen. Voor de metrerings wordt verwezen naar de ontwerptekeningen van het referentieontwerp [43] tot en met [49].

Tabel 4-4: Waterstand bij norm per dijkvak

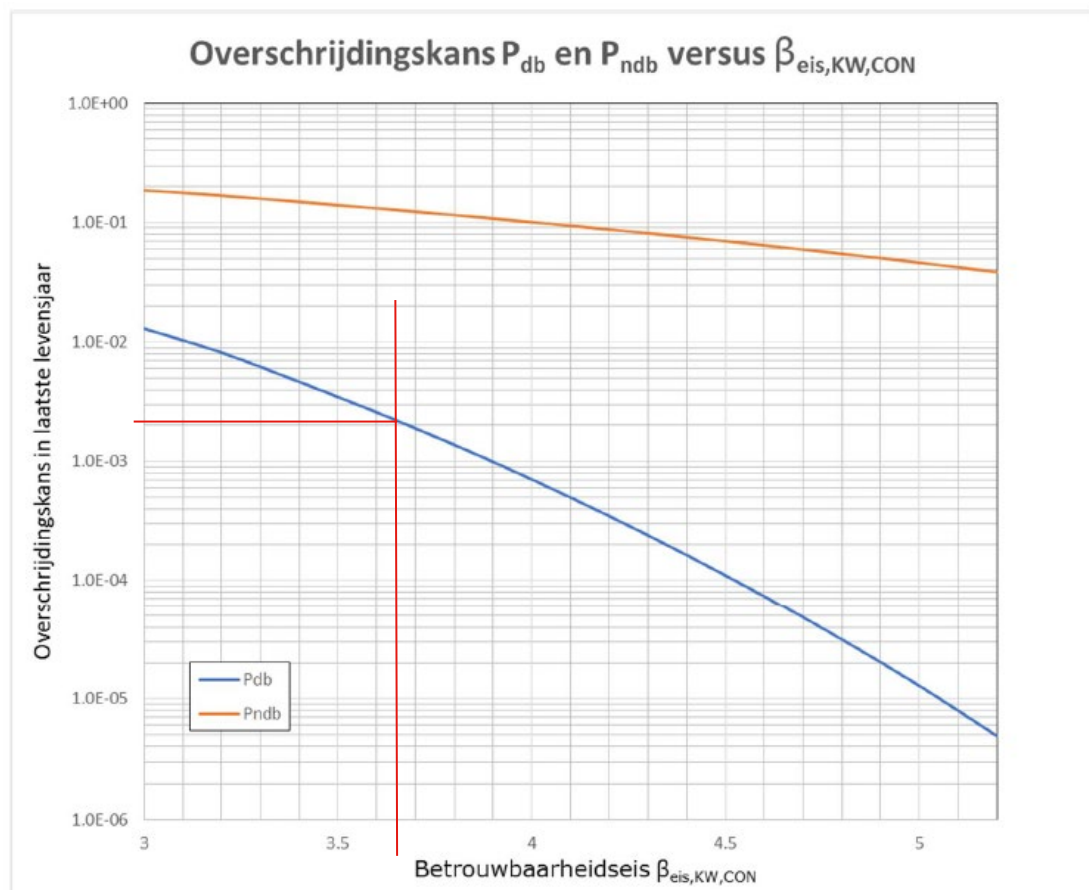
Dijkvak	Metrering	Ontwerpjaar	WBN [m+NAP]
Elsteren Zuid	0 – 770	2075	15,61
Elsteren West	770 – 1020	2075	15,53
Elsteren Noord	1020 – 1500	2075	15,60
Elsteren Oost	1500 – 1800	2075	15,62
Oud Well – Maaszijde Entree	0 – 300	2075	15,86
Oud Well – Maaszijde Midden/Achtertuinen	300 – 940	2075	15,82
Oud Well – Maaszijde Dijkteruglegging	940 -1275	2075	15,74
Oud Well – Noordwestdijk Kasteellaan	1275 – 1600	2075	15,64
Oud Well – Kasteellaan	1600 – 1790	2075	15,69
Oud Well – Noordzijde Hoenderstr. - Eldershof	1790 – 2550	2075	15,76
De Paad - Oost	(-135) – 395	2075	15,71
De Paad - West	0 – 505	2075	15,61
t Leuken	1000 – 2085	2075	15,55
't Leuken Noord	2185 – 2430	2075	15,48
De Kamp Schiereiland	-	2075	15,47
De Kamp 3 (opvijzelen)	-	2125	15,72
De Kamp 10-12 (opvijzelen)	-	2125	15,72
Kasteel Well	-	2075	15,72
Coupure – Kasteellaan Oud Well	-	2075	15,72
Coupure – Kasteellaan Nieuw Well De Paad - Oost	-	2075	15,71
Coupure – Elsteren dijk Nieuw Well	-	2075	15,59
Coupure – Elsteren	-	2075	15,60

4.2.3 Ontwerpwaterstand constructief falen (kunstwerken)

In deze paragraaf worden de hydraulische belastingen behandeld die relevant zijn voor de verificatie van het mechanisme 'Constructief Falen' van waterkerende kunstwerken. De onderstaand bepaalde waterstanden gelden voor beiden deelmechanismen die vallen onder constructief falen (zie paragraaf 2.9.3).

Constructief falen van constructies wordt getoetst volgens de WOWK aan de hand van de onder het Bouwbesluit vallende regelgeving (Eurocodes) uitgaande van een β die volgt uit de Waterwet (via WOWK), zie hoofdstuk 2. In dit geval is afgeleid $\beta = 3,64$ (ref 1 jaar).

Aan de hand van die β kan middels onderstaande grafiek uit de WOWK de overschrijdingskans van de waterstand worden bepaald.



Figuur 37 Aanbevolen overschrijdingskansen verval- en golfbelasting P_{db} en P_{ndb} volgens 6.10b bij verificaties op basis van de Waterwet

Uit $\beta = 3,64$ volgt een overschrijdingskans van ongeveer 2×10^{-3} , wat (afgerond) overeenkomt met een herhalingsjijd van 500 jaar. Bij de overschrijdingsfrequentie van 1/500 jaar kan rechtstreeks de waterstand worden bepaald die voor het ontwerp van de constructieve onderdelen kan worden gebruikt.

Vanwege de beperkte gevoeligheid van de constructieve toets voor verschillen in buitenwaterstand is in deze fase van het ontwerptraject gekozen voor een verificatie op constructieve sterkte waarbij is uitgegaan van een waterstand gelijk aan de toekomstige kruinhoogte (HBN zichtjaar 2125).

4.2.4 Klimaatscenario's en onzekerheidstoelag

De berekeningen van hydraulische randvoorwaarden (zie HKV [5]), zijn binnen deze uitgangspuntennotitie uitgevoerd met Hydra-NL 2.8.2 in de ontwerpmodus, waar voor het ontwerp gerekend is met klimaatscenario KNMI2006 W+ voor de zichtjaren 2050 en 2100. Voor de zichtjaren 2075 en 2125 is voor zowel waterstanden als hydraulische belastingniveaus lineair geïnter- of extrapoleerd tussen de resultaten voor 2050 en 2100.

4.3 Golfbelasting

De golfcondities zijn relevant voor de haalbaarheid van de steilranddijk en de GEBU toets van de maatwerk kasteel. Deze uitgangspunten zijn beschreven in de bijlagen van de VO ontwerprapportages [1], [2].

4.4 Overige hydraulische belastingen

Deze overige waterstanden zijn benodigd bij de schematisering van de bodemlagen en de verschillende belastingssituaties. De toepassing van de hier beschreven waterstanden wordt in de hoofdstukken 8 t/m 16 met de ontwerpmechanismen gegeven.

4.4.1 Rivierwaterstand gemiddelde omstandigheden (GW)

Deze waterstand is gedefinieerd als de rivierwaterstand bij een gemiddelde afvoer. In de zomer wordt de Maas gestuwd door de stuw bij Sambeek en ligt het gemiddelde waterpeil rond NAP +11,15 m. Dit peil is gegeven in het NVU2.0. Tevens is met real time informatie (Rijkswaterstaat Waterinfo) bevestigd dat dit specifiek in Well Dorp het gemiddelde waterpeil is.

4.4.2 Val na hoogwater

Deze waterstand wordt gebruikt voor het bepalen van de buitenwaartse macrostabiliteit in het belastinggeval “val na hoogwater”. Het is gebruikelijk om uit te gaan van een peilval bij een waterstandsval in een periode van 6 tot 10 dagen na hoogwater [6]. Conform [6] is de val van hoogwater van WBN naar WBN -2,75 m aangenomen, waarbij in dijken met een zandkern 1 m val wordt meegenomen. Uiteraard volgt in dijken met een kleikern de freatische lijn het buitentalud (min of meer) vanaf WBN tot WBN -2,75 m. Het aanhouden van een gedeelte van de val in dijken met een zandkern (hier aangenomen op 1 m) is een vuistregel die door verschillende adviesbureaus wordt aangehouden. Hieraan ligt geen norm ten grondslag; het is ‘expert judgement’ [6]. De opdrachtnemer mag hier onderbouwd aanscherpen.

4.4.3 Snelle val

Snelle val kan optreden bij strijken van de stuw. Wanneer een stuw wordt gestreken vanwege ijsgang of wordt aangevaren (zoals het geval was in 2017 bij Grave), daalt de waterstand snel enkele meters in het bovenstroomse pand. Voor langsconstructies en schaaldijken kan dit belastinggeval maatgevend zijn en daarom dient een berekening te worden gemaakt met (gereduceerde) veiligheidsfactoren (bijvoorbeeld schematiseringsfactor = 1,0 en schadefactor = 1,0) die recht doen aan het soort situatie, namelijk een calamiteit. De maatgevende waterstand (laagwater) in die berekening betreft het stuwpeil benedenstrooms van de te strijken stuw [4].

Het stuwpeil bij Well wordt gereguleerd door de stuw bij Sambeek. Het stuwpeil benedenstrooms van deze stuw wordt gereguleerd door de stuw bij Grave, die een indicatief stuwpeil heeft van NAP +7,85m.

4.4.4 Stroomsnelheden

De stroomsnelheden zijn relevant voor de haalbaarheid van de steilranddijk en de GEBU toets van de maatwerk kasteel. Deze uitgangspunten zijn beschreven in de bijlagen van de VO ontwerprapportages [1], [2].

4.5 Grondwaterstanden achterland

Voor de analyse van macrostabiliteit binnenwaarts bij maatgevend hoogwater-omstandigheden wordt uitgegaan van een (bijna) verzadigd achterland. Door de hoeveelheid kwel in het achterland is aangenomen dat de grondwaterstand in het achterland gelijk is aan het maaiveld.

Voor de analyse van piping en heave wordt uitgegaan van een verzadigd maaiveld bij een uittredepunt op maaiveld.

4.6 Verkeersbelasting

De 'KPR factsheet verkeersbelasting en macrostabiliteit' is de vigerende norm. Bij gebruik van deze factsheet gelden de volgende uitgangspunten:

- De schadefactor is afhankelijk van de norm en niet van een bepaalde keuze van de verkeersbelasting.
- Er zijn uiteenlopende combinaties van buitenwaterstand en verkeersbelasting mogelijk. Er moet rekening worden gehouden met de waarschijnlijkheid van deze combinaties.
- Er moet bij hoge buitenwaterstanden rekening worden gehouden met realistische verkeersbelastingen die gerelateerd zijn aan de uitvoering van herstelwerkzaamheden, in combinatie met hydraulische condities waarbij herstelwerkzaamheden reëel/voorstelbaar zijn.

Bij berekening in de uiterste grenstoestand (UGT) wordt:

- Als er alleen een inspectie of onderhoudspad op de dijk ligt een belasting aangehouden van 4 kN/m² over 2,5 m breedte (spreiding onder 2:1 ofwel 26°). Dit zijn drie lichte inspectie voertuigen achter elkaar over 50 strekkende meter lengte (3 x 1 kPa) met mensen eromheen en zandzakken (1 kPa);
- Als een weg op de dijk ligt die dient als evacuatie route een belasting aangehouden van 13,3 kN/m² over 2,5 m breedte (spreiding onder 2:1 ofwel 26°)

Bij berekeningen in de bruikbaarheidstoestand (BGT) bedraagt de verkeersbelasting op de kruin van de waterkering voor binnen- alsmede buitenwaartse stabiliteit 13,3 kN/m² over een breedte van 2,5 meter. Daarbij is de belastingspreiding 2:1 in de ondergrond. Bij een waterstand van WBN-0,5 m [6].

De aanpassing van de wateroverspanning is in zandlagen 100%, in zandige klei (in de dijk of deklaag) 30% en in ongedraineerd reagerende lagen (siltige klei of veen) 10% [6].

4.7 Aardbevingsbelasting

In de dijkversterking wordt geen rekening gehouden met een aardbevingsbelasting.

4.8 Overige belastingen

De volgende overige belastingen zijn opgenomen: belasting door ijs, stootbelasting en vandalisme. Scheepsvaartbelasting wordt niet beschouwd omdat tijdens hoogwaterverbod van toepassing is.

4.8.1 Belasting door ijs

In Nederland is geen regelgeving omtrent de wijze waarop bij het ontwerpen en beoordelen van grondconstructies rekening moet worden gehouden met ijsbelasting. Dit is niet in het WBI217 opgenomen omdat er wordt uitgegaan dat de maatgevende ijsbelasting en hoogwater niet gelijk optreden. Ijsbelasting

speelt vooral in relatie tot het strijken van de stuwen bij ijsgang, maar dit komt zo goed als niet meer voor in Limburg.

Indien waterkerende kunstwerken aangetast worden door ijs, geldt dat belasting door ijs kan instaan in de volgende situaties [CUR166]:

- Kruiend ijs;
- Drijvende ijsvlakte.

Volgens 'Leidraad Kunstwerken' [25] kunnen de waarden van ijsbelastingen kunnen bepaald worden conform CUR166. Hierin wordt voor de bepaling van de horizontale ijsbelasting op damwanden uitgegaan van een ijslaag van 0,5 m dik en een druksterkte van 1,5 MPa voor zout water of 2,5 MPa voor zoet water. Omdat deze belasting over het contactvlak zal variëren tussen 0 en de druksterkte, mag op de berekende lijnbelasting een uitvlakkingscoëfficiënt van 0,33 worden toegepast. Deze waarden kunnen als rekenwaarden worden beschouwd.

Er moet tenminste worden gerekend met:

- Een gemiddelde horizontaal werkende lijnlast van 400 kN/m (zoet water), aangenomen ter plaatse van de ongunstigste in beschouwing genomen waterstand;
- Een plaatselijk aangrijpende belasting van 1,5 MN voor sterkteberekening van constructiedetails indien ze door ijs kunnen worden belast.

4.8.2 Stootbelasting

Voor de aan te houden stootbelasting wordt verwezen naar [35].

4.8.3 Vandalisme

Conform de Werkwijzer Ontwerpen Waterkerende Kunstwerken [4] dient rekening te worden gehouden met vandalisme. Aannemelijk dient te worden gemaakt dat vandalisme of sabotage niet tot het falen van de waterkering kan leiden.

Voor groene dijken zijn dergelijke eisen niet opgenomen.

4.8.4 Aanvaarbelasting

Niet van toepassing, verwijzen naar document [42].

5 Duurzaamheid

Duurzaamheid is een integraal onderdeel van de aanpak en werkwijze van het project. Het is vervlochten met het ontwerp- en participatieproces. Voor dit project zijn al in de Verkenningfase ambitieuze duurzaamheidsdoelstellingen geformuleerd. Echter is er niet actief gestuurd op het behalen van de duurzaamheidsdoelen in het VKA. In de Planuitwerking moet duurzaamheid een grotere rol spelen, zodat de opnieuw opgestelde duurzaamheidsdoelstellingen behaald worden.

De duurzaamheidsdoelstellingen en -ambities fungeren als uitgangspunten voor het ontwikkelen en beoordelen van de varianten in de planuitwerkingsfase. Duurzaamheid focust zich op de thema's circulariteit, duurzame uitvoering en B&O, en ruimtegebruik.

5.1 Duurzaamheidsdoelen en -ambities

Op 31 mei 2023 is met de medewerkers van Waterschap Limburg en Royal HaskoningDHV een duurzaamheidssessie gehouden om de doelstellingen voor duurzaamheid in de planuitwerking van de gebiedsontwikkeling van Well vast te stellen.

Tijdens deze sessie zijn de duurzaamheidsdoelen en -ambities vanuit het VKA besproken en een nieuwe inventarisatie gemaakt voor de planuitwerking. Tijdens de sessie is besloten om duurzaamheid te focussen op de drie thema's: circulariteit, duurzame uitvoering en B&O, en ruimtegebruik. Door een interactieve sessie zijn bij elk thema duurzaamheidsdoelstellingen opgesteld. Dit zijn de doelstellingen die Waterschap Limburg het belangrijkste acht in de planuitwerking.

Tabel 5-1: Duurzaamheidsdoelstellingen

Thema	Duurzaamheidsdoelstellingen	Focus
Circulariteit	minimaliseren van de milieueffecten van het ontwerp	ontwerp en gebruik duurzame materialen
	grondgestuurd ontwerpen is uitgangspunt van het ontwerp	maximaal toepassen van vrijgekomen en gebiedseigen grond
	minimaliseren van het gebruik van primaire, niet-hernieuwbare materialen	
Duurzame uitvoering en B&O	minimaliseren van transportbewegingen binnen het project	af- en aanvoerlocaties van materiaal zo dicht mogelijk vinden bij het project
	minimaliseren van transportbewegingen binnen het project	
	minimaliseren van de uitstoot van in te zetten materieel in de realisatie	
Ruimtegebruik	grondlichamen (dijken) multifunctioneel inrichten	
	gebruik maken van natuurlijke hoogtes en laagtes	
	waterkeringen en groene rivier ecologisch optimaal bekleden	natuur inclusieve landbouw in het projectgebied, en condities creëren die optimaal zijn voor de flora en fauna in het projectgebied.

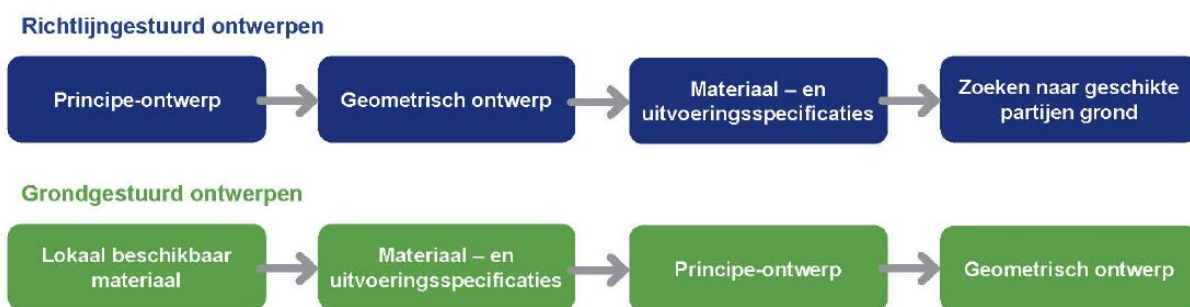
De doelstellingen fungeren als uitgangspunten voor het identificeren en selecteren van maatregelen. Voor het technisch referentieontwerp van de waterkeringen, waar dit document betrekking op heeft, is vooral het grond gestuurd ontwerpen van toepassing. In de volgende paragraaf wordt daar meer specifiek op ingegaan.

5.2 Grondgestuurd ontwerpen

5.2.1 Aanpak

Veelal wordt in 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 met het vastgestelde geometrisch ontwerp.

In voorliggend ontwerpproces zijn de stappen omgedraaid en is gekeken welk materiaal beschikbaar is 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 [36].



Figuur 5-1: Grondgestuurd ontwerpen versus richtlijn-gestuurd ontwerpen (bron: [36])

Grondgestuurd ontwerpen gaat samen met een integrale benadering van het dijkontwerp. Het kan zijn dat er aanpassingen nodig zijn in het dwarsprofiel om maximaal gebruik van vrijgekomen grond te faciliteren (zoals het toepassen van flauwere taluds). Dat kan bijvoorbeeld tot een toename van de grondhoeveelheid leiden, en of meer grondaankoop. Binnen de dan vastgestelde procedurele en contractuele kaders dient in elke ontwerpfase opnieuw naar deze integrale afweging te worden gekeken.

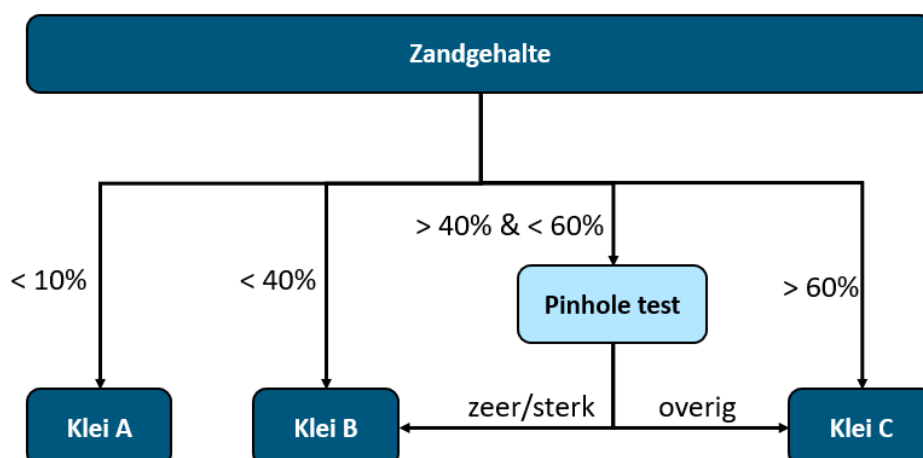
5.2.2 Classificatie aanwezige grond

Ter bepaling van de geschiktheid van het gebiedseigen materiaal voor de constructie van de waterkeringen is laboratoriumonderzoek 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 ontsluitingsroute Eslteren.

In het algemeen wordt op basis van de resultaten van labonderzoek aan de hand van het Technisch Rapport Klei voor Dijken (TR17) [30] bepaald in hoeverre grond geschikt is als bekleding. De ondergrond in Limburg heeft echter een sterk zandig karakter. Bij het volgen van het TR17 wordt er dan een grote hoeveelheid grond als ongeschikt beoordeeld. Uit meer recente inzichten is gebleken dat zandig materiaal (zandige klei) 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 5-2 is de wijze van classificatie gepresenteerd.



Figuur 5-2: Classificatie van klei die gehanteerd is in het project 'Gebiedsontwikkeling Ooijen-Wanssum.'

6 Schematisering dijk en ondergrond

6.1 Interpretatie grondonderzoek

Het uitgevoerde grondonderzoek is geïnterpreteerd alvorens een ondergrondmodel is opgesteld. Bij het interpreteren van het feitelijke grondonderzoek kan detailinformatie belangrijk zijn daarom is gekozen voor het relatief fijnmazige classificatiesysteem volgens Robertson waarmee feitelijke informatie uit sonderingen en boringen is omgezet in ondergrondprofielen per onderzoekspunt. Hiermee wordt een eerste impressie van de ondergrond verkregen. De laagopbouw is Tabel 7-2 vereenvoudigd omwille van het overzicht. Er is een indeling in vijf grondsoorten gehanteerd om grondsterktes te kunnen toewijzen aan de verkregen lagen.

6.2 Ruimtelijk ondergrondmodel

Op basis van het geïnterpreteerde grondonderzoek is een ruimtelijk ondergrondmodel opgesteld. Dit model is gebruikt voor zowel het bepalen van de ondergrond voor dijkontwerp als voor het onderzoek naar beschikbare materialen. Voor het opstellen van het ruimtelijk ondergrondmodel is gebruik gemaakt van Leapfrog Works (versie 2023.1, Seequent software). Dit softwarepakket staat toe om de ondergrond in 3D te visualiseren. Hiermee kan complexe geometrie/geologie correcter geïnterpreteerd worden.

Het ruimtelijk ondergrondmodel is op de volgende wijze gebruikt voor het uitvoeren van analyses en ontwerpverificaties voor het dijkontwerp in de verkenningsfase van dit project:

- Het verkrijgen van ruimtelijk inzicht in afzettingen: Doordat het model met veel data is gevoed geeft Leapfrog een realistisch ogende laagopbouw dat goed aansluit bij de logica van afzettingen in dit gebied. Deze stap kan gezien worden als check op de logica van ondergrond karakterisering vanuit de geomorfologie.
- Het maken van doorsneden: Met het model kunnen een onbeperkt aantal sneden worden gemaakt. Hierdoor is het mogelijk om op dijkvakniveau (zeg 50-300 m) te kijken naar meerdere dwarsdoorsneden. Het voordeel van het model is dat niet alleen naar de onderzoek punten in de doorsnede wordt gekeken, maar dat ook punten worden gebruikt die wat verder weg liggen maar wel gebruikt zijn voor het ruimtelijke beeld van de afzetting. Bij wijze van spreken kan een punt dat buiten de dwarsdoorsnede ligt een belangrijkere bron zijn dan de punten in de doorsnede zelf.
- Het bepalen van een representatieve doorsnede voor het uitvoeren van een geotechnische analyse: Uit het overzicht van de Leapfrog dwarsdoorsneden wordt een representatieve doorsnede voor het betreffende faalmechanisme gekozen. In deze stap wordt gebruik gemaakt van inzicht in het mechanisme.
- Onderbouwing van gekozen dwarsprofiel (herleidbaarheid naar basisdata): Voor de gekozen Leapfrog doorsnede wordt gekeken naar de onderliggende basisdata (boringen en sonderingen). Als geen basisdata in de nabijheid beschikbaar zijn wordt de doorsnede eventueel handmatig aangepast.
- Ruimtelijke variaties: Het bladeren door de doorsneden in Leapfrog geeft inzicht in de afwijkingen in bodemopbouw ten opzichte van de gekozen representatieve doorsnede op vakniveau. Deze afwijkingen kunnen expliciet worden getoetst met de scenario-aanpak. Bij het gebruik van het OI wordt een schematiseringsfactor bepaald of wordt een van te voren vastgestelde schematiseringsfactor geëvalueerd.
- Vertalen van de gekozen bodemopbouw naar een laagopbouw in het rekenmodel: Voor het uitvoeren van berekeningen voor het bepalen van een faalkans per faalmechanisme wordt de doorsnede, zoals bepaald in voorgaande stappen, enigszins geïdealiseerd zodat deze in het rekenmodel kan worden ingevoerd. Gekromde lijnen worden rechter gemaakt, hele dunne lagen worden niet meegenomen of bewust wat dikker gemaakt wanneer verwacht wordt dat deze wel

degelijk effect kunnen hebben. Bij piping is er ook nog een mogelijkheid om lenzen of “spekkoekafzettingen” mee te nemen als lagen met een doorlatendheids-anisotropie.

De software is bovendien in staat om lengteprofielen uit het 3D model te genereren. Deze lengteprofielen kunnen dan worden gebruikt in verdere berekeningen (ter aantoning van de eisen aan het ontwerp).

6.3 Dijkopbouw

6.3.1 Bestaande dijken

Het materiaal waaruit de bestaande dijken zijn opgebouwd wordt op een vergelijkbare wijze geïnventariseerd als de ondergrond, zie voorgaande paragraaf.

6.3.2 Nieuwe dijken

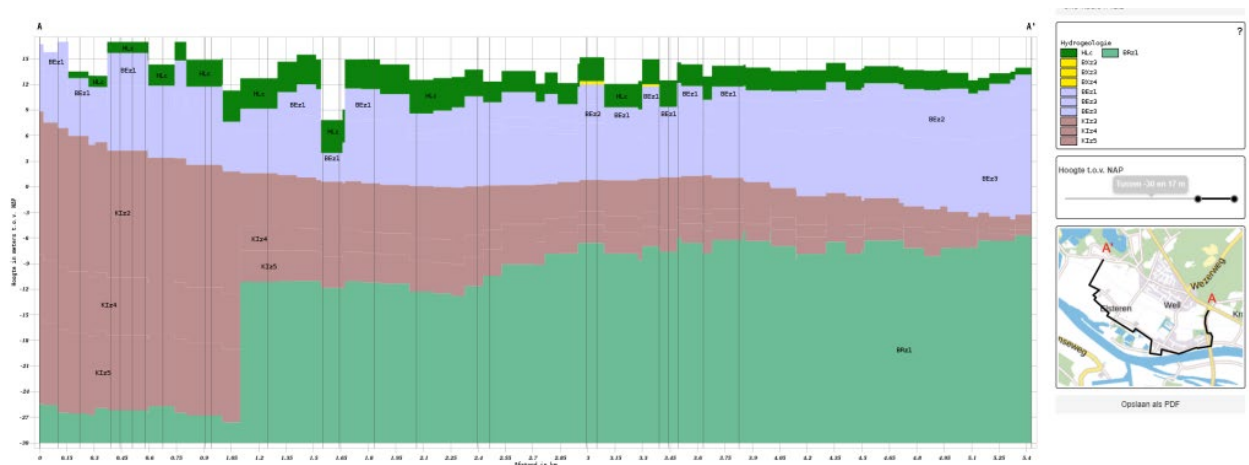
Het materiaal waaruit de nieuwe dijken zullen worden opgebouwd is geen van tevoren vastgesteld uitgangspunt maar een onderdeel van de ontwerpogave. In de ontwerpogave wordt aandacht besteed aan grondgestuurd ontwerpen en functioneel ontwerpen.

In deze fase wordt met name gekeken naar ontwerpprincipes en bijbehorend ruimtebeslag. Het materiaalgebruik is een aandachtspunt in deze fase van het project omdat het invloed kan hebben op de afweging tussen alternatieven. De materialisering zal in deze fase daarom verkennend worden beschouwd. Keuzen in toe te passen materialen en de nadere technische specificering zal pas in een latere fase nader worden uitgewerkt.

6.4 Geohydrologische eigenschappen

6.4.1 Ondergrond

In grote lijnen bevindt zich in het gebied van de projectlocatie een holocene laag op een afzetting van Beegden en daaronder de Kiezeloöliet formatie en formatie van Breda. Figuur 6-1 is een doorsnede REGIS II v2.2 van het (huidige) dijktraject 60-1, met links Well en rechts Elsteren [5].



Figuur 6-1: Doorsnede REGIS II v2.2 [5]

Over het gehele traject zijn aan het maaiveld Holocene afzettingen (donkergroen) aanwezig, bestaande uit kleiig materiaal en zand, met een dikte van 2 tot 3 meter. Daaronder ligt, vanaf ca. 12m+NAP tot aan een diepte variërend van 3m+NAP (Well) tot -3m+NAP (Elsteren) de formatie van Beegden (paars), die voornamelijk bestaat uit relatief grof zand en grind. De formatie van Beegden betreft een fluviatiele afzetting (Maas). Heel lokaal komt tussen de holocene afzettingen en de formatie van Beegden nog de zandige formatie van Boxtel (geel) voor. Onder de formatie van Beegden ligt de Kiezeloöliet formatie (bruin), met grof zand en grind, tot aan ca. -9m+NAP. Deze fluviatiele afzetting is afkomstig van voorlopers van Maas en Rijn. Onder het Kiezeloöliet bevindt zich de kalkhoudende formatie van Breda (groen). De Holocene deklaag is enkele meters dik en aanwezig in het lage Maasterras. Voorbij de steilrand bij Well is deze niet meer aanwezig. De Holocene deklaag kan belangrijk zijn voor de demping van de effecten in het watervoerend pakket. De Beegden en Kiezeloöliet zijn beide zeer goed doorlatende formaties (beide bestaan uit grof zand en grind) en vormen samen het voornaamste watervoerende pakket in dit gebied. De formatie van Breda is vaak slecht doorlatend en zeer dik en vormt daarmee de hydrologische basis van het gebied. De formatie van Breda is afgezet gedurende mariene condities en bestaat uit zeer fijn tot matig fijn zand en is meer dan 100 meter dik in het plangebied.

Voor een verdere beschrijving van de geohydrologische uitgangspunten wordt verwezen naar [40].

7 Grondparameters

7.1 Proevenverzameling

Ten behoeve van het te hanteren grondonderzoek is onderscheid gemaakt tussen grondonderzoek wat voorheen is uitgevoerd en grondonderzoek voor de huidige fase van het project. De scope van het voorheen uitgevoerde grondonderzoek valt (gedeeltelijk) samen met de scope van desbetreffend project.

7.1.1 Voorheen uitgevoerd grondonderzoek

Onderstaand is het grondonderzoek weergegeven dat voorheen is uitgevoerd. Omdat de scope van enkele documenten niet geheel samenvalt met de scope van desbetreffend project, zijn niet alle resultaten uit de documenten bruikbaar.

Tabel 7-1: uitgevoerd grondonderzoek Well voorafgaande aan fase referentieontwerp

Documentnummer	Datum	Scope en uitvoerder	Hoeveelheid sonderingen en boringen	Hoeveelheid labonderzoek
02P002480-RG-01	25 oktober 2012	Dijkkring 57-75 Inpijn - Blokpoel	194 sonderingen 46 boringen	33 korrelverdelingen
02P005360-RG-01	28 januari 2015	POV Piping Grind- en leemlagen Inpijn - Blokpoel	2 sonderingen 70 boringen	-
02P005360-RG-02	4 juli 2016	POV Piping Grind- en leemlagen Inpijn - Blokpoel	8 boringen	15 volumegewichten 15 korrelverdelingen 15 triaxiaalproeven 15 Atterbergse grenzen
02P008617-03-RG-60 (versie 2)	22 augustus 2017	Verkennd onderzoek dijkkring 60 Inpijn – Blokpoel	14 sonderingen 63 boringen	39 volumegewichten 48 korrelverdelingen
02P008617-14-RG- NVA-def2	5 september 2017	Verkennd onderzoek dijkkring 60 Inpijn – Blokpoel	22 sonderingen 13 boringen	11 volumegewichten
2101909RG	29 juli 2021	Voorontwerp dijkversterking Well Het Kasteel Lankelma	8 sonderingen 6 boringen	-

7.1.2 Grondonderzoek voor de huidige fase

Voor deze fase van het project is grondonderzoek uitgevoerd door Silt Milieu. Vanwege de ambities om lokale grond te hergebruiken is omvangrijk onderzoek uitgezet. Voor het rapport achter het uitgevoerde grondonderzoek wordt verwezen naar [39].

7.2 Grondparameters voor ontwerpen grondconstructies

In [5] is opgenomen dat de stabiliteitsberekeningen uitgevoerd dienen te worden conform het CSSM-model met SHANSEP-implementatie, waarbij voor siltige en/of humeuze lagen ongedraineerd gedrag verondersteld dient te worden.

Opgemerkt wordt dat het SHANSEP model een ondergrens geeft van de sterkte eigenschappen voor ongedraineerd reagerende cohesieve lagen met een relatief hoog zandgehalte en hoog volumegewicht, zoals een schrale en goed verdichte klei in de kern van een dijk of uitgedroogde kleilagen die zich aan de oppervlakte bevinden. In een vervolgfase kan voor dergelijke lagen, vaak aangeduid als “transitional soils”, een aangepast model dat beter past bij dit materiaal en waarmee een nadere aanscherping van het ontwerp kan worden bereikt. Voor de verkenningfase kan met de in [5] opgenomen parameters en onderliggende modelkeuzen een voldoende stabiel VKA worden bepaald.

In de proevenverzameling Noordelijke Maasvallei zijn karakteristieke waarden afgeleid voor het volumegewicht en de sterkte van verschillende lagen/grondsoorten. Hiervoor wordt verwezen naar de proevenverzameling Noordelijke Maasvallei. Zie hieronder de karakteristieke waarden (kopie uit de proevenverzameling).

Tabel 7-2: Karakteristieke waarden proevenverzameling Noordelijke Maasvallei.

Grondsoort [-]	γ_i [kN/m ³]	γ_{sat} [kN/m ³]	POP _{kar} [-]	m _{kar} [-]	S-ratio [-]	ϕ'_{CSSM} [°]	ψ [°]
Zand, dijk	18,8*	19,5*	-	-	-	30,8*	0
Klei, dijk	18,8	19,5	-	-	-	30,8	0
Klei, zandig	17,9	18,3	-	-	-	30,8	0
Klei, siltig – antropogeen	17,2	17,2	18/12***	0,89	0,24	-	-
Klei, siltig – Holocene	17,9	20,3	18/12***	0,88	0,22	-	-
Klei, zandig - Beegden	18,4	18,4	-	0,83	0,25	-	-
Klei, zandig - Beegden	19,6	19,6	18/12***	-	-	30,8	0
Klei	17 à 19	18 à 20	-	-	-	29,5	0
Lokale beekdalafzettingen (veen)	11,0	11,0	15	0,8	0,30	-	-
Lokale beekdalafzettingen (organische klei)	14,0	14,0	10	0,8	0,22	-	-
Zand, matig grof	18,0	20,0	-	-	-	32,0	0
Zand, matig fijn	17,0	19,0	-	-	-	28,3	0
Zand, grof / grind, fijn	18,5	20,5	-	-	-	31,5 à 32,0	0

7.3 Grondparameters voor geotechnische stabiliteit constructies

Voor de geotechnische stabiliteit van constructies wordt dezelfde set als aangegeven in voorgaande paragraaf 7.2 aangegeven.

7.4 Parameters zetting en klink

Zettingen en klink zijn niet in het referentieontwerp beschouwd. Dit is onderdeel van een vervolgfase van het dijkversterkingsontwerp.

7.5 Parameters piping

Generieke pipingparameters zijn opgenomen in hoofdstuk 12 en gebiedsspecifieke parameters zijn opgenomen in de ontwerprapportage en onderliggende verificatiedocumenten.

8 Schematisering waterspanningen

8.1.1 Belastingsituaties

In dit hoofdstuk is toegelicht op welke wijze de waterspanningen in de dijk en ondergrond zijn geschematiseerd voor de verificatie van de faalmechanismen macrostabiel binnen- en buitenwaarts. De volgende belastingsituaties worden onderscheiden:

- dagelijkse situatie (geen belastinggeval voor ontwerp maar als referentie);
- extreme neerslag;
- WBN, Ontwerpbelasting hoogwater, peildatum 2075;
- val na hoogwater;
- strijken stuw.

De waterspanningen in dijk en ondergrond kunnen worden afgeleid uit de freatische lijn en de stijghoogte. In de stabiliteitsberekeningen worden de volgende freatische en stijghoogtelijnen gebruikt:

- PL1: freatische lijn;
- PL3: stijghoogte in het watervoerende pakket.

Hoe de freatische en stijghoogtelijnen zijn bepaald, dan wel dienen te worden bepaald, wordt nader toegelicht in onderstaande paragrafen.

8.1.2 Detailniveau

Er is een generieke schematisering van waterspanningen voor het gebiedsontwikkeling Well afgeleid. De generieke schematisering van de freatische lijn is geëvalueerd met een grondwaterstromingsberekening in Plaxflow voor een dwarsprofiel dat representatief is voor een groot deel van deze waterkering. De gevoeligheid van waterspanningen voor variaties in parameters kan nader worden onderzocht indien dit relevant is voor het bepalen van de veiligheidsopgave van bestaande dijken of indien relevant voor de verificatie van het VKA.

In de VO fase van het ontwerp is nog geen keuze gemaakt in bekledings- en kernmateriaal-eigenschappen zodat geen impliciete keuze is gemaakt voor de materialisering. Bij een relatief groot contrast tussen de doorlatendheid van de buitenbekleding en de kern kan er een grotere sprong in de freatische lijn optreden dan de sprong die nu in de generieke schematisering is aangehouden. Het effect van de freatische lijn op het ontwerp zou in een vervolgfase nader onderzocht kunnen worden wanneer er een keuze wordt gemaakt in de materialisering.

8.2 Waterspanningen dagelijkse situatie

Waterspanningen bij dagelijkse situatie zijn ingeschat. Hierbij is ook rekening gehouden met een opbolling in geval van kleidijken. De waterspanning in de deklaag is over de hoogte van de deklaag geïnterpoleerd tussen de freatische lijn en de stijghoogte in het watervoerend pakket.

8.3 Waterspanningen bij extreme neerslag

Extreme neerslag is beschouwd in situaties waarbij de opzet van de freatische lijn door neerslag bepalend voor het ontwerp kan worden. In dit geval is gekeken naar het effect van een opbolling van de freatische

lijn in het dijklichaam. Gedacht kan worden aan grondlichamen met een verkeersfunctie, zoals de ontsluitingsroute Elsteren. Omdat er geen meetgegevens zijn van freatische lijn in deze dijklichamen zal in deze fase van het project verkennend gekeken worden naar de invloed van de ligging van de freatische lijn op het ontwerp. Aangegeven wordt wanneer de freatische lijn impact kan hebben op het ontwerp in een volgende fase.

In dit geval wordt de freatische lijn bij dagelijkse omstandigheden als startpunt genomen en wordt het effect van neerslag gesuperponeerd. Hieronder zijn de verschillende randvoorwaarden voor het bepalen van de waterspanningen voor de situatie van extreme neerslag toegelicht.

8.3.1 Freatische lijn (PL1)

Onder dagelijkse omstandigheden heerst ook een freatische lijn. Deze volgt de volgende punten:

- Voorland en achterland: freatische lijn tot aan maaiveld.
- Daar waar van toepassing zal ook worden gekeken naar het effect van een opbolling van de freatische lijn in het dijklichaam onder dagelijkse omstandigheden. Gedacht kan worden aan grondlichamen met een verkeersfunctie, zoals de ontsluitingsroute Elsteren. Omdat er geen meetgegevens zijn van freatische lijn in deze dijklichamen zal in deze fase van het project verkennend gekeken worden naar de invloed van de ligging van de freatische lijn op het ontwerp. Aangegeven wordt wanneer de freatische lijn impact kan hebben op het ontwerp in een volgende fase.

8.3.2 Stijghoogte watervoerend pakket (PL3)

In berekeningen wordt voor de stijghoogte PL3 een niveau aangehouden wat overeenkomt met de freatische lijn aan weerszijden van de dijk.

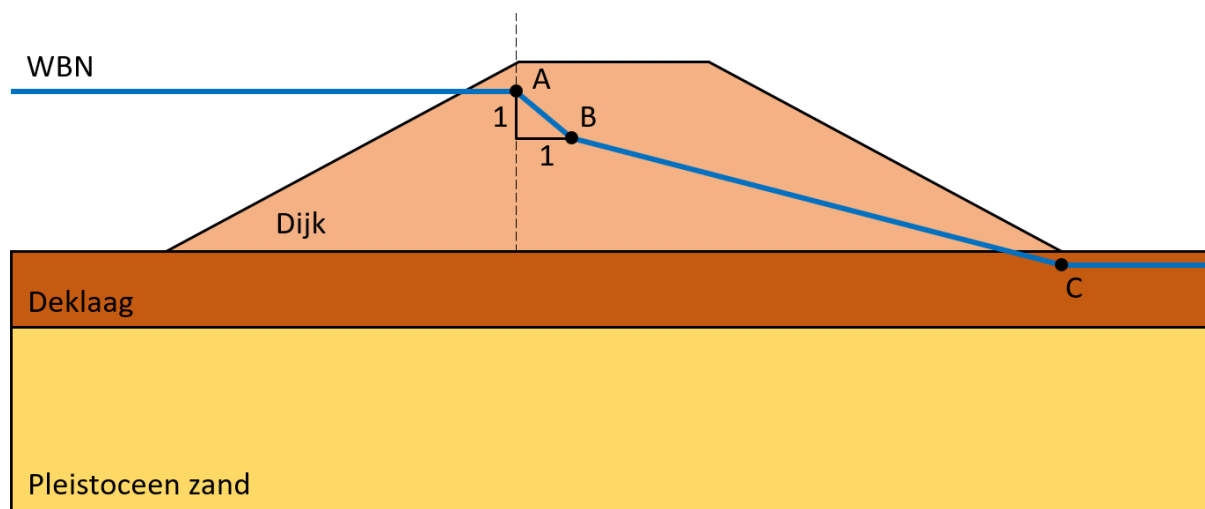
8.3.3 Waterspanningsverloop

In berekeningen wordt hydrostatisch drukverloop in de dijk aangehouden. Over de hoogte van de deklaag wordt geïnterpoleerd.

8.4 Waterspanningen bij hoogwater (STBI)

8.4.1 Freatische lijn (PL1) zonder overslag

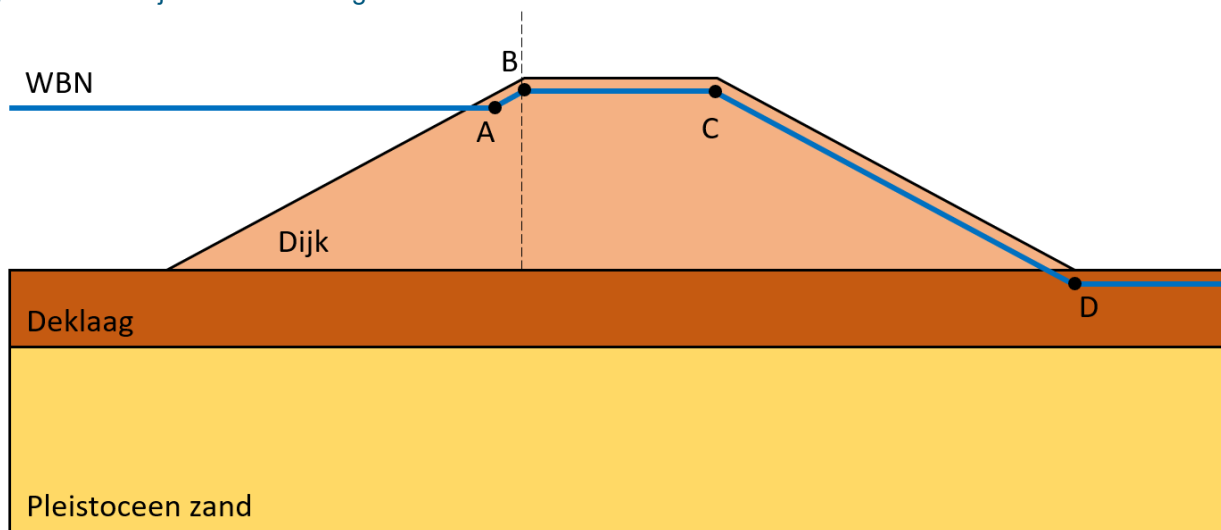
Voor de schematisering van de freatische lijn bij hoogwater is uitgegaan van de in [6] beschreven analyse. In de analyse is middels een PLAXFLOW berekening bepaald dat de freatische lijn loopt zoals beschreven in het TRWD [9]. Figuur 8-1 toont de schematisering van de freatische lijn.



Figuur 8-1: Schematisering van de freatische lijn (blauw) bij hoogwater (WBN) zonder overslag. De freatische lijn buitendijks volgt de WBN lijn tot deze snijdt met de buitenkruin. Daarna loopt de freatische lijn een meter omlaag en een meter richting de binnenkruin, waarna deze middels lineaire interpolatie naar de binnenteen loopt. Richting voorland wordt dan het maaiveld gevolgd.

8.4.2 Freatische lijn (PL1) bij significant overslag

Het overslagdebiet bedraagt 5 l/s/m. Conform de KPR factsheet [24] is besloten om de dijk als verzadigd te beschouwen. De freatische lijn volgt hierbij nagenoeg het profiel van de waterkering. Dit betreft een zeer conservatief uitgangspunt. In de macrostabiliteitsberekeningen wordt de freatische lijn 25 cm onder het maaiveld gemodelleerd. Achter de dijk (achterlandzijde) valt de freatische lijn direct samen met de binnenteen. De KPR factsheet stelt dat aanscherping van de beschreven schematisering mogelijk is als er geen stabiel dijklichaam verkregen wordt.



Figuur 8-2: Schematisering van de freatische lijn (blauw) bij hoogwater (WBN) met overslag.

8.4.3 Stijghoogten watervoerend pakket (PL3)

Voor de stijghoogte in het watervoerend pakket wordt in eerste instantie een hoogte WBN aangenomen. Echter is dit enkel mogelijk als er geen opdrijven optreedt. Bij opbarsten van de deklaag (opdrijven en dikte deklaag kleiner dan 4 m) dient de grenspotential berekend en gemodelleerd te worden. Deze wordt

opgelegd in het nader te bepalen opbarstpunt. Richting het voorland wordt dan lineair geïnterpoleerd naar het intredepunt/ de buitenteen, waar de stijghoogte weer gelijk is aan WBN.

8.4.4 Waterspanningsverloop

De waterspanningen tussen de stijghoogtelijn en freatische lijn zijn lineair geïnterpoleerd in geval van een kleidijk.

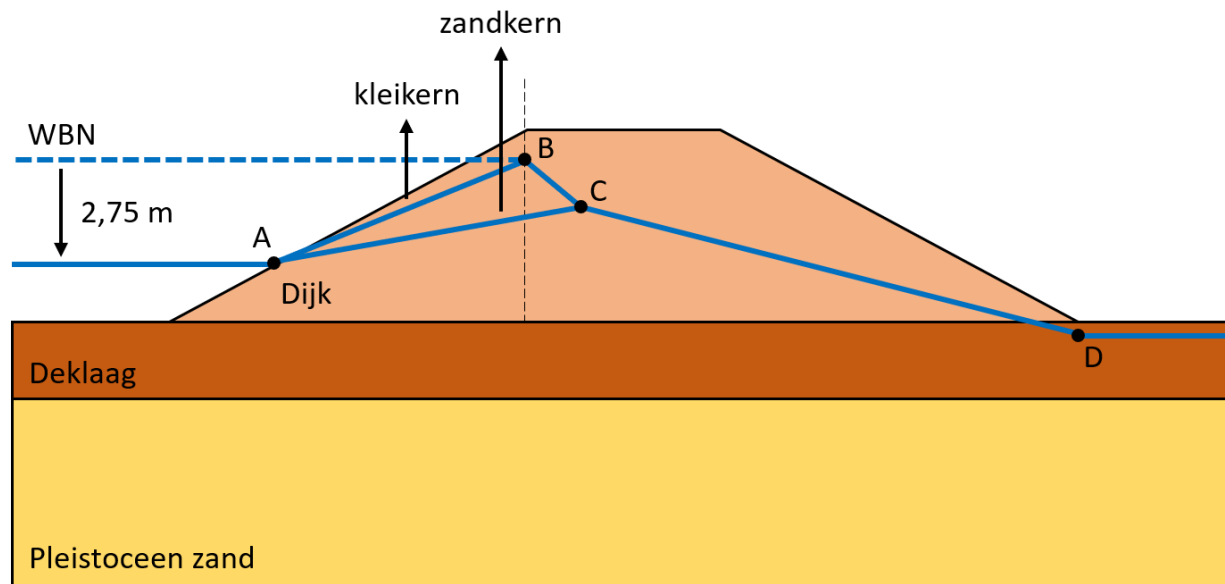
In geval van een zanddijk lopen de waterspanningen hydrostatisch in de zandkern tot bovenkant deklaag. Vanaf bovenkant deklaag wordt lineair geïnterpoleerd naar de stijghoogte in het eerste watervoerende pakket.

8.5 Waterspanningen bij val na hoogwater (STBU)

8.5.1 Freatische lijn (PL1) bij val vanaf WBN

Voor de schematisering van de freatische lijn bij val vanaf WBN is uitgegaan van de analyse in [6]. In de analyse is een afvoergolf van de Maas uitgezet tegen de tijd. Op basis hiervan is een val vanaf WBN van 2,75 m als ontwerpwaarde toegepast.

In **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.** is de schematisering van de freatische lijn bij een val na WBN beschreven. De mate van naijling is afhankelijk gesteld van het type kernmateriaal. Hierbij is onderscheid gemaakt tussen klei en zand. Er is van uitgegaan dat de naijling in een zandkern 1 m minder is dan in een kleikern. Een verdere verfijning lijkt niet passend.



Figuur 8-3: Schematisering van de freatische lijn (blauw) bij hoogwater (WBN) met overslag. De freatische lijn is gegeven voor zowel een waterkering met een kleikern als voor één met een zandkern.

8.5.2 Freatische lijn (PL1) bij strijken stuw

In bijzondere gevallen kan geopteerd worden voor het openen van stuwen. Dit kan resulteren in een snelle verlaging van de waterstand bovenstrooms van de stuw. In dat geval kan een freatische lijn worden bepaald bij een val vanaf stuwpeil waarbij de wijze van schematiseren gelijk is aan die van een val na WBN. In dit geval is de maatgevende lage waterstand van het vallend water gelijk aan het stuwpeil

benedenstrooms van de te strijken stuw. Het stuwpeil benedenstrooms van deze stuw wordt gereguleerd door de stuw bij Grave, zie paragraaf 4.4.3.

8.5.3 Stijghoogten watervoerend pakket (PL3)

Voor de stijghoogte in het watervoerend pakket wordt bij een val uitgegaan van de stijghoogte die verwacht kan worden bij een rivierwaterstand zonder effect van naijling.

8.5.4 Waterspanningsverloop

De waterspanningen tussen de stijghoogtelijn en freatische lijn zijn lineair geïnterpoleerd in geval van een kleidijk.

In geval van een zanddijk lopen de waterspanningen hydrostatisch in de zandkern tot bovenkant deklaag. Vanaf bovenkant deklaag wordt lineair geïnterpoleerd naar de stijghoogte in het eerste watervoerende pakket.

9 Hoogte (HT, HTKW)

9.1 Hoogte groene dijken (HT)

9.1.1 Overslagdebiet en grasbekleding binnentalud

Het overslagdebiet dient 1 tot 5 l/s/m te bedragen [3]. Argumenten conform NVU2.0 [6] en HKV [5] voor deze keuze zijn:

- Er zijn bij een overslag van 5 l/s/m geen eisen aan objecten en overgangen op de kruin van de dijk (bij 10 l/s/m is dit wel het geval);
- Bij een golfhoogte < 2,0 m voldoet een open zode op klei (bij 10 l/s/m is een gesloten zode vereist);
- Beleidsuitgangspunt: Waterschap Limburg gaat uit van een overslagdebiet van 5 l/s/m, zodat de waterkering tot aan het moment van bezwijken te voet begaanbaar is en het binnendijkse waterbezwaar beheersbaar blijft. Daarbij overwegende:
 - WL heeft relatief kleine gebieden achter de keringen ('badkuipjes');
 - WL heeft geen gemalen, maar doet alles met noodpompen. Dit is een grote operatie;
 - Verwachting is dat huidige pompen niet toereikend zijn als gevolg van toegenomen waterbezwaar (meer kwel, meer overslag) en als gevolg van hogere kering (opvoerhoogte pompen neemt met 1,0 à 1,5 m toe);
 - WL heeft al een groot waterbezwaar als gevolg van kwelwater (zand/grind ondergrond) een groot overslagdebiet daar bovenop leidt tot grotere kans op overstroming door waterbezwaar, want het valt niet meer weg te pompen.
- Bij het kasteel wordt een overslagdebiet van 1 l/s/m gehanteerd. Deze waarde is hoofdzakelijk gebaseerd op de beperkte omvang van de dijktrajecten en daarmee samenhangende gevoeligheid voor hoge waterstanden en daarmee wateroverlast binnen de dijktrajecten (HKV [5]).

In onderstaande tabel staat aangegeven aan welke aanvullende eisen het binnentalud moet voldoen, zodat de erosiebestendigheid gewaarborgd blijft, deze gegevens zijn overgenomen uit OI2014.

Tabel 9-1: Overzicht rekenwaarden voor het kritieke overslagdebiet [1]

qc (l/s/m)	Toepassingsvoorwaarden voor grasbekleding op kruin en binnentalud (aan alle voorwaarden moet voldaan worden)
0,1	• geen eisen
1	• gesloten of open zode ^{a)} op klei ^{b)} • voldoende stabiliteit ^{c)} Bij 1 l/s/m gelden geen eisen aan objecten en overgangen op kruin en binnentalud.
5	• Toepasbaar in twee mogelijke gevallen: – gesloten zode ^{a)} op klei ^{b)} en $Hm0 < 4$ m of – open zode op klei en $Hm0 < 2$ m • taludhelling flauwer dan 1:2,3 • voldoende stabiliteit ^{c)} Bij 5 l/s/m gelden geen eisen aan objecten en overgangen op de kruin. Indien op het talud objecten groter dan $0,15 \times 0,15$ m² en/of overgangen aanwezig zijn, dan dient hier in het ontwerp rekening mee te worden gehouden.
10	• gesloten zode ^{a)} op klei ^{b)} • taludhelling flauwer dan 1:2,3 • $Hm0 < 4$ m ^{d)} • voldoende stabiliteit ^{c)} Bij 10 l/s/m gelden geen eisen aan objecten en overgangen op de kruin, behalve in het bovenrivierengebied. Indien op het talud objecten groter dan $0,15 \times 0,15$ m² en/of overgangen aanwezig zijn, dan dient hier in het ontwerp rekening mee te worden gehouden. Voor het bovenrivierengebied geldt dit voor talud én kruin.
a) Een gesloten zode is een op het oog gesloten grasmat, zonder grote ($0,15 \text{ m} \times 0,15 \text{ m}$) open plekken (Een nadere beschrijving van de termen 'gesloten zode' en 'open zode' is te vinden op pagina 76 van <i>Handreiking Toetsen Grasbekledingen op Dijken t.b.v. het opstellen van het beheerdersoordeel (BO) in de verlengde derde toets-ronde</i> d.d. 25-10-2012). b) Minimale gegarandeerde kleidikte van 0,4 m, geen eisen aan kleikwaliteit. c) Controle van de geotechnische stabiliteit van de bekleding op het binnentalud en de binnenwaartse macrostabiliteit. Dit kan leiden tot aanvullende eisen ten aanzien van kleilaagdikte, klei-kwaliteit, het aanbrengen drainage, aanpassing van de taludhelling etc. d) Bij $Hm0 > 4$ m dient advies over de lokaal te hanteren kritieke overslagdebieten ingewonnen te worden bij de Helpdesk Water (www.helpdeskwater.nl). De randvoorwaarden die aan de golfhoogte $Hm0$ worden gesteld (bijvoorbeeld $Hm0 < 2$ m of $Hm0 < 4$ m) kunnen worden afgelezen uit het illustratiepunt van de Hydra-berekening. Hierbij kan Hs gelijk worden gesteld aan $Hm0$.	

9.1.2 Zetting en klink

De waterkering dient gedurende de gehele levensduur minimaal zo hoog te zijn zoals in Tabel 4-3 aangegeven. Bij de aanleghoogte dient rekening te worden gehouden met een overhoogte voor compensatie van zetting en klink. Deze overhoogte moet rekenkundig worden onderbouwd en mag niet meer dan 10cm bedragen. Op locaties waar dit door zettinggevoelige ondergrond aantoonbaar tot grote technische inspanningen leidt (in ontwerp of uitvoeringsontwerp) mag de aannemer verzoek indienen bij opdrachtgever om van deze eis af te wijken.

Bij communicatie naar de omgeving over de hoogte van de kruin wordt aanbevolen om niet enkel de benodigde kruinhoogte aan het einde van de planperiode te noemen maar ook aan te geven dat bij aanleg een overhoogte wordt aangebracht om te compenseren voor zetting en klink.

9.1.3 Benodigde kruinhoogte groene dijken

De benodigde kruinhoogte voor groene dijken is voor het referentieontwerp afgeleid is afgeleid uit Hydra-NL berekening (zie Tabel 4-3) waarbij:

- Wordt uitgegaan van een toelaatbaar overslagdebiet van 0,1, 1 of 5 l/s/m;
- Een zichtperiode van 50 jaar;
- Een taludhelling van de buitenzijde van 1 op 3 (reguliere groene dijk) tenzij binnen het ruimtelijk ontwerp een andere onderbouwde keus wordt gemaakt en mits afgestemd met de beheerder;
- Een taludhelling met grasbekleding
- Bij aanwezigheid van uiterwaarden wordt het voorland geschematiseerd.

9.1.4 Abrupte overgangen in hoogte opgave groene dijken

Abrupte overgangen in hoogteopgave zijn onwenselijk met het oog op andere functies en landschappelijke waarde. Met een oog op duurzaamheid moet er gebruik gemaakt worden van de natuurlijke hoogtes en laagtes in het project gebied. Deze kunnen gebruikt worden om abrupte overgangen te voorkomen en overgangen een natuurlijke vorm te geven.

9.2 Hoogte kunstwerken (HTKW)

De benodigde kruinhoogte voor kunstwerken is voor het referentieontwerp afgeleid is afgeleid uit Hydra-NL berekening (zie Tabel 4-3) waarbij:

- Wordt uitgegaan van een toelaatbaar overslagdebiet van 0,1, 1 of 5 l/s/m (zie Tabel 4-3) ;
- Een zichtperiode van 100 jaar voor de onderbouw en 50 jaar op hoogte (tenzij binnen het project een andere onderbouwde keus wordt gemaakt met een LCC benadering), zie Tabel 4-3;
- Een verticale wand bij constructies (tenzij binnen het ruimtelijk ontwerp een andere onderbouwde keus wordt gemaakt en mits afgestemd met de beheerder);
- Bij aanwezigheid van uiterwaarden wordt het voorland geschematiseerd.

9.3 Drempelhoogtes

De volgende worden aangehouden voor de kunstwerken die zijn voorzien in het referentieontwerp van de keringen rond Well.

Tabel 9-2 Drempelhoogtes kunstwerken project Well [5].

Locatie	Type	Locatie	Indicatie Lengte/diameter	Drempelhoogte
Oud Well	Coupure, puntdeur	Zijstraat, Grotestraat	Lengte= 8m	NAP +14,85m
	Coupure, schotbalken	Achtertuinten Grotestraat	Aantal = 17 stuks Lengte per stuk = 3,0m	NAP +14,85m
	Coupure, deur	Achtertuinten Grotestraat	Aantal = 2 Lengte per deur = 1,2 m	NAP +14,85m
	Demontabele kering	Dorpsplein	L=85m	NAP +14,8m
	Coupure, verzinkbaar	Kasteellaan Well	L=13m	NAP +14,8m
	Afsluiter, uitwateringskunstwerk	Welse Molenbeek	n.t.b.	n.t.b.
	Afsluiter, uitwateringskunstwerk	Nicolaasstraat	n.t.b.	n.t.b.

Nieuw Well	Coupure, puntdeur	Kasteellaan	L=9m	NAP +14,8m
	Coupure, puntdeur	Elsterendijk	L=9m	NAP +14,8m
	Afsluiter, uitwateringskunstwerk	Kasteellaan	n.t.b.	n.t.b.
	Afsluiter, uitwateringskunstwerk	Elsterendijk	n.t.b.	n.t.b.
	Afsluiter, uitwateringskunstwerk	't Leuken	n.t.b.	n.t.b.
Elsteren	Afsluiter, uitwateringskunstwerk	Elsteren noord	n.t.b.	n.t.b.
	Coupure, puntdeur	Elsterendijk	L=9m	NAP +14,8m
Kasteel Well	Coupure	Kasteel Well	L=10m	NAP +15,4m
	Afsluiter	Pomplocatie / gemaal	n.t.b.	n.t.b.

10 Betrouwbaarheid sluiten (BSKW)

In het project Well komen de volgende te onderscheiden waterkerende kunstwerken voor:

- coupures (of demontabele keringen);
- afsluiters.

In een vergelijkbare recente dijkversterking rond Arcen zijn eveneens coupures, demontabele keringen en afsluiters in het ontwerp opgenomen. Een groot deel van de uitgangspunten van Arcen zijn binnen dit project geldig en (deels) overgenomen.

10.1 Lengte-effect

Voor coupures een lengte-effectfactor van $N=1$ aangehouden. De coupures binnen een dijktraject worden als het ware beschouwd als één kunstwerk. Deze werkwijze is toepasbaar door het maken van enkele keuzes in de wijze waarop de faalkansen voor sluiting worden bepaald [5]. Voor demontabele keringen is voor het dijkontwerp bij Arcen de werkwijze nog in 2017 voorgelegd aan Expertise Netwerk Waterveiligheid, waarbij de juistheid van de werkwijze is onderschreven.

Voor de faalkansen voor afsluiters is een aanpak gehanteerd, waarbij de faalkansen van elk kunstwerk worden opgeteld bij de faalkans van de coupures. Als er geen coupures in een dijktraject aanwezig zijn, is de totale faalkans voor betrouwbaarheid sluiting de som van de faalkansen van de afsluiters.

10.2 Faalkans coupures

Een aantal specifieke uitgangspunten voor de bepaling van de faalkansen zijn voor coupures geldig. Deze hebben betrekking op bereikbaarheid, rijafstand, capaciteit, et cetera. In [5] zijn deze uitgangspunten beschreven.

De bepaling van de faalkans voor sluiting wordt door WL bepaald met de "Tool faalkansen demontabele keringen v1.0.xlsx". Voor het referentieontwerp is met deze tool de faalkans voor de coupures afgeleid van $P = 2.94E-03$ per sluitvraag. De analyse dient voor de volgende ontwerpfase een update te krijgen.

10.3 Faalkans afsluiters

Alle afsluiters worden dubbel kerend uitgevoerd met twee spindels. De faalkansen voor dit type keermiddel zijn in andere projecten reeds toegepast en blijken ook voor Well van toepassing [5]. De faalkans per sluitvraag is bij alle afsluiters gelijk, namelijk $P = 5,26 \cdot 10^{-5}$ per sluitvraag.

11 Constructief falen (STKW)

De uitgangspunten in het kader van veiligheidsfilosofie voor de ontwerpverificatie bij constructies zijn reeds benoemd in Hoofdstuk 2.

De verificatie voor constructief falen is uitgevoerd in lijn met de WOWK. Hierbij wordt:

- een ontwerpwaterstand gebruikt die is bepaald op basis van de faalkans op doorsnedeniveau in laatste levensjaar zoals beschreven in paragraaf 2.9.3. In paragraaf 4.2.3 is de overschrijdingskans van de rivierwaterstand voor de ontwerpverificatie voor constructief falen bepaald;
- een rekenwaarde van de sterkte toegepast die volgt uit de NEN-EN 1990. De partiële materiaalfactoren (γ_R) die daarbij gebruikt worden volgen uit de materiaal gebonden Eurocodes (NEN-EN 1990t/m 1997) en in sommige gevallen uit andere richtlijnen.

Vanwege de beperkte gevoeligheid van de constructieve toets voor verschillen in buitenwaterstand is in het referentieontwerp gekozen voor een verificatie op constructieve sterkte waarbij is uitgegaan van een waterstand gelijk aan de toekomstige kruinhoogte (HBN zichtjaar 2125). De opdrachtnemer mag dit aanscherpen.

12 Piping (STPH, PKW)

12.1 Piping bij groene dijken (STPH)

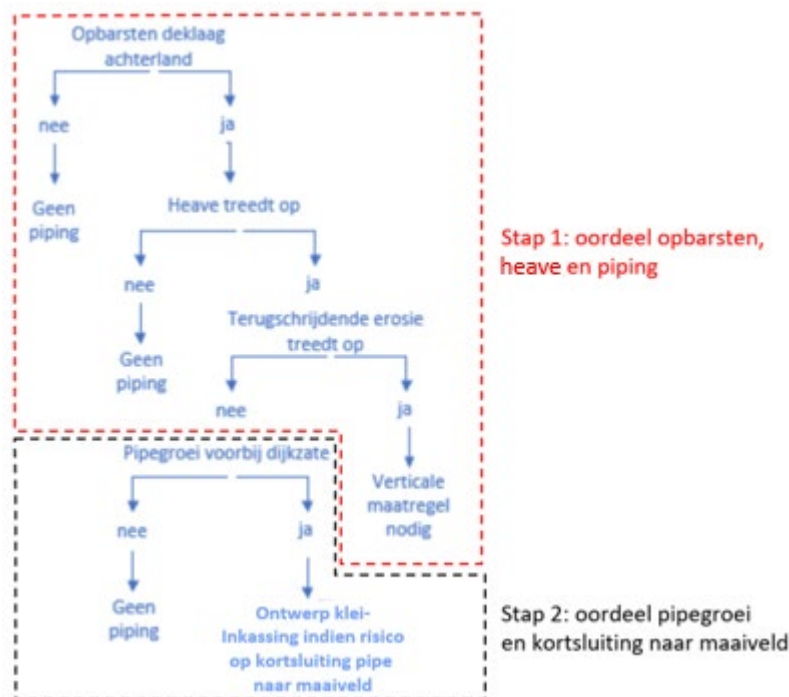
12.1.1 Omgaan met onzekerheden (hoekpuntenanalyse)

Bij het afleiden van rekenwaarden van parameters is gebruik gemaakt van technische leidraden voor piping. Echter, zoals genoemd in paragraaf 2.3.2 reeds aangegeven, blijft er in deze fase van het ontwerp een bandbreedte in parameterwaarden bestaan vanwege de begrenzingen van een onderzoeksinspanning of vanwege onzekere kennis. Met een hoekpuntenanalyse is het effect van deze bandbreedte onderzocht. Dit is opgenomen in de Ontwerprapportage en het onderliggende verificatiedocument waarin de pipinganalyse is beschreven.

12.1.2 Pipinganalyse

Onderstaand is de globale aanpak in een stroomschema weergegeven. De pipinganalyse is opgedeeld in twee stappen:

1. Oordeel opbarsten, heave en piping.
2. Oordeel risico op pipegroei onder het voorland en kortsluiting van de pipe naar maaiveld.



Figuur 12-1 Stroomschema van de piping aanpak

De toets op opbarsten, heave en terugschrijdende erosie volgens de rekenregel van Sellmeijer is uitgevoerd met behulp van de PipingTool, die in samenwerking met waterschap Rivierenland is ontwikkeld en openbaar beschikbaar is voor gebruik. In “Hoofdrapport PipingTool” (RHDHV, 2021) is een achtergrondrapport, gebruikershandleiding en validatie opgenomen van de tool. In de PipingTool is gebruik gemaakt van de effectieve voorlandlengte methode volgens het WBI. Hierbij wordt de volledige

(rest)weerstand in het voorland (na realisatie van het gebiedsontwerp) meegenomen in de analyse. Als resultaat van deze analyse wordt duidelijk of een traject wel of niet voldoet op opbarsten, heave en piping.

Als een traject niet voldoet op piping schiet de optredende pipe tijdens hoogwater door naar het intredepunt in het voorland. Om dit te voorkomen wordt een (verticale) maatregel getroffen. Als een traject voldoet in de piping analyse zal de pipe stoppen met groeien voordat deze doorschiet naar het voorland. Echter moet voorkomen worden dat de pipe doorgroeit tot onder het voorland en vroegtijdig kortsluiting maakt naar maaiveld. In dit geval zal namelijk direct piping kunnen optreden. In een pipegroei-analyse is dan onderzocht op welk punt de pipe stopt met groeien.

In de basis betekent bovenstaande dat de pipe niet mag doorgroeien tot onder het voorland en onder de dijkbasis moet blijven. Als de berekende pipegroei groter is dan de dijkbasis, en een risico aanwezig is op kortsluiting, dan kan o.a. de dijkbasis verlengd worden met een klei-inkassing dienen als oplossing. De klei-inkassingen bestaan dan ook uit een kleilaag die voorkomt dat er kortsluiting ontstaat in het voorland (zie paragraaf 18.2).

12.1.3 Verificatie van berekende faalkans

Het resultaat van de pipinganalyse is een faalkans (of betrouwbaarheidsindex) per uitredepunt. Dit resultaat wordt vergeleken met de top-down bepaalde afgeleide faalkanseis voor piping op doorsnedeniveau gegeven een afgesproken faalkansruimte-verdeling, zie paragraaf 2.8.2, en gegeven een gelijke lengte-effectfactor voor de verschillende deeltrajecten. Het verder verfijnen van de vereiste betrouwbaarheidsindex voor piping per deeltraject op basis van verschillen in lengte-effect is in deze fase niet uitgevoerd.

Tabel 12-1 Betrouwbaarheidsindex's voor deeltrajecten 60-1, 60-2, 60-3 *)

Faalmechanisme	$P_{e,s,i;dsn}$ [per jaar]	Betrouwbaarheids-index β [-]
Piping en heave groene dijk (STPH)	$2,4 \cdot 10^{-4}$ **)	3,49

*) betrouwbaarheidsindex is voor alle deeltrajecten gelijkgesteld.

**) Deze faalkans op doorsnedeniveau geldt voor Nieuw Well en Elsteren. Voor Oud Well is een fractie lagere faalkans bepaald. Voor het referentieontwerp is het niet nodig om dit onderscheid aan de eisen-kant nader te beschouwen. Dit wordt afgevangen in de werkwijze waarbij onzekerheden in kaart worden gebracht, zie ontwerprapport.

12.1.4 Categorie-indeling WBI

Het WBI hanteert de categorie-indeling zoals gegeven in Tabel 12-2, waarbij de berekende faalkans wordt ingedeeld in een 7-tal categorieën, die de afstand tot de norm tot uitdrukking brengen. In de PipingTool is deze categorie-indeling gehanteerd. De categorie-indeling is toegepast per uitredepunt. Ieder uitredepunt dient minimaal te voldoen aan de ondergrenswaarde. Dit betekent dat categorie I t/m III voldoen en categorie IV t/m VI niet voldoen op het faalmechanisme piping.

Tabel 12-2 Categorieën voor het toetsoordeel per vak per toetsspoor

Cat.	Aanduiding categorie toetsoordeel per vak per toetsspoor	Begrenzing categorie	Kleurcodering Pipingtool
		$P_{f,dsn}$ Faalkans per vak (doorsnede of kunstwerk) [1/jaar]. $P_{eis,sig}$ Signaleringswaarde van het dijktraject [1/jaar]. $P_{eis,ond}$ Ondergrens van het dijktraject [1/jaar]. $P_{eis,sig,dsn}$ Faalkanseis per doorsnede of kunstwerk [1/ jaar]	
I _v	voldoet ruim aan de signaleringswaarde	$P_{f,dsn} < \frac{1}{30} P_{eis,sig,dsn}$	
II _v	voldoet aan de signaleringswaarde	$\frac{1}{30} P_{eis,sig,dsn} < P_{f,dsn} < P_{eis,sig,dsn}$	
III _v	voldoet aan de ondergrens en mogelijk aan de signaleringswaarde	$P_{eis,sig,dsn} < P_{f,dsn} < P_{eis,ond,dsn}$	
IV _v	voldoet mogelijk aan de ondergrens of aan de signaleringswaarde	$P_{eis,ond,dsn} < P_{f,dsn} < P_{eis,ond}$	
V _v	voldoet niet aan de ondergrens	$P_{eis,ond} < P_{f,dsn} < 30P_{eis,ond}$	
VI _v	voldoet ruim niet aan de ondergrens	$P_{f,dsn} > 30P_{eis,ond}$	
VII _v	nog geen oordeel		

12.1.5 Rekenlocaties

Voor de pipinganalyse van gebiedsontwikkeling Well kunnen vele uittredepunten gedefinieerd worden waarbij voor elk uittredepunt de faalkans voor opbarsten, heave en terugschrijdende erosie is bepaald. Per uittredepunt wordt gerekend met de daar aanwezige uitgangspunten ten aanzien van bodemhoogte, binnendijks grondwaterpeil en afstand tot de intredelijijn.

De locaties van de uittredepunten zijn als volgt gekozen:

- Op de huidige binnenteenlijn van de waterkering h.o.h. 20 m, mits er geen binnenwaartse versterking is ontworpen
- Op de nieuwe binnenteenlijn van het versterkingsontwerp h.o.h. 20 m, mits aanwezig
- De huidige binnenteenlijn en nieuwe binnenteenlijn zijn met een onderlinge afstand van 20 m gekopieerd in binnendijkse richting, waarna vervolgens op deze nieuwe lijnen wederom intredepunten automatisch zijn gegeneerd op h.o.h. afstanden van 20 m

Het genereren van punten op een vaste afstand van elkaar op een lijn in het achterland zorgt voor een gebiedsdekkend beeld. Hiermee kan een vlakdekkend oordeel worden benaderd. Vervolgens zijn tijdens meerdere momenten van het project extra punten handmatig ingeklikt om lokale pipingproblemen op te sporen of uit te sluiten. Hierdoor is duidelijk onderscheid te maken tussen een lokaal piping probleem (zoals bijvoorbeeld in een sloot) en een globaal piping probleem.

Tevens zijn er gebieden, zoals nieuw Well, waar het vrij evident is dat hier geen pipingprobleem is door zeer hoog achterland. Hier is de punt dichtheid minder dicht opgezet dan elders in het traject. Er worden bewust punten geplaatst om te bevestigen dat hier inderdaad geen pipingprobleem zich voordoet.

12.1.6 Maaiveldhoogte bij uittredepunt

Voor het bepalen van de maaiveldhoogte per uittredepunt is als basis het AHN-3 maaiveldraaster (0,50 x 0,50 m DTM) gebruikt. Dit maaiveldraaster bevat geen hoogtedata voor natte oppervlakken (eg. sloten, watergangen, plassen en wielen).

Wanneer de bodemhoogte niet bekend is, wordt ervan uitgegaan dat de sloot de volledige deklaag doorsnijdt met nog een kleine weerstandbiedende laag van 0,1 m. Dit is een erg conservatieve aanname in het geval van een dikkere deklaag.

12.1.7 Binnendijs grondwaterpeil

De gemiddelde waarde van het binnendijs grondwaterpeil is gelijkgesteld aan het maaiveldniveau. In het projectgebied van gebiedsontwikkeling Well is de verwachting dat het achterland verzadigd is door:

- neerslag: de Maas is een regenrivier en de verwachting is dat bij een hoge Maasafvoer ook veel neerslag zal vallen in het benedenstroomse deel van de rivier (het projectgebied);
- kwelwater: dit zal zorgen voor een toename van het freatisch niveau aan de binnenzijde van de dijk.

Ten tijde van hoogwater worden er in het projectgebied pompstations geactiveerd die de hoeveelheid kwelwater moeten reguleren. Er wordt uitgegaan dat deze pompen water verpompen tot een hoogte van het maaiveld of slootbodemp. Het meenemen van eventueel water op de oppervlakte heeft een gunstige werking op het pipingoordeel. Voor de pipinganalyse wordt uitgegaan dat de freatische waterstand maximaal tot aan maaiveld staat.

Het binnendijs grondwaterpeil wordt gebruikt voor het bepalen van het aanwezige verval en het totale gewicht van de deklaag ter hoogte van natte oppervlakken.

12.1.8 Stijghoogte opbarsten en heave

Voor het bepalen van de veiligheid tegen opbarsten voor piping volgens het OI2014v4 is het WBN gebruikt. Dit is een conservatieve aanname. De stijghoogte in het achterland zal iets lager, maar nooit hoger, liggen dan de buitenwaterstand waar in deze fase van uit is gegaan.

Voor het bepalen van de stijghoogte alvorens het opbarsten om een reëel beeld te krijgen van de opbarstveiligheid is aangeraden om een geohydrologisch model te maken/raadplegen.

12.1.9 Volumiek gewicht deklaag

Er is voor gekozen om voor de pipinganalyse een uniform volumiek gewicht van de deklaag toe te passen voor het gehele traject van 18 kN/m³.

12.1.10 Standaardparameters Sellmeijer

In onderstaande tabel zijn de standaardparameters in de Sellmeijer-formule gegeven.

Tabel 12-3 Standaard parameters Sellmeijer

Beschrijving	Parameter	Waarde	Eenheid
Kinematische viscositeit van water	ν_{water}	1,33E-06	m ² /s
Rolweerstandshoek van de zandkorrels	θ	37	°
Coëfficiënt van White	η	0,25	-
Gemiddelde d ₇₀ in de kleine schaalproeven	d_{70m}	2,08E-04	m
volumegewicht van korrelmateriaal	γ_p	26	kN/m ³
Volumegewicht van water	γ_w	9,81	kN/m ³

12.1.11 Locatiespecifieke parameters

De volgende parameters zijn locatiespecifiek en zijn beschreven in de betreffende bijlage van het ontwerprapport:

- effectieve voorlandlengte;
- dikte en doorlatendheid van het watervoerend pakket;
- dikte deklaag;
- maaiveldhoogte.

Voor deze ontwerpwaarden van de parameters zijn bandbreedtes gedefinieerd wanneer de informatie te beperkt is om een scherpe rekenwaarde te kunnen vaststellen. Op basis van een hoekpuntenanalyse is bepaald of nadere onderzoeksinspanning doelmatig is.

12.2 Ontwerp pipingmaatregelen groene dijken (STPH) en piping bij kunstwerken (PKW)

12.2.1 Algemeen

In deze fase (referentieontwerp) wordt aangegeven waar verticale maatregelen ten aanzien van piping nodig zijn. Deze maatregelen, zoals heavescherm- en filteroplossingen, zijn inpasbaar binnen de ruimte die wordt gereserveerd voor het dijkontwerp. In deze fase van het ontwerp is het nog niet nodig om ontwerpverificaties uit te voeren voor het vaststellen van de dimensies van deze pipingmaatregelen. Het type ontwerpmaatregel staat immers nog niet vast.

In een vervolgfase wordt aanbevolen om de ontwerpverificatie van pipingmaatregelen gebruik te maken van publicaties die door de DIV werkgroep piping worden gepubliceerd.

12.2.2 Heaveschermen

De verificatie van piping onder schermen wordt normaliter uitgevoerd door te toetsen op hydraulische grondbreuk (hydraulic heave) als gevolg van verticale opwaartse grondwaterstroming achter het scherm. In het OI2014 en in de WOWK is een globale verificatiemethode beschreven voor het omgaan met piping onder een scherm en in het bijzonder de verificatie op hydraulische grondbreuk. Het nadeel van de beschreven verificatiemethode voor hydraulische grondbreuk is dat deze is opgesteld voor situaties waarbij er geen cohesieve deklaag bovenop de pipinggevoelige zandlaag aanwezig is. Hierdoor is het toepassingsgebied van de methode uit OI en WOWK beperkt. Ook grote delen van het project Well lijken buiten dit toepassingsgebied te vallen. De in paragraaf 12.2.1 genoemde marge voor globale dimensies is geschat in de gedachte van de verificatiemethode die in de DIV publicatie heaveschermen is beschreven.

13 Macrostabiliteit (STBI en STBU)

13.1 Veiligheidsfactoren macrostabiliteit

De veiligheidsfactor waaraan de waterkeringen getoetst worden, is als volgt:

Veiligheidsfactor en partiële factoren macrostabiliteit

$$\gamma_r = \gamma_b \gamma_m \gamma_n \gamma_d$$

In de volgende paragrafen wordt nader ingegaan op de afleiding van de verschillende factoren.

13.1.1 Faalkans en schadefactor γ_n

De afleiding van de schadefactor γ_n voor het mechanisme macrostabiliteit binnenwaarts gebeurt op basis van de maximaal toelaatbare faalkans (1/100 per jaar) op doorsnede niveau en de faalkansbegroting zoals beschreven in [1]. De faalkansruimte voor macrostabiliteit betreft 4%. Bij het gebruik van het CSSM materiaalmodel wordt de schadefactor als volgt berekend:

$$\gamma_n = 0,15 \times \beta_{eis,dsn} + 0,41 \text{ met } \beta_{eis,dsn} = -\phi^{-1}(P_{eis,dsn})$$

In Tabel 13-1 is een samenvatting gegeven van de faalkanseisen op doorsnedeniveau, de bijbehorende betrouwbaarheidsindex en schadefactoren voor macrostabiliteit binnenwaarts en buitenwaarts. Opgemerkt wordt dat er per deeltraject (Elsteren, Oud Well en Nieuw Well) een schadefactor berekend dient te worden, op basis van de (deel)trajectlengte. Echter is er in deze fase van het project voor gekozen om voor de drie deeltrajecten dezelfde trajectlengte te hanteren. Bij deze overweging is wel geopteerd voor een conservatieve benadering van de schadefactor. Omdat de schadefactor toeneemt met de trajectlengte, is de grootste lengte uit paragraaf 2.1 gehanteerd en naar boven afgerond.

Tabel 13-1: Faalkanseisen per doorsnede dijktraject 60-1

Faalmechanisme	$P_{eis,i}$ [per jaar]	$P_{eis,i;dsn}$ [per jaar]	Betrouwbaarheids-index β [-]	Schadefactor γ_n (CSSM)
Macrostabiliteit binnenwaarts (STBI) ($\omega=0,04$)	$4 \cdot 10^{-4}$	$1,34 \cdot 10^{-4}$	3,64	0,96
Macrostabiliteit buitenwaarts (STBU) <i>X 10 t.o.v. STBI</i>	$4 \cdot 10^{-3}$	$1,34 \cdot 10^{-3}$	3,00	0,86

In afwijking op de KPR factsheet Werkwijze macrostabiliteit bij golfoverslag [24] worden in deze fase van het project geen afzonderlijke schadefactoren bepaald voor macrostabiliteit bij significante overslag. In vervolgfases kan ervoor worden gekozen om dit alsnog te doen om tot een economischer/duurzamer ontwerp te komen.

13.1.2 Materiaalfactor γ_m

Conform [1] mag voor de materiaalfactor worden uitgegaan van de waarde $\gamma_m = 1,0$ wanneer gebruik wordt gemaakt van het CSSM-materiaalmodel.

13.1.3 Modelfactoren γ_d

Conform [1] dienen de volgende modelfactoren te worden gehanteerd wanneer het CSSM materiaalmodel gehanteerd wordt:

Tabel 13-2: Aan te houden modelfactoren bij rekenmodellen voor macrostabiliteitsberekeningen.

Rekenmodel	Modelfactor
Bishop	1,11
LiftVan	1,06
Spencer-Van der Meij	1,07
EEM	1,06

13.1.4 Schematiseringsfactor γ_b

De methodiek volgens het Technisch Rapport Grondmechanisch Schematiseren wordt gevolgd [11]. Hierbij is rekening gehouden met het feit dat het project zich nog in een vroeg stadium van het ontwerpproces bevindt. Daartoe is de bovengrens gekozen van het in het OI2014 voorgestelde bereik, deze waarde bedraagt 1,1 voor macrostabiliteit binnenwaarts en 1,05 voor macrostabiliteit buitenwaarts.

In vervolgfase wordt de veiligheidsfactor getoetst met behulp van verschillende scenario's per deelfaalmecanisme voor piping. Deze scenario's kunnen met behulp van de pipingtool direct worden berekend of met behulp van het rekenblokje schematiseringsfactoren van de helpdesk water worden bepaald.

13.2 Macrostabiliteit binnenwaarts (STBI)

In Tabel 13-3 zijn de belastinggevallen voor macrostabiliteit binnenwaarts samengevat. Verwacht wordt dat extreme neerslag niet maatgevend zal zijn.

Tabel 13-3: Belastinggevallen STBI

Belastinggeval	waterstand rivier	verloop freatische lijn in dijk	waterstand achterland
1. Maatgevend hoogwater	Ontwerpwaterstand	Zie hoofdstuk 8	maaiveldniveau
2. Maatgevend hoogwater en overslagdebiet van 5 l/s/m	Ontwerpwaterstand	Zie hoofdstuk 8	maaiveldniveau
3. Extreme neerslag	Gemiddeld	Dagelijks ¹⁾ + 0,5 m	maaiveldniveau

¹⁾ dagelijks is in dit geval NAP +11 m.

In het referentieontwerp wordt fase 3 buiten beschouwing gelaten. Voor belastinggevallen 1 en 2 gelden de volgende veiligheidsfactoren.

Tabel 13-4: Veiligheidsfactoren voor belastinggeval 1 STBI

Faalmecanisme	Berekeningsmodel	γ_n	γ_b	γ_d	γ_m	γ_R
STBI	LiftVan	0,96	1,1	1,06	1,0	1,12
	Bishop	0,96	1,1	1,11	1,0	1,17

13.2.1 Macrostabiliteit bij opbarsten

De sterktereductie in de opbarstzone is gerelateerd aan de veiligheid tegen opbarsten (γ_{up}) en de dikte van de deklaag. Conform het TRWG [10] wordt per doorsnede berekend wat de waarde γ_{up} is. Deze wordt berekend waar het maaiveld (ten opzichte van de onderkant van de deklaag) het meest kritiek is. Als geldt dat $\gamma_{up} < 1,2$ dan is er sprake van opdrijven. Als tevens geldt dat de dikte van de deklaag kleiner is dan 4 m, is er sprake van opbarsten. In dit geval worden de sterkteparameters van de deklaag ingesteld op 0 kPa, over een breedte van 2 keer de dikte van de deklaag (vanaf de opbarstlocatie).

In het geval van een sloot wordt de grenspotential berekend met het gewicht van de sloot en het (cohesieve) pakket eronder.

13.2.2 Steilranddijken

Wanneer het binnentalud van een steilranddijk flauwer is dan 1:8, dan is STBI niet van toepassing vanwege de flauwheid van het talud. Gesteld wordt dat deze niet onderhevig is aan instabiliteit onder de gegeven (hydraulische) belastingen.

13.3 Macrostabiliteit buitenwaarts (STBU)

13.3.1 Belastinggevallen

In Tabel 13-5 zijn de belastinggevallen voor macrostabiliteit buitenwaarts samengevat. Belastinggeval 1 en 3 zijn hierin vrijwel identiek. Verwacht wordt dat het stuwpeil lager ligt dan de ontwerpwaterstand. Daarom zal belastinggeval 3 in veel situaties maatgevend zijn boven belastinggeval 1.

De grondwaterstand in het achterland wordt geschat op basis van de bodemopbouw en algemeen inzicht in het geohydrologisch systeem. Dit is een gebiedsspecifiek uitgangspunt dat in de betreffende bijlagen bij het Technisch Ontwerp is beschreven.

Of er in het betreffende belastinggeval wel of geen rekening moet worden gehouden met bovenbelasting en wat de grootte van de ontwerpbovenbelasting is, is afhankelijk van de lokale situatie. Dit is een gebiedsspecifiek uitgangspunt dat in de betreffende bijlagen bij het Technisch Ontwerp is beschreven. In geval van een weg die toegang moet geven voor verkeer en zandwagens tijdens hoogwater is een verkeersbelasting van 13 kPa aangehouden. Op locaties die niet voor verkeer toegankelijk zijn is uitgegaan van de mogelijkheid om zandzakken tijdens hoog water te kunnen aanbrengen. Hierbij is uitgegaan van een verdeelde belasting van 8 kPa.

Tabel 13-5: Belastinggevallen STBU

Belastinggeval	waterstand rivier
1.STBU val na hoogwater	Ontwerpwaterstand – 2,75 m
2.STBU bij extreme neerslag	Stuwpeil
3.STBU bij snelle val vanaf stuwpeil	Stuwpeil – 2,75 m

Voor bovenstaande belastinggevallen gelden de volgende veiligheidsfactoren:

Tabel 13-6: Veiligheidsfactoren voor belastinggeval 1; Verificatie volgens OI 2014v4

Belastinggeval	Model	γ_n	γ_b	γ_d	γ_m	γ_R
1. STBU val na hoogwater	Bishop	0,86	1,05	1,11	1,0	1,00

Tabel 13-7: Veiligheidsfactoren voor belastinggeval 2 en 3; Verificatie volgens NEN-9997

Faalmechanisme	Model	γ_m
2. STBU bij extreme neerslag 3. STBU bij snelle val vanaf stuwpeil	Bishop	Effectieve sterkte parameters: 1,25 Ongedraineerde sterkte parameters 1,4

14 Microstabiliteit (STMI)

Maatregelen tegen microstabiliteit worden geïntegreerd in het dijkontwerp door bijvoorbeeld een specifieke dimensie van een steunberm te kiezen, een filterconstructie op een iets andere positie in het profiel te ontwerpen of een kleilaag net iets dikker te maken. Bij een overslag van $q > 0,1$ l/s/m bij een overschrijdingskans die getalsmatig gelijk is aan de norm, is GABI in plaats van STMI maatgevend [6].

Op- en afritten zijn onderdeel van de dijk ten aanzien van bekleding. Deze dienen aan dezelfde bekledingseisen te voldoen als de rest van het dijklichaam.

15 Bekleding (GEBU,GEK, GABU en GABI)

15.1 Functionele eisen

Voor het project Well wordt zoveel mogelijk gebruik gemaakt van grond die bij de gebiedsontwikkeling vrijkomt. De werkwijze van grondgestuurd ontwerpen wordt daarbij toegepast, zie paragraaf 5.2. Grondgestuurd ontwerpen houdt in dat materiaal-, uitvoerings- en beheerspecificaties van de bekleding dusdanig worden gekozen dat een dijkontwerp met lokaal vrijkomende grond mogelijk is. De verificatie van de bekleding vindt daarbij plaats op basis van functionele eisen. De volgende functionele eisen onderscheiden:

- Erosiebestendigheid
- Afschuiving bekleding
- Waterdichtheid (beheersing van de freatische lijn en kwel door de dijk)

In deze fase van het ontwerp wordt op functionele eisen ontworpen. Een vertaling naar materiaalspecificaties zal in een volgende fase worden uitgewerkt.

15.2 Erosiebestendigheid

Het huidige ontwerpinstrumentarium [3] richt zich ten aanzien van erosiebestendigheid vrijwel volledig op de kwaliteit van de graszode in relatie tot taludhelling, golfbelasting en overslagdebiet (binnenbekleding) en stelt vanuit erosiebestendigheid beperkte criteria aan de onderbekleding (klei die zich onder de leeflaag bevindt). In recent onderzoek bij Waterschap Drentse en Overijsselse Delta [50] zijn ook voor een bestaande grasbekleding op zandbekleding erosieparameters bepaald waarmee de erosiebestendigheid van gras op zand kan worden bepaald. Vooralsnog is er voor het buitentalud uitgegaan van een gras op een kleibekleding.

15.2.1 Teelaarde (schrale klei)

Bij materialisering zal in eerste instantie worden gekeken naar de eigenschappen van de leeflaag en de geschiktheid voor grasgroei en goede doorworteling. In NVU2.0 [6] zijn specificaties van de leeflaag opgenomen. Deze richten zich ondermeer op de geschiktheid voor grasgroei. Vooralsnog is ervan uitgegaan dat de in het gebied beschikbare klei de juiste eigenschappen heeft voor het ontwikkelen van een gesloten graszode.

Conform [6] worden aan de aan te brengen teelaarde laag van circa 0,3 m schrale klei de volgende eisen gesteld:

- klei met minimaal 9% lutum en maximaal 20% lutum;
- klei met maximaal 5% organische stof;
- kunstmest “start” gift;
- compost doorfrezen;
- controle van afdoende bodemleven.

Het hergebruik van de bestaande bekledingslagen heeft daarbij altijd de voorkeur. Verificatie van de geschiktheid dient op basis van onder andere de Atterbergse grenzen (erosiebestendige onderlaag) en soortensamenstelling (teelaarde-laag) plaats te vinden. Partijen met ongewenste (on)kruiden dienen afgevoerd te worden.

Toevoeging van microhyza, bepaalde extracten met micro-organismen of steenmeel kan het aanslaan van de grasmat verbeteren en wordt daarom in overweging gegeven. Deze middelen kunnen eenvoudig door het substraat worden gemengd tijdens het aanbrengen op het dijktaalud.

15.2.2 Grasmata

Conform NVU2.0 [6] wordt normaliter ongeveer na 5 jaar na inzaaien met het juiste grasmengsel de gewenste kwaliteit bereikt, mits een “goed” beheer is gevoerd en mits het substraat (schrone kleilaag op taalud) aan de eisen van paragraaf 15.2.1 voldoet.

Wordt de grasmat binnen een periode van ongeveer 5 jaar belast door golfslag tijdens een hoge waterstand, dan moet schade worden verwacht. Doordat de wortels van het gras nog niet een voldoende dik net hebben gevormd, wordt klei uitgewassen en ontstaan zogenaamde afslagranden (afmetingen in orde grootte van decimeters diep haaks op taalud).

Het juiste grasmengsel is een dijkmenngsel, waar zaden van kruiden doorheen zijn gemengd. De toevoeging van kruiden dient te zijn afgestemd op de lokaal aanwezige soorten alsmede anticiperend op droogte als gevolg van klimaatverandering. Doelsoorten zitten in het Glanshaver-verbond (kruiden met penwortels en glanshaver zelf = beter droogtebestendig gras).

De ontwikkeling van de grasmat kan worden versneld door te waarborgen dat er voldoende bodemleven in het substraat aanwezig is, zoals wormen en micro-organismen. Om dit te bewerkstelligen mag het substraat niet lang (meerdere maanden) in depot staat.

15.3 Afschuiving bekleding (GABU en GABI)

Conform NVU2.0 [6] is de vigerende norm de schematiseringshandleiding Grasbekleding [37]. De onderbekledingslaag in samenhang met de eigenschappen van het kernmateriaal bepaald de weerstand tegen afschuiven van de bekleding. Voor de onderlaag van de kleibekleding betekent dit dat er op functionele eisen wordt ontworpen waarbij ook wordt gekeken naar toepassingsmogelijkheden van klei die niet voldoet aan de materiaalspecificaties van de onderlaag zoals beschreven in [6]. De ontwerpverificatie ten aanzien van afschuiven van de bekleding is in de ontwerprapportages beschreven.

Bij de verificatie dient rekening gehouden te worden met:

- een overslagdebiet van $q = 5 \text{ l/s/m}$ (binnentalud) of vallend water (buitentalud);
- waterdrukken die horen bij de freatische lijn onder ontwerpcondities zoals beschreven in hoofdstuk 8. Deze waterdrukken zijn sterk afhankelijk van de opbouw van de dijk.

Deze verificaties zijn in de ontwerprapportage en onderliggende bijlagen nader beschreven.

Bij een overslag van $q < 0,1 \text{ l/s/m}$ bij een overschrijdingskans die getalsmatig gelijk is aan de norm, is STMI in plaats van GABI maatgevend.

15.4 Waterdichtheid

Verificatie van waterdichtheid richt zich op de beheersing van de freatische lijn en de beheersing van de hoeveelheid kwel door de dijk. De bekleding wordt daarbij niet geïsoleerd getoetst maar als onderdeel van het totale dijkontwerp inclusief de interactie met de ondergrond. De verificatie is in hoofdlijnen, daar waar relevant, beschreven in de ontwerprapportage en onderliggende bijlagen.

15.5 Afmetingen bekledingslagen

Voor de diktes van de bekledingslagen wordt zoveel mogelijk aangesloten op de criteria zoals genoemd in NVU2.0 [6]. Aanpassingen op deze maten zijn mogelijk met een onderbouwing vanuit het functioneel ontwerp.

16 Zettingsvloeiing (statisch)

Dit mechanisme is in het referentieontwerp niet beschouwd.

17 Niet-waterkerende objecten (leidingen, bebouwing en BBB)

Niet waterkerende objecten zijn in het referentieontwerp niet beschouwd. Mogelijke objecten die in de VO-fase in beeld zijn, zijn:

Dijktraject 60-..	Object	Opmerking
2 (oostzijde)	Wegkruising Weideweg	Aandachtspunt is afstemming kruinhoogte, doorrijdhoogte en onderzijde brugdek
2 (oostzijde)	Brug N270	Relatie bestaand grondlichaam en dijk
2 (noordwestzijde)	Brug naar tuin bij kasteel Well	Bestaande te handhaven constructie direct naast waterkering.
2 (noodwestzijde)	Nieuwe brug t.b.v. ontsluitingsroute kasteel	
2 (zuidzijde)	Pomplocatie nabij Grotestraat 46	Zie legger
2 (zuidzijde)	Riolering nabij Grotestraat 46	Zie legger
2 (zuidzijde)	Meetstation nabij Grotestraat 36	Steiger en afmeervoorziening
2 (zuidzijde)	Kapel t.o. Grotestraat 34	Achterzijde kapel is onderdeel Historische keermuur Oud Well
2 (zuidzijde)	Huidige beekuitlaat	
3 (oostzijde)	Dijkkruising Nicolaasstraat	
3 (noordzijde)	Dijkkruising Elsterendijk	
3 (zuidwestzijde)	Dijkkruising Elsteren (zuid)	

18 Ontwerp overig

18.1 Dijkkern

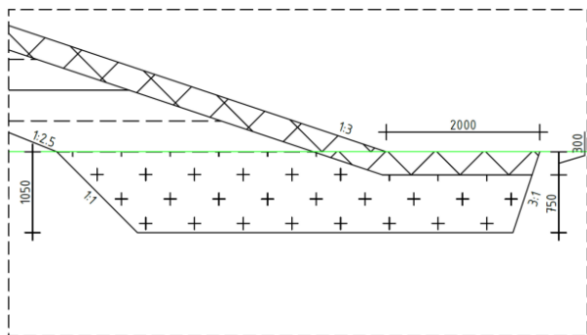
Conform NVU2.0 [6] gelden voor de dijkkern de volgende algemene eisen:

- grond vrij van grind of puin groter dan 4 cm;
- maximaal 5% grind en baksteen- of betonpuinresten kleiner dan 4 cm;
- maximaal 6% organische stof.

18.2 Klei-inkassing

Conform NVU2.0 [6] dient voor het standaardprofiel (1:3 taluds) aan weerszijden van de waterkering een klei-inkassing van 2,0 m uit de teen te worden aangebracht om erosie als gevolg van overslaand water aan de teen te mitigeren. De klei-inkassing wordt 0,75 m dik en afgedekt met een leeflaag van 0,3 m. Hetzelfde materiaal als gebruikt voor de taluds wordt toegepast in de klei-inkassing. Het uiteinde van de klei-inkassing verloopt met een 3:1 talud richting het maaiveld (zie Figuur 18-1).

Bij flauwe binnentaluds of lage dijken zijn versnellingsfactoren van overslaand water kleiner en is er minder kans op erosie. Voor deze profielen zal de noodzaak van een klei-inkassing moeten worden onderzocht.



Principe detail klei-inkassing

Figuur 18-1: klei-inkassing [6]

18.2.1 Glazen kering

Glazen keringen worden ontworpen volgens [35].

19 Referenties

- [1] Groene rivier Well, Technisch ontwerp waterkeringen (VO), BJ1000_W3410-5
- [2] Groene rivier Well, Technisch ontwerp waterkering Kasteel (VO), BJ1000_W3410-3
- [3] Ontwerpen met overstromingskansen, Veiligheidsfactoren en belastingen bij nieuwe overstromingskansnormen (OI2014), versienummer 4, definitief, Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving, Lelystad, feb 2017.
- [4] Werkwijzer Ontwerpen Waterkerende Kunstwerken, status definitief – groene versie, versienummer 2D, Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving Waterkeringen, 1 november 2018.
- [5] Project Well, Nota van Uitgangspunten Waterkeringen, definitief, HKV, maart 2023.
- [6] IO.PROG.29.002 Nota van Uitgangspunten ontwerp Tranche 2, versienummer 1.0, Status 100%, Witteveen en Bos en Arcadis in opdracht van Waterschap Limburg, 24 november 2020.
- [7] *Werkwijze bepaling hydraulische ontwerprandvoorwaarden, OI2014 versie 3 (definitief)*, voor HWBP 2015 projecten, rapportage 1210420-000-HYE-0007, Deltares, Delft, april 2015.
- [8] *Leidraad Rivieren*, Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Expertise Netwerk Waterkeren, Den Haag, juli 2007, ISBN 978-90-369-1408-6.
- [9] Technisch rapport Waterspanningen bij dijken, TR26, Technische adviescommissie voor de waterkeringen, Delft, 1 september 2004.
- [10] *Technisch Rapport Waterkerende Grondconstructies*, Geotechnische aspecten van dijken, dammen en boezemkaden, technische adviescommissie voor de waterkeringen, juni 2001, ISBN 90-369-3776-0.
- [11] *Technisch Rapport Grondmechanisch Schematiseren bij Dijken*, Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving, Expertise Netwerk Waterkeren, Lelystad, oktober 2012.
- [12] Onderzoeksrapport Zandmeevoerende Wellen, Rijkswaterstaat, ministerie van infrastructuur en milieu, Lelystad, 10 juli 2013.
- [13] *Technisch Rapport Grondmechanisch Schematiseren bij Macrostabieliteit*, maart 2016.
- [14] Rijkswaterstaat, “Handreiking Toetsen Grasbekledingen op Dijken t.b.v. het opstellen van het beheerdersoordeel (BO) in de verlengde derde toetsronde”, oktober 2012.
- [15] Schematiseringshandleiding Piping, WBI2017, 2 januari 2017.
- [16] Onderzoeksrapport Waterspanningen bij dijken.
- [17] Technisch Rapport Waterkerende Grondconstructies – Addendum, ENW, juli 2007.
- [18] WBI2017 - Regeling veiligheid primaire waterkeringen 2017, Bijlage III Sterkte en veiligheid, Definitief, Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving, Lelystad, 2017.
- [19] Grondslagen voor hoogwaterbescherming, Expertise Netwerk Waterveiligheid, december 2016.

- [20] NEN 9997 Eurocode 7, NNI, 2016.
- [21] Schematiseringshandleiding Macrostabiliteit, WBI2017, Schematiseringshandleiding macrostabiliteit, 1 december 2016.
- [22] Schematiseringshandleiding piping bij kunstwerk, WBI 2017, jan. 2017.
- [23] Bomen op en nabij waterkeringen, achtergrondrapport, Stowa, 2000-04.
- [24] KPR factsheet werkwijze macrostabiliteit i.c.m. golfoverslag v2, OI2014v4 – 2018
- [25] Leidraad Kunstwerken, TAW, mei 2003
- [26] KPR factsheet verkeersbelasting en macrostabiliteit, KPR, 28 juli 2016
- [27] IO.DR6.35.002 Duurzaamheidsscan Well, versienummer: 1.0, Witteveen en Bos en Arcadis in opdracht van Waterschap Limburg, 07 februari 2022
- [28] IO.DR60.35.002-1.0-1-Me Kwantificeren duurzaamheidswinst Well, versie definitief, Witteveen en Bos en Arcadis in opdracht van Waterschap Limburg, 3 juni 2022
- [29] Vier quick wins grond en klei, Optimalisaties voor dijkversterkingen, status: definitief, HWBP, 17 april 2018
- [30] *Technisch rapport klei voor dijken*, TAW, mei 1996
- [31] Grondwatermonitoringsplan dijkversterking en Groene rivier Well, John Lucassen, 16 december 2022. In concept.
- [32] Gebiedsontwikkeling Maaspark Well, Bepaling geohydrologische milieueffecten als onderdeel van Plan-MER. Royal HaskoningDHV, 19 juli 2011. Status: Definitief. 9v8989/9w7104
- [33] *Eerste steilranddijk gerealiseerd*, <https://www.ooijen-wanssum.nl/gebiedsontwikkeling/nieuws/eerste-steilranddijk-gerealiseerd/347/>, Ooijen-Wanssum, juli 2018
- [34] Eindadvies beoordeling gras op zandbekledingen, Deltares, 11204369-002-GEO-0018, 22 november 2022
- [35] Werkwijze ontwerp glazen kering op dijklichaam, Ref. 100349474/BTJ/stl, TNO, 17 mei 2023
- [36] Technisch kader toepassing gebiedseigen grond – van richtlijn gestuurd naar grond gestuurd ontwerpen, POV Dijkversterking met gebiedseigen grond, 4 oktober 2022
- [37] Schematiseringshandreiking grasbekleding, Rijkswaterstaat, Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, 28 mei 2021
- [38] Handreiking Grasbekleding, digitaal document www.handreikinggrasbekleding.nl. Rijkswaterstaat en STOWA

- [39] Verkennend (Water)bodemonderzoek Gebiedsontwikkeling De Groene Rivier Well, Silt Milieu B.V., 29 november 2023 definitief
- [40] Groene rivier Well, Uitgangspuntennotitie grondwatermodellering, BJ1000_W3410-5
- [41] Database berekende waterstanden HR_60-1 opgesteld door HKV
- [42] Aanvaring van schepen in het ontwerp van waterkeringen, TNO, 31 juli 2024
- [43] BJ1000-RHD-D1-TEK-DG-W-0001, Dijkkring 60-2: Oud Well – Overzichtstekening, versie 0.3
- [44] BJ1000-RHD-D3-TEK-DG-W-0001, Dijkkring 60-3: Elsteren – Overzichtstekening, versie 0.3
- [45] BJ1000-RHD-D3-TEK-DG-W-0011, Dijkkring 60-3: De Band – Overzichtstekening, versie 0.3
- [46] BJ1000-RHD-D4-TEK-DG-W-0001, Dijkkring 60-1: Nieuw Well | 't Leuken achterdeur – Overzichtstekening, versie 0.3
- [47] BJ1000-RHD-D4-TEK-DG-W-0002, Dijkkring 60-1: Nieuw Well | 't Leuken – Overzichtstekening, versie 0.3
- [48] BJ1000-RHD-D4-TEK-DG-W-0003, Dijkkring 60-1: Nieuw Well | De Paad West – Overzichtstekening, versie 0.3
- [49] BJ1000-RHD-D4-TEK-DG-W-0004, Dijkkring 60-1: Nieuw Well | De Paad Oost – Overzichtstekening, versie 0.3
- [50] Eindadvies beoordeling gras op zandbekleding, Deltares, 2022

A1 Definities en afkortingen

<i>Begrip (afkorting)</i>	<i>Definitie</i>
<i>Dijkvakken</i>	<i>Kleinste eenheid waarvoor dwarsprofielen van oplossingsrichtingen worden doorgerekend. Bij de dijkvakindeling is gekeken naar: de handreiking Ruimtelijke Kwaliteit; de uitkomsten van Veiligheidsanalyse NeBe (WSRL); omgevingskenmerken en ruimtelijke beperkingen zoals lintbebouwing en monumentale bomen; rivierkundige aspecten; gemeente- en provinciegrenzen.</i>
<i>Geo-vakken</i>	<i>Vakindeling op basis van geotechnische, geometrische, geohydrologische en fysisch-geografische kenmerken van de ondergrond die van belang kunnen zijn voor het technisch dijkontwerp.</i>
<i>Ondergrondmodel</i>	<i>Model van ondergrondkenmerken dat gebruikt wordt voor geotechnische modelberekeningen voor de analyse van geotechnische faalmechanismen. De volgende aspecten maken bijvoorbeeld deel uit van het ondergrondmodel: de laagopbouw van dijk en ondergrond; de schematisering van waterspanningen; de set grondparameters per grondlaag.</i>
<i>Basisschematisering</i>	<i>Het ondergrondmodel dat wordt gebruikt voor ontwerpberekening op een representatief dwarsprofiel.</i>
<i>Representatief dwarsprofiel</i>	<i>Een dwarsprofiel met ondergrond kenmerken die representatief zijn voor één of meerder geo-vakken en voor één of meerder faalmechanismen. Vaak is het representatief profiel voor piping niet gelijk aan het representatief profiel voor macrostabiliteit.</i>
<i>Meetraai (met of zonder monitoring waterspanningen)</i>	<i>Een dwarsprofiel met relatief intensief grondonderzoek, zoals klasse 1 sonderingen, boringen en een monitoring van peilbuizen en/of waterspanningsmeters. Op deze raai kan een koppeling worden gemaakt tussen het bepalen van de ongedraineerde critical state sterkte bepaald met sonderingen (DOV methode) en op basis van laboratoriumonderzoek.</i>

ACL	Archeologie, cultuurhistorie en landschap
AHN3	Algemene hoogtekaart Nederland 3
BGT	Bruikbaarheidsgrenstoestand
BO	Beheerdersoordeel
BOP	Beheer- en onderhoudsplan [7]
BSD	Basisspecificatie Dijk
CSSM	Critical State Soil Mechanics
DGRW	Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat
DMC	Dijkmonitoring en -conditioneringssysteem
HBN	Hydraulisch Belasting Niveau
HDDW	Horizontal directional drilled wells
Hs	Significante golfhoogte
KES	Klant Eisen Specificatie
K&L	Kabels en Leidingen
KPR	Kennisplatform Risicobenadering
NvU	Nota van Uitgangspunten HWBP Tranche 2 Waterschap Limburg
NWO	Niet-waterkerend Object/Niet-waterkerende Objecten
OI2014v4	Ontwerpinstrumentarium 2014 versie 4 [1]
ORZW	Onderzoeksrapport Zandmeevoerende Wellen
POV	Projectoverstijgende Verkenning
RAMS	Betrouwbaarheid, beschikbaarheid, onderhoudbaarheid en veiligheid
RWS	Rijkswaterstaat
SE	Systems Engineering
SOS	Stochastische Ondergrond Schematisatie
STBI	Macrostabiliteit Binnenwaarts
STBU	Macrostabiliteit Buitenwaarts
STMI	Microstabiliteit
STPH	Stabiliteit Piping en Heave
STVL	Stabiliteit voorland
TAW	Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen

TPvE	Technisch Programma van Eisen
TROB	Technisch rapport ontwerpbelastingen voor het rivierengebied
TRWD	Technisch Rapport Waterspanningen bij Dijken
TRWG	Technisch Rapport Waterkerende Gronconstructies
OPW	Ontwerputgangspunten Primaire Waterkeringen
UGT	Uiterste grenstoestand
VTV2006	Voorschrift Toetsen Veiligheid Primaire Waterkering 2006 [26]
VZG	Verticaal Zanddicht Geotextiel
WBI2017	Wettelijk Beoordelingsinstrumentarium 2017 [3]
WSRL	Waterschap Rivierenland
WOWK	Werkwijzer Ontwerpen Waterkerende Kunstwerken
WVP	Watervoerend Pakket