

IO.98.001 Ontwerpnota Beesel

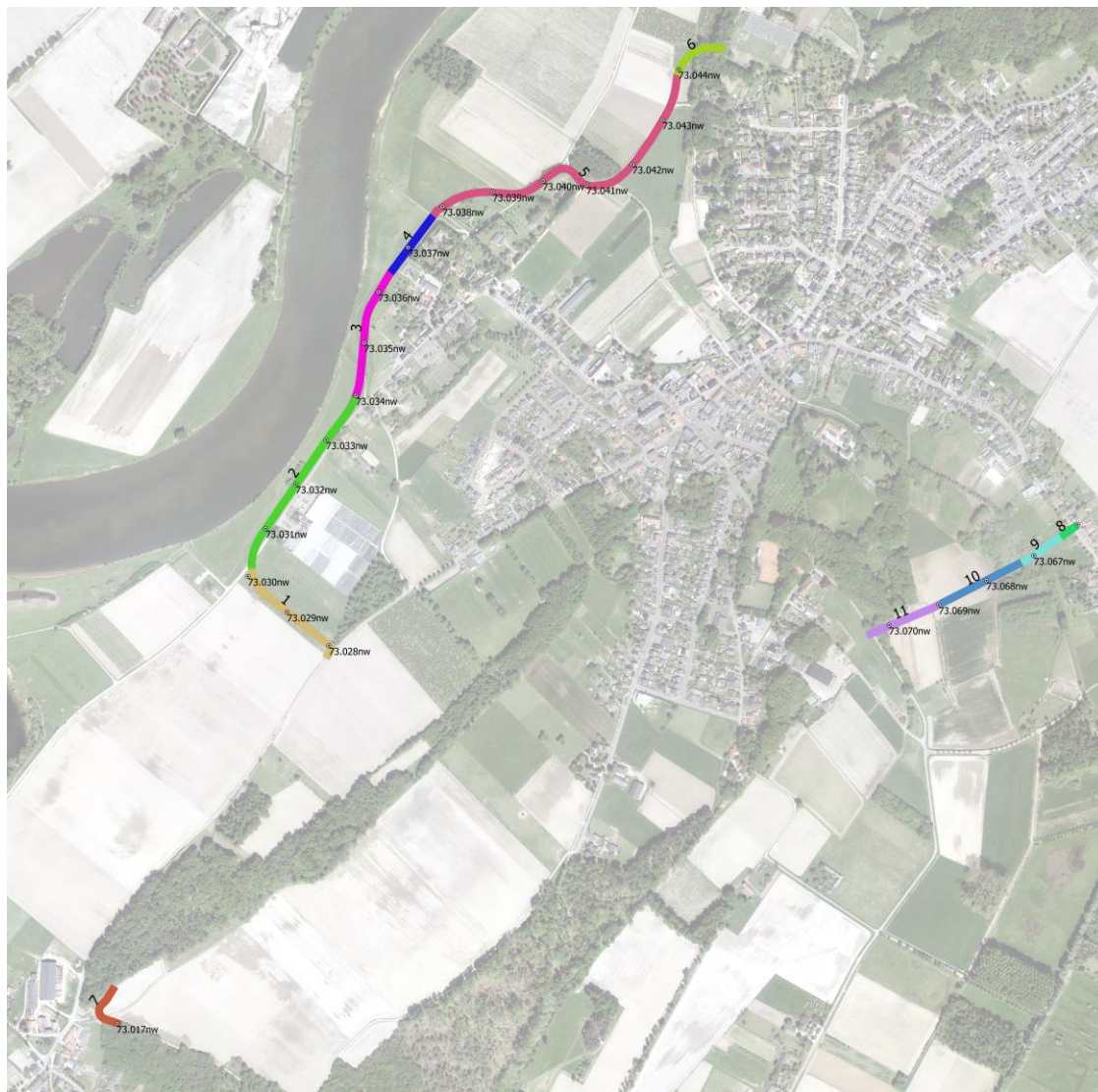
Hoogwaterbeschermingsprogramma Noordelijke Maasvallei

Datum: 01-11-2019
Kenmerk (SP): 11481
Versienummer: 1.0-2
Status: 100%

In opdracht van
 waterschap
limburg

Samenvatting

In opdracht van waterschap Limburg is door Ingenieursbureau Maasvallei in het kader van het HWBP Noordelijke Maasvallei een ontwerp opgesteld voor normtraject 73-1 Beesel (nieuwe dijkpaalnummering 73.017, 73.028 tot en met 73.045 en 73.066 tot en met 73.070+35¹). In de verkenningsfase is een voorkeursalternatief (VKA) gekozen, welke is uitgewerkt in de planfase. Dit ontwerprapport doet verslag van deze uitwerking.



Figuur 1: ligging van het normtraject 73-1 Beesel met dijkvaknummers en nieuwe dijkpaalnummering

¹ Actualiteit: februari 2019 en aangegeven met toevoeging van 'nw'. In de ontwerpnota met bijbehorende berekeningen wordt (ook) nog verwezen naar de oude dijkpaalnummering (geen 'nw').

Het principeontwerp van de dijk betreft een groene kering met een kruin van 4,5 m breed en 1:3 taluds binnen- en buitenwaarts, waarbij - tenzij anders aangegeven - een damwand² nabij de binnenteen geplaatst wordt voor stabiliteit en piping. Dijkvak 1 betreft een nieuw stuk dijktracé waar de aansluiting op hoge grond wordt gemaakt. In dijkvak 2 wordt het reeds bestaande tracé buitenwaarts versterkt, zodat de weg Ouddorp wordt gehandhaafd. De damwand bij de binnenteen borgt de stabiliteit ook bij eventueel breken van de binnendijks parallel liggende waterleiding. Ter hoogte van dijkvak 3 wordt het tracé iets aangepast, waarbij de knik in het tracé wordt verflauwd. De kering in dijkvak 4 wordt buitendijks versterkt in verband met gebrek aan ruimte binnenwaarts. In dijkvak 5 wordt - in verband met beperkte inpassingsruimte en belasting van het bergbezinkbassin bij (oude) dijkpaal 73.039 - tussen 73.038nw en 73.041nw het tracé verlegd naar buitenlangs bij Ouddorp 12A. Het tracédeel rondom de paddenpoel tot aan de op- of afrit naar Het Spick blijft een openbare weg toegankelijk voor gemotoriseerd (auto)verkeer; de kruinbreedte is hier 5,5 m. Dijkvak 6 betreft een nieuwe aansluiting op hoge grond; een stuk noordwaarts ten opzichte van de huidige aansluiting op Holleweg. Deze principekeuze was al gemaakt in de verkenningsfase en is nader uitgewerkt in de planfase. De dijk wordt hier middels een afsluitbare duiker gekruist door de Huilbeek.

Om de percelen tussen de kering en de Maas bereikbaar te houden, wordt tussen 73.038 en 73.041 langs de buitenteen een weg aangelegd op maaiveldhoogte. Daarnaast is op twee plaatsen een optie voor een keerlocatie voor vrachtwagens opgenomen. Ook zijn er meerdere op- en afritten in het ontwerp opgenomen (zie Bijlage 13-I). Voor de beheerfunctie is op vier plekken (bij 73.036, 73.038 en ter plaatse van de twee beekoversteeklocaties) de dijk met 3,5 meter verbreed ten behoeve van pompopstellocaties.

Naast de versterking van het huidige tracé zijn twee zogenoemde achterdeuren opgenomen in het ontwerp. Een daarvan is dijkvak 7 nabij Rijkkel, welke zo goed mogelijk is geïntegreerd in het landschap. Voor deze achterdeur is geen damwand nodig bij de binnenteen. De andere achterdeur betreft dijkvakken 8 tot en met 11 met ook hier over het grootste deel een damwand bij de binnenteen. Alleen bij de aansluitingen op hoge grond is geen damwand nodig voor stabiliteit, waarbij in dijkvak 11 ook een deel van de kering verholten is, aangezien het huidige maaiveld hier deels hoger ligt dan de benodigde kruinhoogte.

² In het referentieontwerp zit een damwand. Dit wordt echter niet voorgeschreven. Correcter zou zijn om te spreken van een verticale maatregel ten behoeve van piping en/of stabiliteit. Dit is impliciet wat bedoeld wordt met damwand in deze nota.



INHOUDSOPGAVE

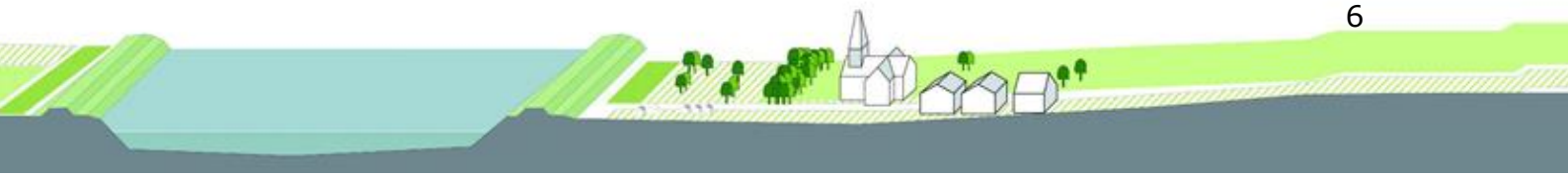
1	Inleiding.....	8
1.1	Projectbeschrijving	8
1.2	Object- en scopeomschrijving	8
1.3	Leeswijzer	10
2	Uitgangspunten ruimtelijk ingepast ontwerp	11
2.1	Samenvatting leidende principes	11
2.2	Uitgangspunten ruimtelijke ingepast ontwerp per dijksectie	12
2.2.1	Deelgebied 1. verbinding groene dijk met hoge grond	13
2.2.2	Deelgebied 2. Groene dijk langs de Maas	13
2.2.3	Deelgebied 3. Groene dijk langs het dorp	14
2.2.4	Deelgebied 4. Groene dijk op natuurlijke reliëfovergang en met beekpassage	15
2.2.5	Deelgebied 5. Groene dijk als natuurlijke hoogte	17
2.2.6	Deelgebied 6. Groene dijk met beekdalkruising	18
3	Technische randvoorwaarden en uitgangspunten.....	19
3.1	Nota van Uitgangspunten.....	19
3.1.1	Hydraulische Randvoorwaarden	19
3.1.2	Faalkansverdeling	19
3.1.3	Overslag	21
3.1.4	Waterspanningen	21
3.1.5	SE/KES.....	21
3.2	Geometrische uitgangspunten	22
3.2.1	Macrostabiliteit	22
3.2.2	Piping.....	23
3.2.3	Overige faalmechanismen.....	24
4	Geotechnische parameters	25
4.1	Verricht onderzoek	25
4.2	Grondmechanische schematisatie.....	25
4.3	Grondparameters	26
4.3.1	Doorlatendheid zandondergrond	26
4.3.2	D70 pipinggevoelige laag.....	26
4.3.3	Volumegewicht en sterkte	27



5	Ontwerp dijk	28
5.1	Kruinhoogte.....	28
5.1.1	Berekende zettingen.....	28
5.1.2	Aanleghoogte	28
5.2	Kruinbreedte.....	28
5.3	Verharding dijk kruin	29
5.4	Pipingmaatregel	29
5.5	Stabiliteitsmaatregel	30
5.6	Samenstelling dijk	31
5.6.1	Kern	31
5.6.2	Bekleding buitentalud	32
5.6.3	Bekleding binnentalud.....	32
5.6.4	Grasmat	33
5.6.5	Klei-inkassing ter plaatse van teen dijk.....	33
5.7	Op- en afritten	34
5.8	Ontwerpkeuzes	34
6	Geotechnische berekeningen	36
6.1	Resultaten pipingberekeningen	36
6.1.1	Schematiseringsfactor.....	36
6.1.2	Analytische rekenregel Sellmeijer, opbarsten en heave.....	36
6.1.3	D-Geo Flow	37
6.2	Resultaten stabiliteitsberekeningen	38
6.2.1	Stabiliteitseis.....	38
6.2.2	D-Geo Stability	38
6.2.3	Toets stabiliteitsschermen	39
6.3	Niet waterkerende objecten.....	40
6.3.1	NWO's buitendijks	40
6.3.2	NWO's binnendijks	41
6.3.3	Bomen	41
6.3.4	Kabels en leidingen	41
6.3.5	NWO's binnen kernzone	43
6.4	Voorland	43
6.5	Microstabiliteit en grasbekleding afschuiven binnentalud	45
6.6	Zetting en klink.....	45
6.6.1	Restzetting	46
6.6.2	Klink	46



7	Kunstwerken	47
8	Aandachtspunten voor realisatie	49
8.1	Eisen aan uitvoering	49
8.1.1	Aanbrengen dijken en bermen.....	49
8.1.2	Klei-inkassing ten behoeve van teen dijk.....	49
8.1.3	Verdichting zand in kern.....	49
8.1.4	Verdichting klei op talud.....	49
8.1.5	Beheer grasmat	50
8.1.6	Beproeving tijdens uitvoering	50
8.1.7	Klink	50
9	Referenties	51
Bijlage 1	Geotechnisch lengteprofiel.....	52
Bijlage 2	Proevenverzameling	53
Bijlage 3	Kruinhoogte per dijkvak	54
Bijlage 4	Analytische berekeningen piping.....	55
I.	Analytische berekeningen.....	55
II.	Bovenaanzicht	55
III.	Doorsneden.....	55
IV.	Geohydrologische impact van heaveschermen.....	55
V.	Lane bij terras Maashof	55
Bijlage 5	D-Geo Flow-berekeningen	56
I.	Doorlatendheid en korrelverdelingen	56
II.	Memo D-Geo Flow ontwerploop 3.....	56
Bijlage 6	D-Geo Stability-berekeningen	57
I.	Ondergrondschematisatie	57
II.	Schematiseringsfactor.....	57
III.	Verzadigde dijk.....	57
IV.	Glijcirkels.....	57
V.	Glijcirkels met bovenbelasting	57
VI.	Veiligheidszone NWOs buitenwaarts	57
Bijlage 7	Plaxis-berekeningen	58
Bijlage 8	STMI en GABI-berekeningen	59
Bijlage 9	D-Settlement-berekeningen	60
Bijlage 10	Voorland	61
I.	Golfafslag en afschuiven	61
II.	Zettingsvloeiing	61



Bijlage 11	Kabels en Leidingen	62
Bijlage 12	Principe ontwerp duiker	63
Bijlage 13	Ontwerptekening (DO)	64
I.	Bovenaanzicht.....	64
II.	Dwarsprofielen.....	64
III.	Dwarsprofielen.....	64



1 Inleiding

1.1 Projectbeschrijving

In opdracht van waterschap Limburg is door Ingenieursbureau Maasvallei in het kader van het HWBP Noordelijke Maasvallei een ontwerpnota opgesteld voor normtraject 73-1 Beesel. Deze nota betreft dijkvakken 1 tot en met 11, voorheen (verkenningfase) secties 1 tot en met 5.

1.2 Object- en scopeomschrijving

Deze rapportage betreft de onderbouwing van het definitieve ontwerp (DO) ten behoeve van de versterking van de onderstaande dijkvakken bij Beesel.

Tabel 1: Dijkvakindeling Beesel

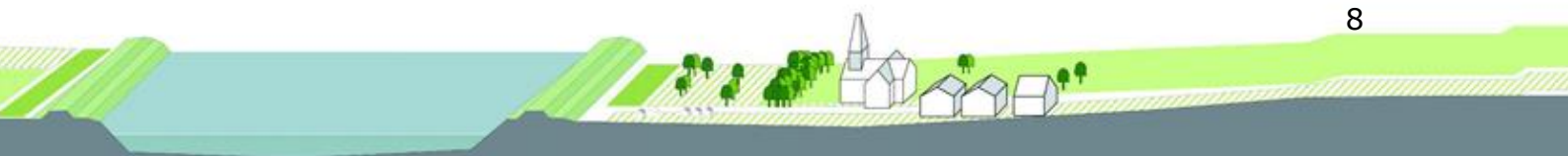
Dijkvak	Oude dijkpaalnummering	Nieuwe dijkpaalnummering	Lengte (m)
1	n.v.t.	73.028nw+10 t/m 73.030nw	186
2	73.030+35 t/m 73.034+40	73.030nw t/m 73.034nw+15	410
3	73.034+40 t/m 73.037	73.034nw+15 t/m 73.036nw+55	237
4	73.037 t/m 73.038+30	73.036nw+55 t/m 73.037nw+90	135
5	73.038+30 t/m 73.044+50	73.037nw+90 t/m 73.043nw+95	607
6	n.v.t.	73.043nw+95 t/m 73.044nw+93	98
7	n.v.t.	73.017nw t/m 73.017nw+92	92
8	n.v.t.	73.066nw+07 t/m 73.066nw+46	39
9	n.v.t.	73.066nw+46 t/m 73.067nw+50	106
10	n.v.t.	73.067nw+50 t/m 73.069nw+02	150
11	n.v.t.	73.069nw+02 t/m 73.069nw+85	87
Totaal			2147

Naar aanleiding van het nieuwe ontwerp is in februari 2019 een nieuwe dijkpaalnummering opgesteld³. Tabel 2 betreft een conversietabel van de nieuwe naar de oude dijkpaalnummering. Doordat waar het bestaande tracé versterkt wordt, de hartlijn van de kruin wel kan zijn verschoven, zijn de relatieve afstanden van oude en nieuwe nummering niet exact. Op andere plekken bestond nog geen dijkpaalnummering.

Tabel 2: Conversietabel dijkpaalnummering

Nieuw dijkpaaln.	DP nr oud + afstand [m]
73.017nw	n.v.t.
73.028nw	n.v.t.
73.029nw	n.v.t.
73.030nw	n.v.t.
73.031nw	73.031 + 22
73.032nw	73.032 + 22
73.033nw	73.033 + 22
73.034nw	73.034 + 22
73.035nw	73.035 + 30
73.036nw	73.036 + 36
73.037nw	73.037 + 35

³ Hierna hebben nog kleine ontwerpwijzigingen plaatsgevonden waardoor ook de nieuwe dijkpaalnummering niet meer exact aansluit op het ontwerp. Er is besloten pas na definitief ontwerp door de aannemer de dijkpaalnummering opnieuw te actualiseren.



HWBP Noordelijke Maasvallei

73.038nw	73.038	+	34
73.039nw	n.v.t.		
73.040nw	73.041	-	41
73.041nw	73.041	+	59
73.042nw	73.041	+	159
73.043nw	73.043	+	34
73.044nw	n.v.t.		
73.045nw	n.v.t.		
73.066nw	n.v.t.		
73.067nw	n.v.t.		
73.068nw	n.v.t.		
73.069nw	n.v.t.		
73.070nw	n.v.t.		

In het ontwerp is nog uitgegaan van de oude dijkpaalnummering. Tenzij sprake is van specifieke vermelding (met 'nw') wordt met dijkpaalverwijzingen naar de oude dijkpaalnummering verwezen.

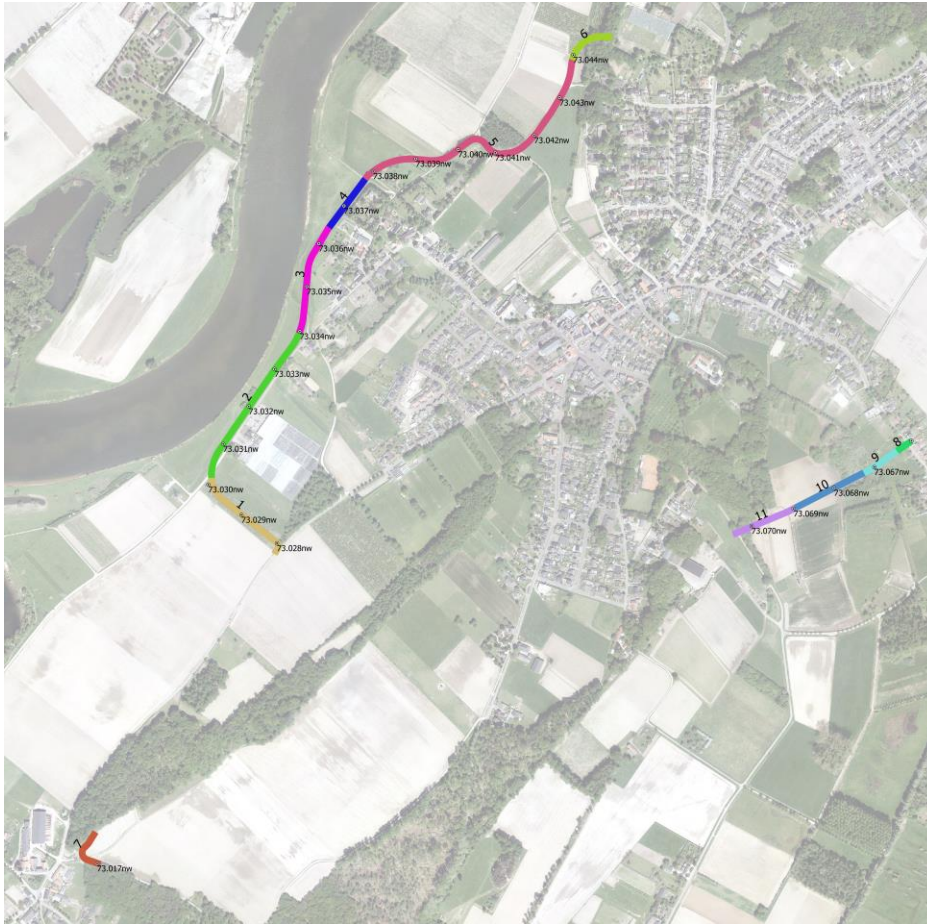
De locaties van de dijken in relatie tot de rivierkilometers zijn vastgelegd in Tabel 3 voor het begin en het einde van het normtraject. Doel van deze tabel is vooral navolgbaarheid bewerkstelligen voor de wettelijke beoordeling. De opgenomen coördinaten zijn ter plaatse van de dijken aan de uiteinden van het dijktraject.

Tabel 3: Trajectindeling Beesel

Dijkpaal	X (m RD)	Y (m RD)	Rivierkilometer
73.031	199683,7	364209,6	92
73.043	200408,4	364965,1	93

De ligging van het normtraject is weergegeven in Figuur 2.





Figuur 2: ligging van het normtraject 73-1 Beesel met dijkvakken en nieuwe dijkpaalnummering

1.3 Leeswijzer

In dit rapport wordt het ontwerp van de waterkering uiteengezet. In hoofdstuk 2 staan de uitgangspunten voor een ruimtelijk ingepast ontwerp.

Hoofdstuk 3 geeft een toelichting op de technische randvoorwaarden en uitgangspunten die specifiek voor traject Beesel gelden.

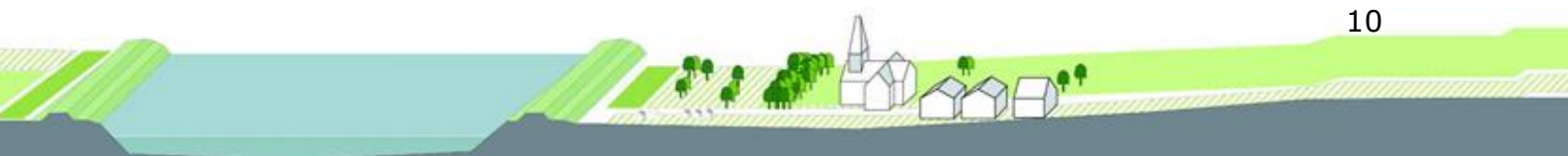
De toegepaste geotechnische parameters staan beschreven in hoofdstuk 4.

In hoofdstuk 5 wordt het ontwerp van het dijk beschreven. De verschillende faalmechanismen worden hier behandeld.

In hoofdstuk 6 zijn de geotechnische berekeningen beschreven.

De uitwerking van de kunstwerken is beschreven in hoofdstuk 7.

In hoofdstuk 8 worden op basis van het ontwerp aandachtspunten gegeven voor de realisatie.



2 Uitgangspunten ruimtelijk ingepast ontwerp

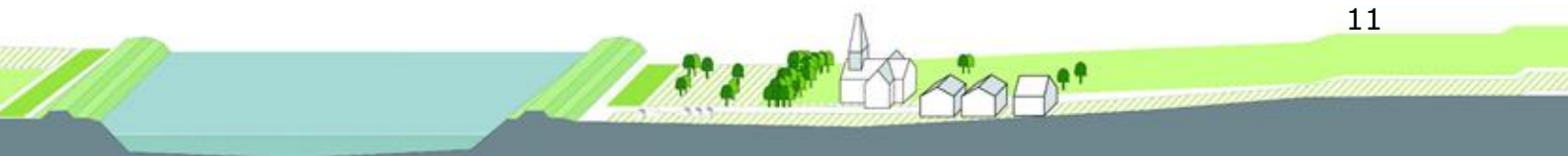
Het inrichtingsplan van Beesel biedt het verhaal vanuit Ruimtelijke Kwaliteit, vanuit de van toepassing zijnde leidende principes van het HWBP programma Maasvallei, de daaruit volgende ontwerpprincipes en de vormgevingsaspecten/ -eisen die voor het geheel gelden danwel voor specifieke onderdelen/ dijksecties van Beesel. In deze ontwerpnota worden puntsgewijs het ontwerp van het tracé en de profielen beschreven. De ruimtelijke onderbouwing van deze profielen op basis van de Leidende principes ruimtelijke kwaliteit is opgenomen in de Rapportage Integraal inrichtingsplan Beesel.

2.1 Samenvatting leidende principes

Naast de versterkingsopgave geldt als secundaire doelstelling van het project het versterken van lokale gebiedskwaliteiten. Het document Ruimtelijke Kwaliteit Noordelijke Maasvallei, Visie & Leidende Principes⁴ vormt het voor het project vastgestelde kader voor ruimtelijke kwaliteit. In de visie is de doelstelling als volgt verwoord: *"De technische versterkingsopgave van de dijktrajecten in de Maasvallei resulteert in forse ruimtelijke ingrepen in het landschap. Daarbij is het belangrijk dat er op hoofdlijnen overeenstemming is over welke specifieke ruimtelijke kwaliteiten resultaat worden van dit programma. Deze kwaliteiten zijn verwoord in leidende principes, die handvatten bieden voor kwalitatief goede, doelgerichte en duurzame waterveiligheidsmaatregelen voor de korte en lange termijn. Daarmee zijn deze principes noodzakelijk voor de integrale afweging van voorkeursalternatieven"*. De leidende principes vormen het vertrekpunt voor de ruimtelijke kwaliteit van alle dijktrajecten. Er worden vijf leidende principes onderscheiden. In de leidende principes zit geen hiërarchie, ze zijn allemaal even belangrijk. Of, en in welke mate de leidende principes aan de orde zijn, is locatie specifiek. De vijf leidende principes zijn:

1. Landschap leidend;
2. Vanzelfsprekende dijken;
3. Contact met de Maas;
4. Welkom op de dijk;
5. Fundament en katalysator voor ontwikkeling.

⁴ Ruimtelijke kwaliteit noordelijke Maasvallei, Visie & Leidende Principes voor het Hoogwaterbeschermingsprogramma Noordelijke Maasvallei, November 2017.



2.2 Uitgangspunten ruimtelijke ingepast ontwerp per dijksectie

Deze paragraaf beschrijft de Uitgangspunten ruimtelijk ingepast ontwerp per dijksectie voor de dijkversterkingstrajecten, maar ook voor de aan te leggen nieuwe dijktrajecten in Beesel. Deze zijn gerelateerd aan technische- en beheer- en onderhoudsaspecten en op basis van de leidende principes, bijbehorende aandachtspunten en ontwerpprincipes opgesteld.

- Deelgebied 1: Verbinding groene dijk met hoge grond
- Deelgebied 2: Groene dijk langs de Maas
- Deelgebied 3: Groene dijk langs het dorp
- Deelgebied 4: Groene dijk op natuurlijke reliëfovergang en met beekpassage
- Deelgebied 5: Dijk als natuurlijke hoogte
- Deelgebied 6: Groene dijk met beekpassage



Figuur 3 Indeling in deelgebieden Beesel (deelgebied 1 t/m 6)

2.2.1 Deelgebied 1. verbinding groene dijk met hoge grond

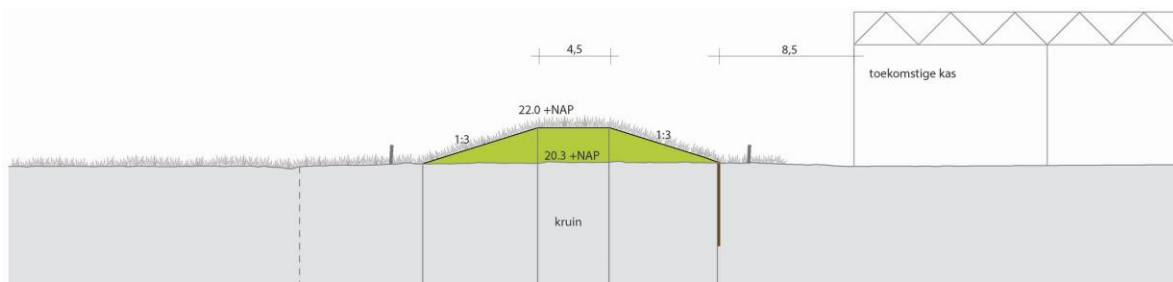
Uitgangspunten ruimtelijk ingepast ontwerp voor deelgebied 1:

Ingassing tracé en lengteprofiel

- Een zo kort mogelijk tracé vanaf de huidige dijk naar de hoge grond.
- Haaks op de Maas.
- Het tracé van de dijk zo ver mogelijk buiten de invloedzone van de molenbiotoop houden.
- De huidige ligging van het tracé van de Kerkeveldweg zoveel mogelijk behouden bij het 'kruisen' van de dijk.
- De overgang van de haakse dijk naar de dijk parallel aan de Maas ontwerpen met een ruime bocht.

Vormgeving dwarsprofiel

- Symmetrisch profiel
- Taluds 1:3 met grasbekleding
- Kruin 4,5 meter met gras (onderhoud) pad van 3 meter breed
- Aan beide kanten van het pad is er een grasberm van 0,75 meter
- Eventuele constructies ten behoeve van stabiliteit worden onzichtbaar in het basisprofiel opgenomen.
- Langs de binnen- en buitenteen van de dijk een beheerstrook van 2 meter breed.
- Pipingmaatregel in de vorm van verticale constructie (onzichtbaar) welke ook wordt gebruikt voor stabiliteit. Compacte dijk zonder steunbermen.
- Dijkopgangen ter plaatse van de Kerkeveldweg haaks op de dijk met een flauwe helling en een talud met grasbekleding van 1:2.



Figuur 4 representatief Dwarsprofiel voor deelgebied 1

2.2.2 Deelgebied 2. Groene dijk langs de Maas

Uitgangspunten ruimtelijk ingepast ontwerp voor deelgebied 2:

Ingassing tracé en lengteprofiel

- Het tracé van de dijk loopt parallel aan de Kerkeveldweg en volgt de oever van de Maas.
- De huidige ligging van het tracé van de Kerkeveldweg zoveel mogelijk behouden bij het 'kruisen' van de dijk.
- De overgang van de haakse dijk naar de dijk parallel aan de Maas ontwerpen met een ruime bocht.

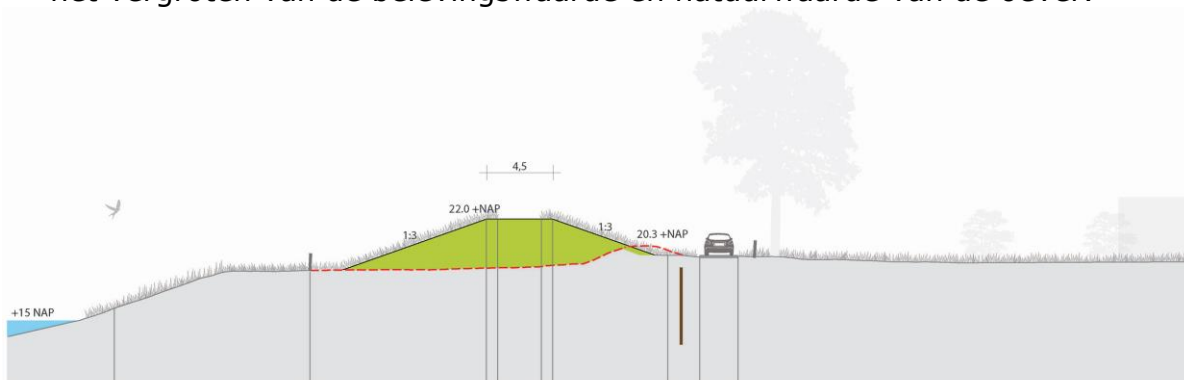


Vormgeving dwarsprofiel

- Symmetrisch profiel
- Taluds 1:3 met grasbekleding
- Kruin 4,5 meter met gras (onderhoud) pad van 3 meter breed
- Aan beide kanten van het pad is er een grasberm van 0,75 meter
- Eventuele constructies ten behoeve van stabiliteit worden onzichtbaar in het basisprofiel opgenomen.
- Zowel direct langs de binnen- als buitenteen van de dijk een inspectiestrook van 2 meter breed.
- Pipingmaatregel in de vorm van verticale constructie (onzichtbaar) welke ook wordt gebruikt voor stabiliteit. Daarmee compacte dijk zonder bermen.
- Dijkopgangen parallel aan de dijk met een flauwe helling en een talud met grasbekleding.

Kans: ontwerpopgave inrichting natuurlijke oever

Een kans tot optimalisatie zit in het plaatselijk geleidelijk laten overlopen van het dijkta-
lud in de oeverkant (deels afgraven oeverkant) ten behoeve van het vergroten van de belevingswaarde en natuurwaarde van de oever.



Dwarsprofiel 2: Dijk langs Kerkweg, sectie 1.

Figuur 5 representatief dwarsprofiel voor deelgebied 2

2.2.3 Deelgebied 3. Groene dijk langs het dorp

Uitgangspunten ruimtelijk ingepast ontwerp in deelgebied 3:

Ingassing tracé en lengteprofiel

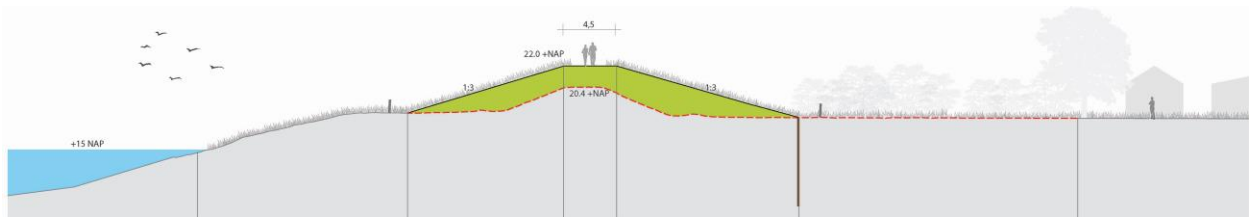
- Het tracé van de dijk volgt de oever van de Maas achterlangs de particuliere tuinen van Ouddorp en sluit aan op de landweg 'Ouddorp'.
- Het dorp ligt hier dicht op de Maas. Uitgangspunt is het behoud van de zichtrelaties met de rivier vanaf de dijk en vanaf het Maasterras.
- Het Maasterras terugbrengen op huidige locatie.
- De rivieroever en de oude loswal toegankelijk houden vanaf de dijk met een dijktrap.

Vormgeving dwarsprofiel

- Symmetrisch profiel



- Taluds 1:3 met grasbekleding
- Kruin 4,5 meter met half verhard (onderhoud) pad van 3 meter breed
- Aan beide kanten van het pad is er een grasberm van 0,75 meter
- Eventuele constructies ten behoeve van stabiliteit worden onzichtbaar in het basisprofiel opgenomen.
- Zowel direct langs de binnen- als buitenteen van de dijk een inspectiestrook van 2 meter breed.
- Pipingmaatregel in de vorm van verticale constructie (onzichtbaar) welke ook wordt gebruikt voor stabiliteit. Daarmee compacte dijk zonder steunbermen.



Figuur 6 representatief dwarsprofiel voor deelgebied 3

2.2.4 Deelgebied 4. Groene dijk op natuurlijke reliëfovergang en met beekpassage

Uitgangspunten ruimtelijk ingepast ontwerp voor deelgebied 4:

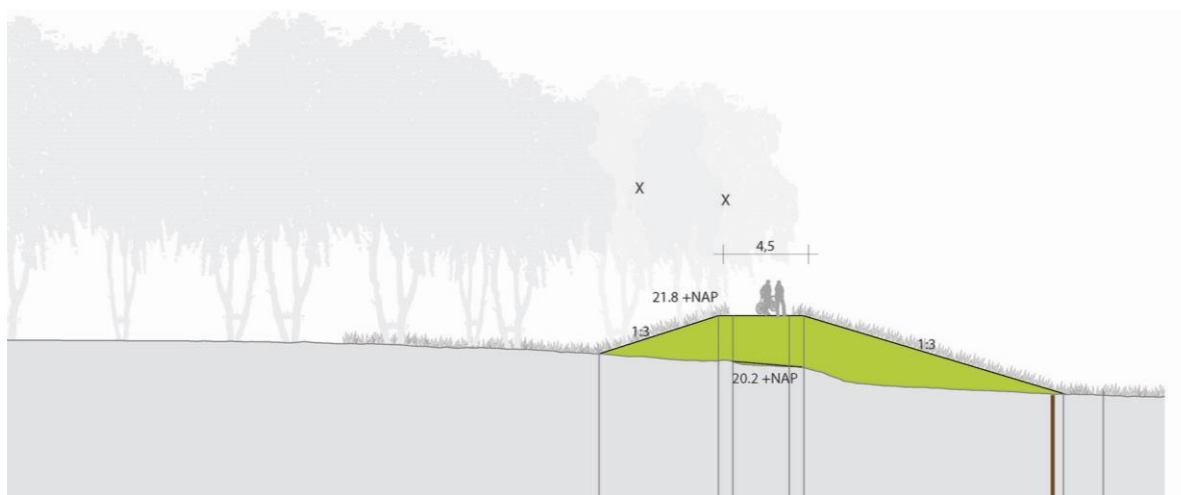
Inpassing tracé en lengteprofiel

- De dijk maakt hier onderdeel uit van de karakteristieke landwegenstructuur die onderdeel uitmaakt van het beschermd dorpsgezicht Beesel. Uitgangspunt is het behoud van het huidige tracé waarbij deels het reliëf van de rug waar de dijk langs loopt wordt geaccentueerd en tegelijk het beeld van de huidige landwegenstructuur behouden blijft.
- Een belangrijk ruimtelijk kenmerk van de landwegen in deze omgeving zijn de groene kruispunten. Ten behoeve van het behoud van het huidige beeld van de landwegen is het terugbrengen van de groene kruispunten in het dijkontwerp een ontwerpuitgangspunt. De huidige vorm van de aanwezige karakteristieke groene kruispunten worden op dezelfde plek teruggebracht en op enkele nieuwe plekken toegevoegd in het dijkontwerp.
- Om de paddenpoel te behouden en om ruimtebeslag in de laagte langs de poel te beperken wordt de dijk ter plaatse van de paddenpoel vierkant versterkt.
- Binnenwaartse versterking ter plaatse van het deel van het tracé voorbij de paddenpoel langs het bosje om een zo groot mogelijk deel van het bosje te besparen met behoud van het tracé.



Vormgeving dwarsprofiel

- Symmetrisch profiel
- Taluds 1:3 met grasbekleding
- Kruin 4,5 meter met half verharding (onderhoud) pad van 3 meter breed
- Aan beide kanten van het pad is er een grasberm van 0,75 meter
- Eventuele constructies ten behoeve van stabiliteit worden onzichtbaar in het basisprofiel opgenomen.
- Zowel direct langs de binnen- als buitenteen van de dijk een inspectiestrook van 2 meter breed.
- Pipingmaatregel in de vorm van verticale constructie (onzichtbaar, onder maaiveld) welke ook wordt gebruikt voor stabiliteit. Compacte dijk zonder bermen.
- Dijkopgangen haaks op de dijk aansluiten met een helling van 1:20 en een talud met grasbekleding van 1:2.



Figuur 7 representatief profiel deelgebied 4

Uitgangspunten ruimtelijk ingepast ontwerp voor dijktraject ter hoogte van de beekdalkruising:

Inpassing tracé en lengteprofiel

- De dijk kruist hier de Huilbeek.
- Het beekdal maximaal beleefbaar maken ter plaatse van de beekkruising door een vernauwing van de dijk op het punt waar de beek de dijk kruist. Hiervoor worden in het inrichtingsplan specifieke eisen voor de uitvoering geformuleerd om het gewenste ruimtelijk beeld te realiseren. Dit is mogelijk binnen de ruimte zoals vastgelegd het projectplan Waterwet.



Vormgeving dwarsprofiel

- Symmetrisch profiel
- Taluds 1:3 met grasbekleding
- Kruin 4,5 meter met half verharding (onderhoud) pad van 3 meter breed
- Aan beide kanten van het pad is er een grasberm van 0,75 meter
- Eventuele constructies ten behoeve van stabiliteit worden onzichtbaar in het basisprofiel opgenomen.
- Zowel direct langs de binnen- als buitenteen van de dijk een inspectiestrook van 2 meter breed.
- Pipingmaatregel in de vorm van verticale constructie (onzichtbaar) welke ook wordt gebruikt voor stabiliteit. Compacte dijk zonder bermen.
- Uitgangspunten voor het dijkontwerp/kunstwerk ter plaatse van de gewenste vernauwing bij de kruising van de beek worden in het inrichtingsplan nader uitgewerkt en als eisen in het uitvoeringscontract opgenomen.

2.2.5 Deelgebied 5. Groene dijk als natuurlijke hoogte

Uitgangspunten ruimtelijk ingepast ontwerp voor deelgebied 5:

Inpassing tracé en lengteprofiel

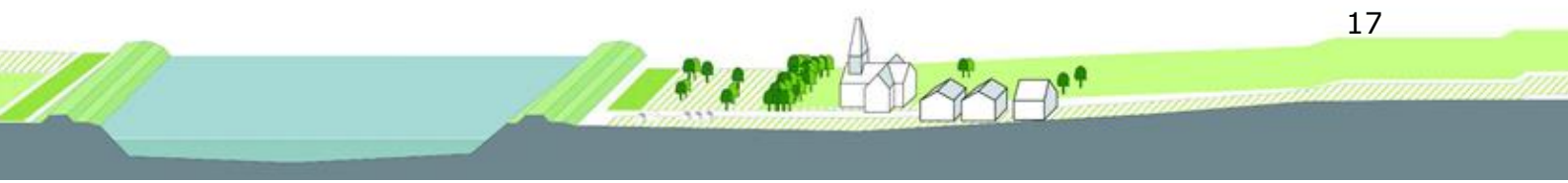
- Het gaat hier om een relatief korte opening in de 'achterdeur' bij Rijkkel, met een beperkte hoogte-opgave, op een plek waar een aantal uitwaaiende landwegen langs het reliëf van de hoge grond bij elkaar komen. Door het tracé als een nieuwe licht gebogen dwarsverbinding tussen landwegen te ontwerpen, ontstaat er tussen de landwegen een vanzelfsprekend groen kruispunt passend binnen de landschappelijke karakteristieken.

Vormgeving dwarsprofiel

- Symmetrisch profiel ter plaatse van het groene kruispunt
- Taluds 1:3 met grasbekleding
- Kruin 4,5 meter met half verhard (onderhoud) pad van 3 meter breed
- Aan beide kanten van het pad is er een grasberm van 0,75 meter
- Zowel langs de binnen- als de buitenteen van de dijk een inspectiestrook van 2 meter breed.
- Het groene kruispunt af laten lopen met een flauwe helling in oostelijke richting.



Figuur 8 representatief profiel in deelgebied 5



2.2.6 Deelgebied 6. Groene dijk met beekdalkruising

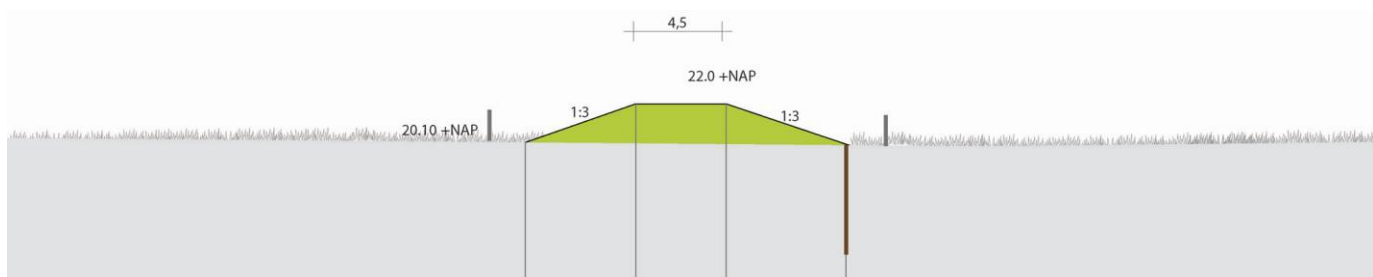
Uitgangspunten ruimtelijk ingepast ontwerp voor deelgebied 6:

Inpassing tracé en lengteprofiel

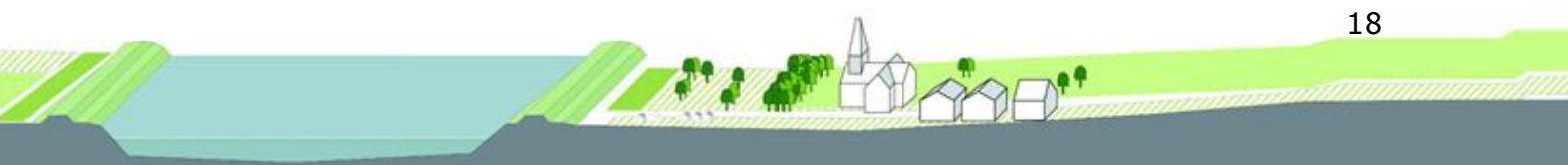
- Uitgangspunt is een zo kort mogelijke, rechte doorsnijing van het beekdal om de 'achterdeur te sluiten'.
- Bij kruising van het beekdal wordt voor de dijk het profiel van een standaarddijk toegepast met een variabele hoogte afhankelijk van het aanwezige reliëf, zo maakt de dijk het reliëf zichtbaar en het beekdal beter leesbaar als laagte.
- Aansluiting op hoge grond ter plaatse van de tuinen aan de Bussereindseweg.

Vormgeving dwarsprofiel

- -Symmetrisch profiel
- -Taluds 1:3 met grasbekleding
- -Kruin 4,5 meter met gras (onderhoud) pad van 3 meter breed
- -Aan beide kanten van het pad is er een grasberm van 0,75 meter
- -Eventuele constructies ten behoeve van stabiliteit worden onzichtbaar in het basisprofiel opgenomen.
- -Zowel langs de binnen- als langs de buitenteen van de dijk een inspectiestrook van 2 meter breed.
- Pipingmaatregel in de vorm van verticale constructie (onzichtbaar). Compacte dijk zonder bermen.
- Uitgangspunten voor het dijkontwerp/kunstwerk ter plaatse van de gewenste vernauwing bij de kruising van de beek worden in het inrichtingsplan nader uitgewerkt en voor uitvoering in het contract meegegeven



Figuur 9 representatief profiel in deelgebied 6



3 Technische randvoorwaarden en uitgangspunten

Deze ontwerpnota is opgesteld om het dijkontwerp en de bijbehorende eisen van het DO vast te leggen. Hieronder worden de technische randvoorwaarden en uitgangspunten uitgesplitst naar uitgangspunten uit de nota van uitgangspunten (hierna NvU), KlantEisenSpecificatie (hierna KES) en geometrische uitgangspunten. De NvU vormt samen met de KES het pakket van eisen waaraan de waterkering moet voldoen.

3.1 Nota van Uitgangspunten

Aan de start van de planfase is gezamenlijk met WL de nota van uitgangspunten (kortweg NVU, ref 1) vastgesteld. Dit betreft een generieke nota van uitgangspunten voor alle locaties in tranche 1 (Nieuw-Bergen, Beesel, Heel en Belfeld). In onderstaande paragrafen is aangegeven op welke punten van de NvU is afgeweken of welke uitgangspunten in aanvulling op de NvU zijn gehanteerd.

3.1.1 Hydraulische Randvoorwaarden

In onderstaande tabel staan de voor het ontwerp relevante en gebruikte hydraulische randvoorwaarden per dijkvak gepresenteerd. Deze bestaan uit een de waterstand bij norm en een hydraulische belastingniveau (HBN) bij doorsnede-eis. Zoals in de NvU vermeldt, geldt in beginsel het zichtjaar 2075, maar wordt voor constructieve elementen het zichtjaar 2125 gehanteerd.

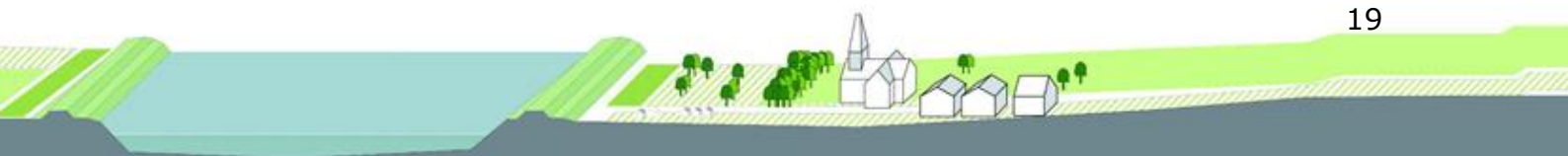
Tabel 4: Hydraulische randvoorwaarden per dijkvak

Dijkvak	1	2	3	4	5	6	7	8 - 11
Waterstand bij norm 2075 [m+NAP]	21,3	21,3	21,2	21,2	21,1	21,0	21,4	21,4
Waterstand bij norm 2125 [m+NAP]	21,7	21,7	21,7	21,6	21,5	21,4	21,8	21,9
HBN 2075 [m+NAP]	21,7	21,7	21,7	21,7	21,6	21,4	22,1	21,8
HBN 2125 [m+NAP]	22,2	22,2	22,2	22,2	22,1	21,9	22,6	22,4

3.1.2 Faalkansverdeling

De standaard faalkansbegroting volgens het OI2014v4 is een startwaarde voor het ontwerpproces. Deze kan worden aangepast wanneer hier logische argumenten voor zijn. Denk hierbij bijvoorbeeld aan een kleinere impact op benodigd ruimtebeslag of een besparing in kosten.

In Beesel is zowel sprake van een flinke hoogteopgave als ook pipingproblematiek. Beide ontwerpssporen hebben in de standaard faalkansbegroting 24% faalkansruimte. Verticale pipingmaatregelen in de vorm



van een heavescherm zijn niet afhankelijk van de faalkansruimte⁵ (in de huidige stand der techniek). Daarom is gekeken of het loont om faalkansruimte van piping (STPH) naar hoogte (HT) te schuiven, zodat de hoogteopgave gereduceerd wordt.

De impact van het aanpassen van de faalkansbegroting (overhevelen faalkansruimte van STPH naar HT) is beschouwd voor dijkvakken 1 tot en met 6 en levert de volgende inzichten:

- de benodigde kruinhoogte kan ca 0,25 m omlaag;
- het ruimtebeslag neemt met circa 1,5 m²/m af;
- voorgaande levert een kostenbesparing van orde grootte €250.000 exclusief BTW (betreft besparing in vastgoedkosten en grondkosten).

Ook in dijkvakken 8 t/m 11 is een verticale pipingmaatregel voorzien, waardoor het verschuiven van faalkansruimte van STPH naar HT besparingen in grondgebruik en ruimtebeslag oplevert, zonder dat de pipingmaatregel wijzigt. In dijkvak 7 is bij de standaard faalkansbegroting geen pipingmaatregel noodzakelijk en dit blijft ook zo bij de aangepaste faalkansbegroting.

Op basis van voorgaande is voor dit ontwerp gekozen de faalkansbegroting aan te passen door 20% faalkansruimte van STPH naar HT te verschuiven. De resulterende faalkansverdeling staat hieronder weergegeven.

Tabel 5: De gehanteerde faalkansverdeling voor normtraject 73-1 Beesel

Faalmechanisme	Faalkansruimte [-]
Hoogte kunstwerk (HTKW) of Grasbekleding erosie kruin en binnentalud (GEKB)	0,44
Piping (STPH)	0,04
Macrostabiliteit binnenwaarts (STBI)	0,04
Gras erosie buitentalud GEBU	0,05
Overige bekledingen buitentalud	0,05
Betrouwbaarheid sluiting kunstwerk (BSKW)	0,04
Piping bij kunstwerk (PWK)	0,02
Sterkte en stabiliteit kunstwerk (STKWp)	0,02
Overige toetssporen	0,30

Bij de start van het ontwerpproces is nog uitgegaan van de standaard faalkansbegroting uit [ref 6]. Naast hoogte en piping zijn de berekeningen voor de faalmechanismen stabiliteit bekleding (STMI/GABI) en macrostabiliteit binnenwaarts (STBI) opnieuw uitgevoerd met de kruinhoogte zoals gepresenteerd in Tabel 4, i.e. volgens de aangepaste faalkansbegroting. Voor macrostabiliteit buitenwaarts (STBU) is dit niet nodig geacht, aangezien de freatische lijn in het buitentalud (anders dan bij het binnentalud) niet of nauwelijks wijzigt bij een lagere kruin. Middels enkele controleberekeningen is dit geverifieerd.

⁵ Een kwelscherm heeft in werkelijkheid ook een faalkansbijdrage, maar de gedachte is dat deze faalkansbijdrage verwaarloosbaar klein is als een kritiek verhang van 0,5 wordt gehanteerd. Wel wordt aanbevolen de faalkansruimte voor piping nooit terug te brengen tot 0%, maar te verkleinen naar bijvoorbeeld 4% lijkt een logische keuze als er alleen kwelschermen in het traject zitten. (bron: advies KPR)



3.1.3 Overslag

Voor hoogte (HT) is een overslagdebiet van 5 l/s/m aangehouden bij doorsnede-eis. Dit is conform de NvU. Aanvullend hierop zijn overslagberekeningen bij norm uitgevoerd voor het spoor macrostabiliteit binnenwaarts (STBI). Deze berekeningen dienen voor de bepaling van de schadefactor en waterstand bij overslagdebiet van 1 l/s/m bij norm voor de situatie van verzadigde dijk. De gehanteerde methodiek is conform KPR Factsheet werkwijze macrostabiliteit bij golfoverslag OI2014v4_v2. [ref 7].

Dankzij de hoge faalkansruimte voor het hoogtespoor en de daardoor relatief lage kruinhoogte ten opzichte van de waterstand bij norm, is de situatie van een verzadigde dijk maatgevend gebleken. Deze situatie is daarom verder uitgewerkt. Zie ook Bijlage 6-III.

3.1.4 Waterspanningen

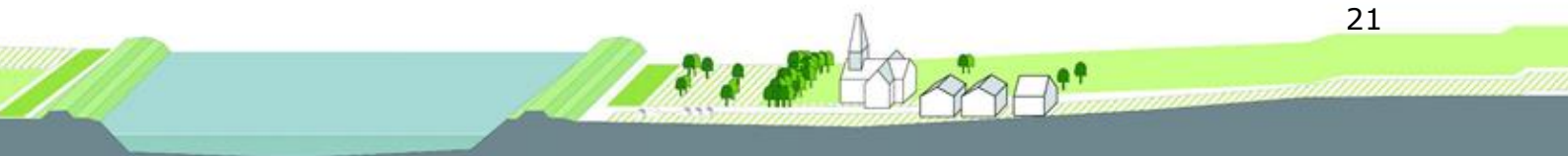
Aanvullend op de NvU zijn de waterspanningen nader uitgewerkt voor faalmechanismen macrostabiliteit binnenwaarts (STBI) en macrostabiliteit buitenwaarts (STBU) en piping (STPH). Tabel 6 geeft een overzicht van de uitgangspunten.

Tabel 6: Uitgangspunten waterspanningen STBI, STBU en STPH

Onderwerp	Uitgangspunt
Freatische lijn	- Op basis van de Nota van Uitgangspunten, document IO.97.001 [ref 1.]. - Bij de situatie van een hoog achterland, komt de freatische lijn boven het maaiveld uit, wanneer de schematisering op basis van het technisch rapport waterspanningen bij dijken [ref 11] wordt gedaan. Om dit te voorkomen, is bij een hoog achterland de freatische lijn onder kruin met 1 m verlaagd onder een talud 1:1, om vervolgens horizontaal te worden geschematiseerd tot einde achterland.
Peil na val	- Op basis van de Nota van Uitgangspunten, document IO.97.001 [ref 1.]. - Bij de situatie van hoog voorland, is het peil na val gelijk aan de hoogte van het voorland.
Stijghoogtelijn	Op basis van de formules in bijlage b4.4 van het Technisch Rapport Waterspanningen bij Dijken [ref 11].
Opbarsten	- Opbarsten is berekend met de formule in Bijlage b4.1. van het Technisch Rapport Waterspanningen bij Dijken [ref 11]. - Indien de opbarstfactor tussen 1,0 en 1,2 ligt is de sterkte in de opbarstzone gereduceerd. - Indien de opbarstfactor kleiner is dan 1,0 wordt de stijghoogtelijn gecorrigeerd naar grenspotential en de sterkte in de opbarstzone gereduceerd. - De lengte van de opbarstzone is gelijk aan 2 keer de dikte van de deklaag met een minimum lengte van 4 m.

3.1.5 SE/KES

De klanteisen zijn vastgelegd in de KES die opgenomen is in Relatics.



3.2 Geometrische uitgangspunten

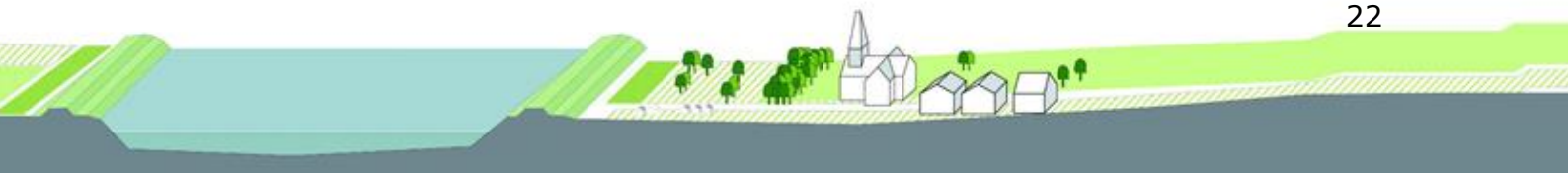
Voor de ontwerpberekeningen van de verschillende dijkvakken zijn representatieve profielen gekozen. In volgende subparagrafen is per faalmechanisme aangegeven welke profielen zijn gekozen en indien van toepassing op basis waarvan. Daarnaast is aangegeven op basis van welke sonderingen/boringen de bodemopbouw is vastgesteld.

3.2.1 Macrostabiliteit

Voor macrostabiliteit is per dijkvak een maatgevend profiel gekozen, die is doorgerekend in D-Geo Stability versie 18.1, zie Tabel 7. In Bijlage 6-I wordt in meer detail ingegaan op de keuze en schematisatie van de representatieve dwarsprofielen.

Tabel 7: Representatieve profielen Macrostabiliteit

Dijkvak	Representatief profiel	Criterium geometrie	Bodemopbouw o.b.v.	Criterium bodem
1	dijkpaal 30+20 (73-1_0001_180)	laagst liggend maaiveld	Sonderingen: VL: 02P011230-08_01 KR: 02P011230-08_01 AL: 02P011230-08_05 Boringen: VL: HB 01 AL: S 05	zie bijlage 6-I
2	dijkpaal 32+20 (73-1_0002_140)	laagst maaiveld binnenwaarts en kort voorland	Sonderingen: VL: 02P011230-08_203 KR: 02P011230-08_7 AL: 02P011230-08_202 Boringen: VL: HB 06 AL: HB 05	zie bijlage 6-I
3	dijkpaal 36+00 (73-1_0003_160)	laag maaiveld, kort voorland	Sonderingen: VL: 02P011230-08_203 KR: 02P011230-08_11 AL: 02P011230-08_22 Boringen: VL: HB11 AL: BS204	zie bijlage 6-I
4	dijkpaal 38+00 (73-1_0004_080)	Laag maaiveld binnenwaarts	Sonderingen: VL: 02P011230-08_14 KR: 02P011230-08_12 AL: 02P011230-08_22 Boringen: VL: HB 13 AL: HB 12	zie bijlage 6-I
5	dijkpaal 43+60 (73-1_0005_460)	maaiveld ligt beduidend lager dan bij de maatgevende situatie van het geotechnisch lengteprofiel	Sonderingen: VL: 02P011230-08_208 KR: 02P011230-08_20 AL: 02P011230-08_17 Boringen: VL: HB 19 AL: HB 18	zie bijlage 6-I
6	dijkpaal 44+00 (73-1_0006_040)		Sonderingen: VL: 02P011230-08_208 KR: 02P011230-08_20 AL: 02P011230-08_17 Boringen: VL: HB 19 AL: HB 18	gelijk aan dijkvak 5
7	dijkpaal 17		Sonderingen: niet beschikbaar Boringen: niet beschikbaar	o.b.v. geofysisch onderzoek, zie bijlage 6-I



8	dijkpaal 66+50nw (dwp-2)	laagst liggend maaiveld	Sondering: 73_S_010 Boring: 73_S_010	zie bijlage 6-I
9	dijkpaal 67+00nw (dwp-3)		Sondering: 73_S_008 Boring: 73_S_008	zie bijlage 6-I
10	dijkpaal 67+50nw (dwp-4)	laagst liggend maaiveld	Sondering: 73_S_007 Boring: 73_S_007	zie bijlage 6-I
11	dijkpaal 69+00nw (dwp-8)	laagst liggend maaiveld	Sondering: 73_S_104 Boring: 73_S_104	zie bijlage 6-I

3.2.2 Piping

Voor piping zijn analytische sommen gedaan voor de deelmechanismen opbarsten, heave en terugschrijdende erosie om het pipingprobleem te kwantificeren (zie par. 6.1.1). Dit is gedaan om de 100 m langs het gehele dijktraject. Uit deze berekeningen volgt per profiel of er een pipingprobleem is (wanneer alle deelmechanismen optreden) en op basis van de berekening voor terugschrijdende erosie volgt of horizontale of verticale maatregelen toegepast moeten worden.

Als nominale waarde voor de schematiseringsfactor voor terugschrijdende erosie is uitgegaan van $\gamma_{b;pip} = 1,15$. De motivatie hiervoor is dat:

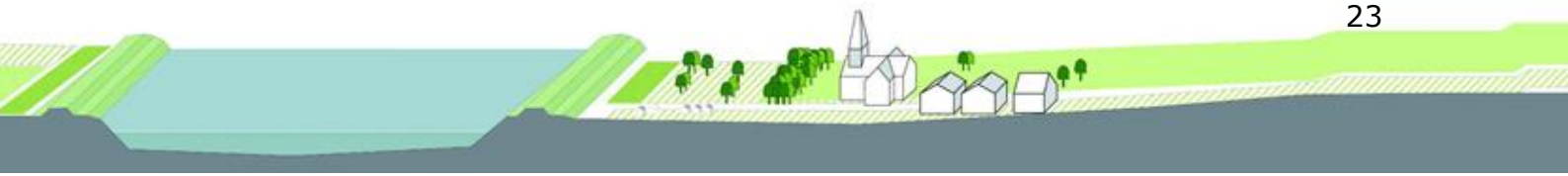
- er geen gevoeligheidsanalyses zijn uitgevoerd voor diktes van bijvoorbeeld verschillende lagen en invloed van beschikbare kwelweg (1,0 à 1,1 zou dan te optimistisch zijn);
- er tamelijk veel grondonderzoek beschikbaar is⁶ en aan- of afwezigheid van een fijne pipinggevoelige zandlaag inzichtelijk is (1,2 zou dan te conservatief zijn);
- er dijkvakken vastgesteld zijn met een zo veel mogelijk uniforme geometrie en bodemopbouw (een schematiseringsfactor van 1,3 past bij een eerste globale beoordeling zonder vakindeling).

Voor de overige schematiseringsfactoren ($\gamma_{b;opb}$ en $\gamma_{b;hea}$) wordt uitgegaan van 1,1. De motivatie hiervoor is dat de waterspanning middels een analytische methode wordt berekend/aangescherpt met karakteristieke waarden voor kD en hydraulische weerstand van de deklaag.

Indien horizontale pipingmaatregelen worden toegepast, dus op basis van terugschrijdende erosie en (bij een berm) opbarsten, dan wordt voor dit ontwerp per dijkvak een schematiseringsfactor afgeleid volgens het TR Grondmechanisch Schematiseren bij Dijken⁷ [ref 9]. Voor heave wordt gebruik gemaakt van een heave-ontwerpcriterium waarin geen schematiseringsfactor wordt toegepast.

⁶ Dit geldt niet voor dijkvak 7 maar hier speelt in zijn geheel geen pipingproblematiek

⁷ Deze methodiek is ontwikkeld voor ontwerpwerkzaamheden en niet voor toetsing, wat bij het kwantificeren van het pipingprobleem feitelijk gedaan wordt.



Met D-Geo Flow kunnen de berekeningen aan terugschrijdende erosie aangescherpt worden. Hiermee zijn gerichte berekeningen uitgevoerd om de ontwerpkeuzes die gemaakt zijn op basis van de analytische berekeningen, te verifiëren. Voor deze berekeningen zijn om deze reden verschillende type profielen gekozen om op die manier zo dekkend mogelijk te zijn voor het gehele dijktraject. In Tabel 8 is die verscheidenheid terug te vinden onder criterium voor representatief profiel. In dijkvak 7 is geen sprake van piping (zie par. 6.1.1), daarom ontbreekt dit dijkvak in onderstaande tabel. Van dijkvakken 8 t/m 11 was op het moment van uitvoeren van de verificatie met D-Geo Flow nog geen grondonderzoek beschikbaar maar met de gekozen criteria wordt het gehele traject voldoende afgedekt.

Tabel 8: Representatieve profielen voor D-Geo Flow

Dijkvak	Representatief profiel	Criterium	Bodemopbouw o.b.v.	Criterium
1	73.030+080(2)	Enige pipinggevoelige doorsnede in dit dijkvak	Sondering: 02P002480_187 Boringen: S01, S05, HB01, BS201	Sondering voor gegevens onder de dijk en indicatie pipinggevoelige diktes. Daarbij ook voor eerste deel van het watervoerend pakket (wvp). Boringen voor grenzen binnen het wvp tussen grind/grof zand/fijn zand. Zandmedianen in de boringen zijn hier belangrijk. Boringen ook voor de deklaagdikten in voor- en achterland
2	73.032	Profiel met laagste kritiek verval in dijkvak	Sondering: 02P011230-08_7 Boringen: S07, HB05, B05, Geofysisch onderzoek	
3	73.035	Profiel met laagste unity check op verval	Sondering: 02P011230-08_8 Boringen: S11, HB29 ,HB22, B05 geofysisch onderzoek	
4	73.038	Grootste verval over kering	Sondering: 02P002480_184 Boringen: S22, HB12, HB13, B03 geofysisch onderzoek	
5	geen som			
6	73.045	Pipinggevoelig profiel met grootste verval in dijkvakken 5 en 6	Sondering: 02P011230-08_21 Boringen: S21, BS209, B05 geofysisch onderzoek	

3.2.3 Overige faalmechanismen

In Tabel 9 is een overzicht gegeven van de representatieve profielen voor de overige faalmechanismen.

Tabel 9 Representatieve profielen overige faalmechanisme

Faalmechanisme	Representatief profiel	Criterium
Bekleding	Om de 100 m	STMI/GABI is elke 100 m doorgerekend
Zetting en klink	73.038	Dikste kleilaag
Voorland	Strekking tussen 73.031 en 73.036	Dichtst bij Maas gelegen profielen
Niet waterkerende objecten	Per niet waterkerend object	De aanwezigheid van een niet waterkerend object
Kunstwerken	Per kunstwerk	De aanwezigheid van een kunstwerk



4 Geotechnische parameters

4.1 Verricht onderzoek

In zowel de verkennings- en planuitwerkingsfase is in Beesel grondonderzoek uitgevoerd door Inpijn-Blokpoel. Ook grondonderzoek uit eerdere jaren is door Inpijn-Blokpoel uitgevoerd.

In Tabel 10 is het veldwerk weergegeven, bestaande uit sonderingen, boringen en peilbuizen. De verkenningsfase is gestart medio 2016 waarna de planuitwerkingsfase is gestart medio 2017.

Tabel 10: Overzicht uitgevoerd grondonderzoek dijktraject Beesel (#73)

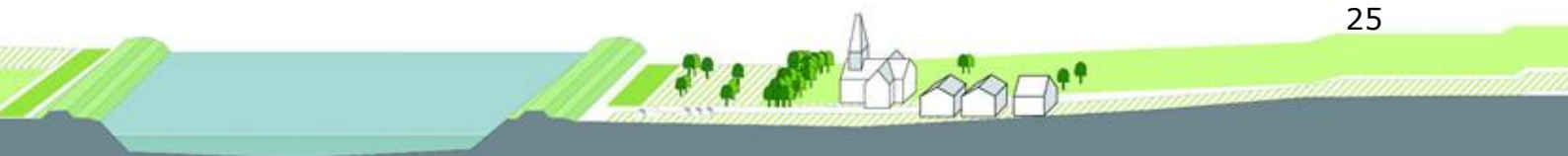
Referentie-nummer [-]	Jaar [-]	Sonderingen [-]	Mechanische sondering [-]	Handboring [-]	Mechanische boring [-]	Peilbuis [-]
Inpijn - Blokpoel, kenmerk 02P002480-RG-01	2012	6		1	-	-
Inpijn - Blokpoel, kenmerk 02P005360-RG-01	2015	-		16	-	16
Inpijn - Blokpoel, kenmerk 02P008617-10-RG-73-def2	2017	5		13	-	-
Inpijn - Blokpoel, kenmerk 02P010333-02	2018	-		3	-	-
Inpijn - Blokpoel, kenmerk 02P011230-08	2018 en 2019	64	25	74	18	-

Op basis van de beschikbare veldproeven is een geotechnische lengteprofiel opgesteld, zie Bijlage 1. Met behulp van dit lengteprofiel is de laagopbouw inzichtelijk gemaakt. Vervolgens zijn laboratoriumproeven uitgevoerd waarin grondsoorten zijn vastgesteld en een parameterset is opgesteld. Voor het beschouwen van grondsoorten en het opstellen van de parameterset zijn de volgende proeven uitgevoerd:

- Classificatieproeven;
- Korrelverdelingen;
- Samendrukkingsproeven;
- Triaxiaalproeven;

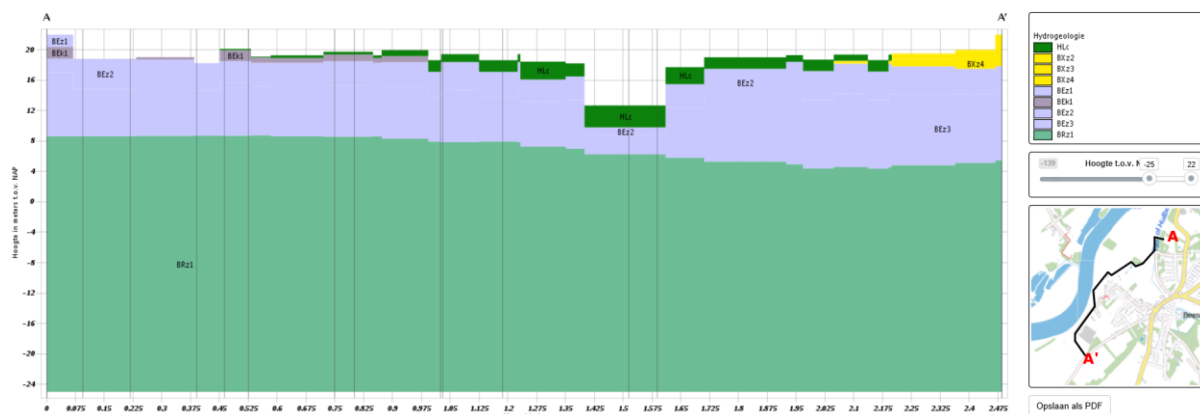
4.2 Grondmechanische schematisatie

De laagopbouw is weergegeven in Bijlage 1. Het maaiveld is gelegen rond NAP +18 a +19 m. Daaronder bevindt zich tot NAP+16 a +17 m een holocene kleilaag. Onder deze laag bevinden zich tot circa NAP +13 a +15 m zandige kleilagen en kleiige zandlagen (Beegden klei) met daaronder een zandige grindlaag met een hoge conusweerstand (Beegden zand), zie Figuur 10. Vanaf



dijkpaal 73.035 (en olopnd) kent de grindlaag een beperkte dikte van enkele meters waaronder een fijne zandlaag aanwezig is (formatie van Breda). De verkende diepte is tot circa NAP +6 m.

Afwijkend is het grondonderzoek rond 73.034 aangezien daar de grindlaag dieper is gelegen op circa NAP +11 m.



Figuur 10: Verticale doorsnede REGIS II v 2.2 te Beesel

4.3 Grondparameters

4.3.1 Doorlatendheid zandondergrond

Op basis van de uit de zandmonsters afgeleide korrelverdelingen is de doorlatendheid van de pipinggevoelige laag bepaald. Dit is gedaan door de doorlatendheid af te schatten met drie empirische rekenregels, te weten Grontmij, Hazen en Seelheim en hieruit het gemiddelde te berekenen. De gemiddelde doorlatendheid van de pipinggevoelige zandlaag te Beesel is 15 m/dag in het beekdal (Beegden) en 21 m/dag in de rest van het normtraject (Holoceen), zie Bijlage 5-I.

De doorlatendheden van de formaties in het watervoerend pakket zijn bepaald op basis van expert judgment. Dit is gebeurd met behulp van hoog en laag karakteristieken vanuit , de sonderingen en de soorten grondlagen en zandmedianen in de boringen. Voor de formatie van Beegden is met een hoog karakteristiek van 175 m/dag een grote doorlatendheid toegekend. Ten behoeve van de veiligheid van de dijk en gezien de beperkt beschikbare informatie over deze laag, is dit een conservatieve aanname. Voor meer informatie over de bepaling van de doorlatendheden, zie Bijlage 5-II.

4.3.2 D70 pipinggevoelige laag

De D₇₀ voor de pipinggevoelige laag is bepaald op basis van tabel 6 uit ref 1 en een analyse met zeefkrommes uit het grondonderzoek. In het beekdeel (dwarsdoorsneden 73.043 t/m 73.045) is de gemiddelde waarde 290 µm (karakteristieke waarde 250 µm) en in het overige deel van het traject 350 µm (karakteristieke waarde 310 µm). Deze waarden met bijbehorende

onderbouwing zijn terug te vinden in de interpretatie van het grondonderzoek [ref 4].

4.3.3 Volumegewicht en sterkte

De gehanteerde volumegewichten en sterkteparameters zijn gepresenteerd in Tabel 11. Achtergrondinformatie is gepresenteerd in het interpretatierapport [ref 4].

Tabel 11: Geotechnische parameters ten behoeve van de macrostabiliteitsberekeningen, zie proevenverzameling in ref 4 en Bijlage 2.

Grondsoort [-]	Formatie	γ_{nat} [kN/m ³]	γ_{sat} [kN/m ³]	POP_{kar} [-]	m_{kar} [-]	S- ratio [-]	ϕ'_{CSSM} [°]	ψ [°]
Zand, dijk	antropogeen	19,5	20,5	-	-	-	30,8	0
Klei, dijk	antropogeen	19,7	20,2	-	-	-	30,8	0
Klei, zandig	Holoceen	19,7	20,2	-	-	-	30,8	0
Klei, siltig	Holoceen	18,1	18,6	11	0,89	0,24	-	-
Klei	Beegden	17,0	18,0	-	-	-	29,5	0
Lokale beekdalafzettingen (veen)	Holoceen	11,0	11,0	15	0,8	0,30	-	-
Lokale beekdalafzettingen (organische klei)	Holoceen	14,0	14,0	10	0,8	0,22	-	-
Zand, matig grof	Holoceen	18,0	20,0	-	-	-	32,0	0
Zand, matig fijn	Boxtel	17,0	19,0	-	-	-	28,3	0
Zand, grof / grind, fijn	Beegden	19,0	20,0	-	-	-	32,0	0

γ_{nat} = veldvochtig volumiek gewicht

γ_{sat} = verzadigd volumiek gewicht

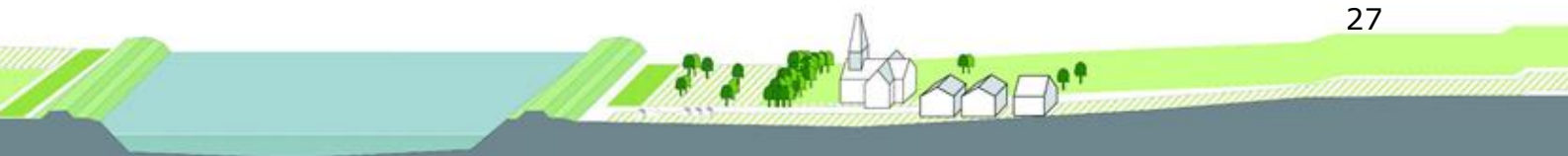
S_{kar} = ongedraineerde schuifsterkte ratio, karakteristieke waarde

m_{kar} = sterkte toename exponent

POP_{kar} = overconsolidatie, karakteristieke waarde

$\phi_{\text{cv};\text{kar}}$ = hoek van inwendige wrijving, constant volume (eindrek / critical state dus $\psi = 0^\circ$) karakteristieke waarde

* de verwachting is dat de $\phi_{\text{cv};\text{kar}}$ van grindhoudend zand hoger is dan 32°



5 Ontwerp dijk

5.1 Kruinhoogte

De aanleghoogte en ontwerphoogte zijn per dijkvak opgegeven in Tabel 12. Voor zetting en klink is rekening gehouden met in totaal 0,20 m (zie par. 5.1.1 en par. 6.6). Waar sprake is van constructieve onderdelen die de hoogte verzorgen dient het zichtjaar 2125 gehanteerd te worden. Hier hoeft dan echter geen zetting in rekening gebracht te worden. In dijkvakken 6 en 9, waar de Huilbeek overstoken wordt, is mogelijk sprake van constructieve onderdelen die de hoogte verzorgen.

5.1.1 Berekende zettingen

De zettingen zijn berekend voor maatgevende bodemprofielen met een meer dan gemiddeld dikke deklaag, die maatgevend is voor de grootte van de zetting (zie Bijlage 9). Voor Beesel levert dit een totale zetting van 0,16 m in de kruin.

Door de beperkte dikte van de deklaag komt de zetting relatief snel tot stand en wordt verwacht dat de consolidatieperiode aan het einde van de uitvoering verstreken is.

5.1.2 Aanleghoogte

Gelet op de te verwachten klink en restzetting na gereedkomen dient de dijk met 0,2 m overhoogte te worden opgeleverd. De uiteindelijke hoogte waarmee de dijk wordt afgewerkt, is de verantwoordelijkheid van de aannemer en hangt nauw samen met de uitvoeringsvolgorde, planning en toe te passen kernmateriaal en/of verdichting daarvan (zie paragraaf 8.1.7).

Tabel 12: Kruinhoogte en aanleghoogte per dijkvak

Dijkvak	HBN 2075 [m+NAP]	Aanleghoogte [m+NAP]	HBN 2125 [m+NAP]
1	21,7	21,9	niet relevant
2	21,7	21,9	niet relevant
3	21,7	21,9	niet relevant
4	21,7	21,9	niet relevant
5	21,6	21,8	niet relevant
6	21,4	21,6	21,9
7	22,1	22,3	niet relevant
8 t/m 11	21,8	22,0	22,4

5.2 Kruinbreedte

Zie NvU [ref 1] voor de uitgangspunten van de kruinbreedte. Voor de groene dijken is een 4,5 m brede kruin aangehouden. Op de kruin komt een onderhoudspad van 3,0 m breed. Aan weerszijden van het onderhoudspad is een berm van 0,75 m breed. Op onderstaande locaties is afgeweken van de standaard breedte van 4,5 m:



- Ter plaatse van dwp 73.035+85 is de kruin over een lengte van 15 m binnenwaarts verbreed met 3,5 m ten behoeve van een opstelplaats voor een pompinstallatie;
- Ter plaatse van dwp 73.038+25 is de kruin over een lengte van 15 m buitenwaarts verbreed met 3,5 m ten behoeve van een opstelplaats voor een pompinstallatie;
- Tracé tussen oprit Ouddorp ter hoogte van dwp 73.040 en oprit van Het Spick is een openbare weg voor gemotoriseerd (auto)verkeer. De kruin is hier 5,5 m breed (3,5 m halfverharding met aan weerszijden een berm van 1,0 m breed);
- In dijkvak 6 en dijkvak 9 ter plaatse van de beekoversteek is sprake van een kunstwerk, duiker door dijk, conform principe-ontwerpen van het waterschap. De kruin is hier (minimaal) 8 m breed.
-

5.3 Verharding dijkkruin

Op de kruin komt een onderhoudspad van 3,0 m met aan weerszijden een berm van 0,75 m. Dit onderhoudspad is opgebouwd uit een zanddichtgeotextiel met voldoende sterkte en een verharding bestaande uit betongranulaat type 0/40, dikte 300 mm [ref 1].

De openbare weg in een deel van dijkvak 5 (zie voorgaande paragraaf) is 3,5 m breed en uit hetzelfde materiaal opgebouwd.

5.4 Pipingmaatregel

De pipingmaatregel voor dijkvakken 1 t/m 6 en 8 t/m 11 betreft een heavescherm nabij⁸ de binnenteen van de dijk. De keuze voor deze maatregel is gebaseerd op het pipingprotocol, uitgewerkt in Bijlage 4 en samengevat in par. 6.1.1. Voor dijkvakken 10 en 11 laat het pipingprotocol de keuze tussen een horizontale en verticale pipingmaatregel nog open. Omwille van een vanzelfsprekende dijk en de combinatiemogelijkheid met de stabiliteitsmaatregel (zie volgende paragraaf) is ook hier gekozen voor een verticale maatregel in de vorm van een heavescherm.

De lengte van de heaveschermen is gebaseerd op tweemaal het verval onder de maaiveldhoogte plus een extra meter die is toegevoegd op basis van expert judgment, met een minimale lengte van 5 m. Voor de maaiveldhoogte is per dijkvak de laagste maaiveldhoogte bij de binnenteen genomen, op basis van de dwarsprofielen om de 100 m over het gehele tracé. Aangezien het een constructieve maatregel betreft, is voor het verval uitgegaan van de waterstand bij norm in 2125. De resulterende lengtes van de heaveschermen per dijkvak zijn weergegeven in Tabel 13. N.B. De heaveschermen zijn tevens een stabiliteitsmaatregel (zie par. 5.5) voor de waterkering. De genoemde dieptes in onderstaande tabel laten zien wat nodig is om te voldoen als pipingmaatregel en ze gelden dus als minimale dieptes.

⁸ Ca 0,6 m naar richting de kruin om voldoende dekking met klei te borgen.



Tabel 13: Dimensionering heaveschermen dijkvakken 1 tot en met 6

Dijkvak	Maaiveldhoogte binnenteen [m+NAP]	Waterstand bij norm 2125 [m+NAP]	Verval [m]	Lengte heavescherm [m]
1	19,6	21,7	2,1	5,2
2	19,4	21,7	2,3	5,6
3	17,5	21,7	4,2	9,4
4	18,4	21,6	3,2	7,4
5	18,0	21,5	3,5	8,0
6	17,8	21,4	3,6	8,2
8	20,0	21,8	1,8	5
9	19,2	21,8	2,6	6,2
10	20	21,8	1,8	5
11	20,4	21,8	1,4	5

Voor de dijkvakken die aansluiten op hoge grond (1, 6, 8 en 11) neemt het verval richting aansluiting op hoge grond dusdanig af dat de pipingmaatregel niet helemaal doorgezet hoeft te worden, zie indicatieve locatie in de ontwerptekeningen in Bijlage 13.

Ter plaatse van dijkvak 7 is er geen pipingprobleem (geen verval) en dus geen maatregel ontworpen.

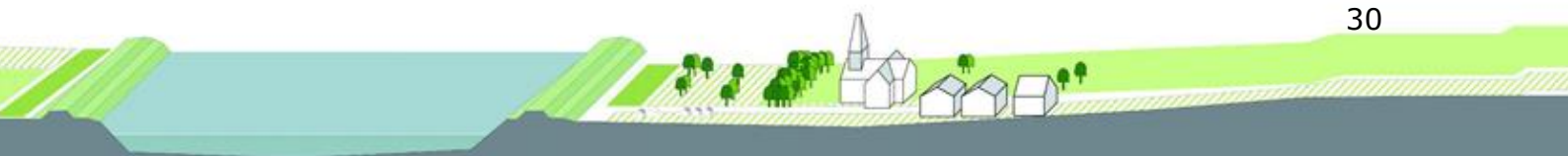
Aangezien ter plaatse van het Maasterras (nabij dijkpaal 73.037) de opbarstlocatie verder weg van de binnenteen ligt, kon hier niet op basis van heave ontworpen worden. In plaats daarvan is de ontwerpregel van Lane toegepast waarbij de lengte van het Maasterras in dwarsrichting op de dijk als horizontale kwelweglengte is genomen. Voor het verval is wederom uitgegaan van waterstand bij norm in 2125 en voor de creepfactor is op basis van grondopbouw uitgegaan van 6 (expert judgment). Uit deze berekening volgt dat de omliggende heaveschermen maatgevend zijn. Omwille van achterloopsheid worden deze schermen doorgetrokken ter plaatse van het Maasterras. De berekening is bijgevoegd in Bijlage 4-V.

5.5 Stabiliteitsmaatregel

Onderstaande tabel toont de stabiliteitsmaatregelen per dijkvak. Met behulp van D-Geo Stability is in volgende volgorde beschouwd wat er nodig is voor stabiliteit binnen- en buitenwaarts:

- 1) Groene dijk met 1:3 talud
- 2) Groene dijk met 1:3,5 talud
- 3) Dijk met 1:3 talud en constructieve damwand in de teen

Voor buitenwaartse stabiliteit is een 1:3 talud stabiel. Voor binnenwaartse stabiliteit is dit niet het geval, en is een scherm nodig om stabiliteit te borgen. Voor de diepte van de damwand binnenwaarts is uitgegaan van de benodigde dieptes volgend uit het heave-ontwerpcriterium (zie par. 5.4). Deze dieptes zijn



voldoende gebleken⁹. In veel gevallen is de precieze locatie van het scherm wel aangepast. Zie hiervoor de dwarsprofielen in Bijlage 13,.

De onderliggende berekeningen zijn bijgevoegd in Bijlage 6.

Voor de damwanden is met betrekking tot inbrengbaarheid uitgegaan van AZ18-700 profielen. In Plaxis is, op basis van zichtjaar 2125, geverifieerd of dit profiel sterk genoeg en stabiel is bij de diepte die nodig is voor het heave-mechanisme (zie par. 5.4 en Bijlage 7). Alleen voor dijkvakken 1, 4 en 8 bleek de diepte die volgt uit het heave-ontwerpcriterium niet afdoende voor stabiliteit van de damwand zelf. In dijkvak 1 wordt de damwand verlengd met een extra 0,6 m, in dijkvak 4 met een extra 0,4 m en in dijkvak 8 met een extra 1,1 m. Zie onderstaande tabel voor de resulterende stabiliteitsmaatregelen.

Tabel 14: Stabiliteitsmaatregelen

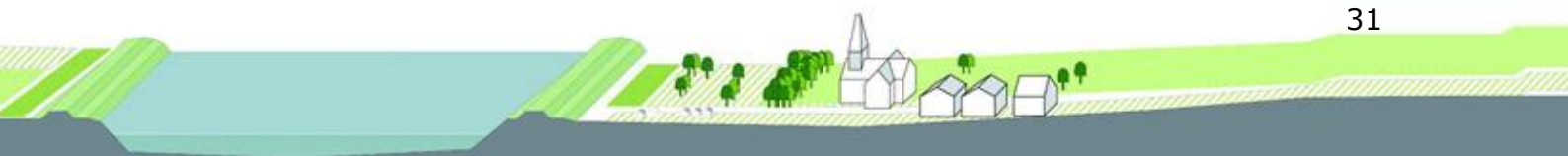
Dijkvak	Parameter	Binnenwaarts	Buitenwaarts
1	Taludhelling [cot a]	3	3
	Diepte scherm t.o.v. teen [m]	5,8	n.v.t.
2	Taludhelling [cot a]	3	3
	Diepte scherm t.o.v. teen [m]	zie Tabel 13	n.v.t.
3	Taludhelling [cot a]	3	3
	Diepte scherm t.o.v. teen [m]	zie Tabel 13	n.v.t.
4	Taludhelling [cot a]	3	3
	Diepte scherm t.o.v. teen [m]	7,8	n.v.t.
5	Taludhelling [cot a]	3	3
	Diepte scherm t.o.v. teen [m]	zie Tabel 13	n.v.t.
6	Taludhelling [cot a]	3	3
	Diepte scherm t.o.v. teen [m]	zie Tabel 13	n.v.t.
7	Taludhelling [cot a]	3	3
	Diepte scherm t.o.v. teen [m]	n.v.t.	n.v.t.
8	Taludhelling [cot a]	3	3
	Diepte scherm t.o.v. teen [m]	6,1	n.v.t.
9	Taludhelling [cot a]	3	3
	Diepte scherm t.o.v. teen [m]	zie Tabel 13	n.v.t.
10	Taludhelling [cot a]	3	3
	Diepte scherm t.o.v. teen [m]	zie Tabel 13	n.v.t.
11	Taludhelling [cot a]	3	3
	Diepte scherm t.o.v. teen [m]	zie Tabel 13	n.v.t.

5.6 Samenstelling dijk

5.6.1 Kern

De kernsamenstelling dient nog nader ingevuld te worden vanwege mogelijkheid voor hergebruik lokaal vrijkomende grond. Bij de ontwerpberekeningen is

⁹ N.B. dit gaat ervan uit dat de damwanden zelf stabiel zijn. Of dit werkelijk zo is, is gecontroleerd in Plaxis.



uitgegaan van het huidig kernmateriaal, dat is geschematiseerd op basis van het geotechnische onderzoek (zie schematisaties dwarsprofiel in Bijlage 6).

5.6.2 Bekleding buitentalud

Met betrekking tot erosiebestendigheid van de taluds wordt uitgegaan van het aanbrengen (of reeds aanwezig zijn) van een laag erosiebestendige klei (stevige klei conform NvU [ref 1], dit is categorie 1) van minimaal 1,0 m (in dikte toenemend richting de buitenteen) plus 0,3 m teelaarde met een grasmat. Ter plaatse van de buitenkruinlijn wordt een bekleding van totaal 1,3 meter dik loodrecht op het talud toegepast, conform Addendum I van de Leidraad Rivieren [ref 8] is deze dikte voldoende voor de golven te Beesel, omdat deze lager zijn dan 1,5 meter. De dikte van de kleilaag dient in dikte toe te nemen, daarom wordt voor de onderzijde van de kleilaag een talud 1:2,5 aangehouden.

Aan de aan te brengen teelaarde worden de volgende eisen gesteld:

- Klei met minimaal 9% lutum;
- Klei met maximaal 5% organische stof;
- Kunstmest "start" gift;
- Compost doorfrezen;
- Controle van afdoende bodemleven.

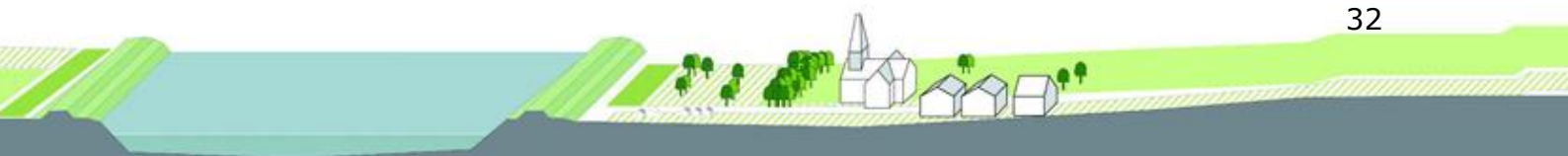
Het hergebruik van de bestaande bekledingslagen heeft daarbij altijd de voorkeur. Verificatie van de geschiktheid dient op basis van onder andere de Atterbergse grenzen (erosiebestendige onderlaag) en soortensamenstelling (teelaardelaag) plaats te vinden. Delen met ongewenste (on)kruiden dienen afgevoerd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

5.6.3 Bekleding binnentalud

Met betrekking tot erosiebestendigheid van de kruin en het binnentalud wordt conform NvU (ref 1) uitgegaan van het aanbrengen (of reeds aanwezig zijn) van een laag zavel ofwel zandige klei (categorie 3 klei) van minimaal 0,75 m dik (in dikte toenemend richting de binnenteen) inclusief 0,3 m teelaarde met een grasmat. Voor de teelaarde gelden dezelfde eisen als voor het buitentalud. De dikte van de kleilaag dient in dikte toe te nemen. Op basis van de faalmechanismen STMI en GABI is berekend dat een talud van de onderzijde kleilaag van 1:2,5 leidt tot een voldoende dikke kleilaag op enkele dwarsdoorsneden na:

- Bij 73.036 in dijkvak 3 dient de dikte van de kleilaag bij de binnenteen 1,75 m te zijn, i.e. 0,26 m dikker dan bij een 1:2,5 talud aan onderzijde kleilaag;



- Bij 73.038 in dijkvak 4 dient de dikte van de kleilaag bij de binnenteen 1,40 m te zijn, i.e. 0,01 m dikker dan bij een 1:2,5 talud aan onderzijde kleilaag;
- Bij 73.043 in dijkvak 5 dient de dikte van de kleilaag bij de binnenteen 1,45 m te zijn, i.e. 0,05 m dikker dan bij een 1:2,5 talud aan onderzijde kleilaag;
- Bij 73.045 in dijkvak 5 dient de dikte van de kleilaag bij de binnenteen 1,50 m te zijn, i.e. 0,10 m dikker dan bij een 1:2,5 talud aan onderzijde kleilaag.

Voor de hoogte van het freatisch vlak bij het binnentalud is de waterstand bij norm aangenomen. Dit is naar verwachting conservatief. Gezien de geringe benodigde diktetoename bij doorsneden 73.038, 73.043 en 73.045 wordt verwacht dat deze dijkvakken voldoen bij aanscherping van de aanname van het freatisch vlak op waterstand bij norm. Bij doorsnede 73.036 in dijkvak 3 moet naar verwachting wel verdikking van de kleilaag worden toegepast. Zie verder par. 6.5 en Bijlage 8.

5.6.4 Grasmatt

Een goede kwaliteit grasmatt is van belang om voldoende weerstand te kunnen bieden tegen golfaanval bij hoogwater op de Maas. De waterstaatkundige kwaliteit van de grasmatt dient derhalve aan minimale eisen te voldoen. Normaliter wordt ongeveer na 5 jaar na inzaaien met het juiste grasmengsel de gewenste kwaliteit bereikt, mits een "goed" beheer is gevoerd en mits het substraat (kleilaag op talud) aan bepaalde eisen voldoet.

Wordt de grasmatt binnen een periode van circa 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 haaks op talud).

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.

De ontwikkeling van de grasmatt 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 staan.

5.6.5 Klei-inkassing ter plaatse van teen dijk

Aan weerszijden van de waterkering komt een klei-inkassing van 2,0 meter uit de teen. De klei-inkassing wordt 0,75 meter dik en afgedekt met een leeflaag van 0,3 meter. 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.



5.7 Op- en afritten

Op de overzichtstekening van het DO (Bijlage 13) zijn alle op- en afritten te zien. Als maximaal hellingspercentage is - waar op- en afritten ook voor fietsverkeer worden gebruikt - 6,67% gehanteerd, wat overeenkomt met wens van beheer en ook in lijn is met de Ontwerpwijzer fietsverkeer [ref 12]. Daar waar de op- en afritten alleen voor beheervoertuigen dienen en dus niet voor fietsverkeer is in eerste instantie uitgegaan van 8,33% of als er sprake is van beperkte inpassingsruimte van 10%.

Overige uitgangspunten aangaande op- en afritten:

- De doorgaande weg over de dijkbocht tussen de molen De Grauwe Beer en Ouddorp is gebaseerd op het schetsontwerp HWBP-SO-1.1-VRK-0002. Hierin is rekening gehouden met vrachtverkeer. In genoemd schetsontwerp is rekening gehouden met een verbindingsweg tussen Ouddorp en Sint Antoniusstraat. Deze verbindingsweg is komen te vervallen.
- Voor de overige op- en afritten geldt een zeer lage verkeersintensiteit.
 - o De oprit in dijkvak 3 is slechts ten behoeve van beheer en voor fietsers die naar de oude loswal willen. Deze oprit heeft een taludhelling van 1:3 aangezien deze parallel aan het dijklichaam loopt;
 - o De op- en afritten in dijkvak 5 zijn voor beheer, fietsers en gemotoriseerd (auto)verkeer (noordelijk van het Spick is geen gemotoriseerd verkeer meer toegestaan). De op- en afritten zijn hier in lijn met de dijk breder (zie paragraaf 5.2). Voor de taludhelling van de op-/afritten is 1:2 gehanteerd, aangezien deze grondlichamen geen kerende functie hebben en het ook vanuit beheer voldoende is om 1:2 te hanteren.

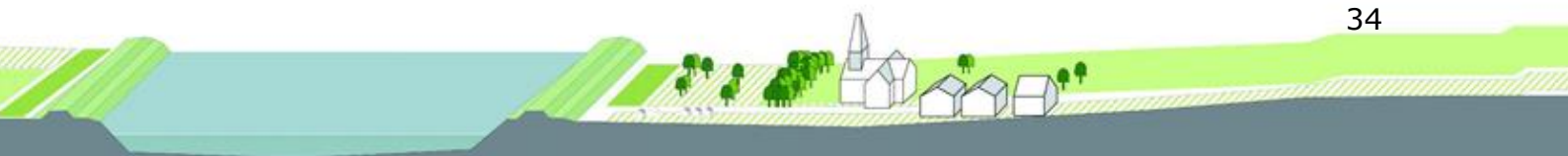
Naast de op- en afritten is een weg langs de buitenteen in het zuidelijkste deel van dijkvak 5 in het ontwerp opgenomen. Dit om de buitendijks liggende percelen te ontsluiten. Hierbij zijn ook twee keerpunten opgenomen omwille van de bedrijfsvoering voor deze percelen.

5.8 Ontwerpkeuzes

In Tabel 15 staan de belangrijkste ontwerpkeuzes die gemaakt zijn.

Tabel 15: Ontwerpkeuzes

Dijkvak	Titel	Omschrijving	Paragraaf
1 t/m 6, 8 t/m 11	Pipingmaatregel	Heavescherm	5.4
7	Pipingmaatregel	geen	5.4
1 t/m 6, 8 t/m 11	Stabiliteitsmaatregel	1:3 + damwand binnenwaarts	5.5
7	Stabiliteitsmaatregel	1:3	5.5
2	Oprit loswal	De huidige oprit van en naar de oude loswal wordt vervangen door een trap	
3	Pomplocatie	Plaatselijke verbreding dijk	5.2



HWBP Noordelijke Maasvallei

4	Maasterras	Maasterras wordt verhoogd naar nieuwe kruinhoogte ter plaatse	3.1.5
4	Pomplocatie	Plaatselijke verbreding dijk	5.2
4	Huidige kering met bergbezinkbassin	Huidige kering komt ter plaatse van dwp 73.038 komt haaks op nieuwe kering te staan. De huidige kering dient zo veel mogelijk in tact te blijven in verband met oprijfgevaar van het bergbezinkbassin. Voor beheer houdt dit in dat de nieuwe kering niet makkelijk langs de binnenteen gevolgd kan worden hier, maar er een korte omweg gemaakt dient te worden.	
4	Ruimtereservering voor afstromend oppervlaktewater	Ter plaatse van Ouddorp 12A wordt een laagte ingesloten door het nieuwe dijktracé. Geadviseerd wordt om op het laagste deel van de nieuw ingesloten hoek enige ruimte te reserveren om overtollig afstromend hemelwater op te vangen, en te laten infiltreren in de bodem	zie Notitie afstromend oppervlaktewater (opgenomen in Raakvlakken-map)
5	Paddenpoel	De paddenpoel wordt behouden. De weg/oprit zuidoostelijk van de paddenpoel is iets aangepast om de nieuwe kering met paddenpoel goed in te passen.	
5	Openbare weg	Kruinverbreding deel van tracé	5.2
5	Ontsluiting percelen	Weg langs buitenteen + keerlussen	5.7
6, 9	Beekoversteek + pomplocatie	Duiker door groene dijk	7
6	Verwijderen huidige dijk inclusief duiker	De huidige beekoversteek komt te vervallen; de kering inclusief duiker wordt verwijderd en de beekoversteek wordt opnieuw ingericht	
7	Ruimtereservering voor afstromend oppervlaktewater	Ter plaatse van dijkvak 7 wordt een laagte ingesloten door het nieuwe dijktracé. Geadviseerd wordt om op het laagste deel van de nieuw ingesloten hoek enige ruimte te reserveren om overtollig afstromend hemelwater op te vangen, en te laten infiltreren in de bodem	zie Notitie afstromend oppervlaktewater (opgenomen in Raakvlakken-map)
7	Aanheling ten behoeve van inpassing	De relatief lage dijk in dijkvak 7 wordt aangeheeld om zo in het landschappelijk opgenomen te worden	
1, 6, 7, 8, 11	Aansluiting op hoge grond	De nieuwe waterkering dient hoogwaterveilig aangesloten te worden op de aanwezige hoge grond	Bijlage 13
8	Teensloot	In samenspraak met bewoners een teensloot bij buitenteen	Bijlage 13
Algemeen	Faalkansbegroting	De faalkansbegroting is aangepast: 20% faalkansruimte is ten opzichte van de standaard faalkansbegroting verschoven van piping naar hoogte	3.1.2
Algemeen	Niet waterkerende objecten	De huidige niet waterkerende objecten worden teruggeplaatst	
Algemeen	Kruinbreedte	4,5 m	5.2
Algemeen	Taluds	De taluds worden 1:3	5.5
Algemeen	Beheerpad	Op de kruin komt een beheerpad van 3,0 m breed	5.3
Algemeen	Bekleding buitentalud	De bekleding van het buitentalud is een kleibekleding van minimaal 1,3 m dik.	5.6.2
Algemeen	Bekleding kruin en binnentalud	De bekleding van de kruin en het binnentalud is een kleibekleding van minimaal 1,05 m dik.	5.6.3
Algemeen	Grasmat	De grasmat dient een goede kwaliteit te hebben	5.6.4
Algemeen	Op- en afritten	De op- en afritten worden op een gelijkwaardige manier teruggeplaatst, tenzij in deze tabel anders aangegeven	



6 Geotechnische berekeningen

6.1 Resultaten pipingberekeningen

6.1.1 Schematiseringsfactor

In Beesel worden geen horizontale pipingmaatregelen toegepast. De schematiseringsfactoren voor terugschrijdende erosie of opbarsten ten behoeve van ontwerp zijn dus niet berekend. Voor het ontwerp van verticale pipingmaatregelen wordt het heavecriterium toegepast waar geen schematiseringsfactor voor benodigd is. Voor het kwantificeren van het pipingprobleem ten behoeve van het pipingprotocol is uitgegaan van de schematiseringsfactoren zoals onderbouwd in par. 3.2.2.

6.1.2 Analytische rekenregel Sellmeijer, opbarsten en heave

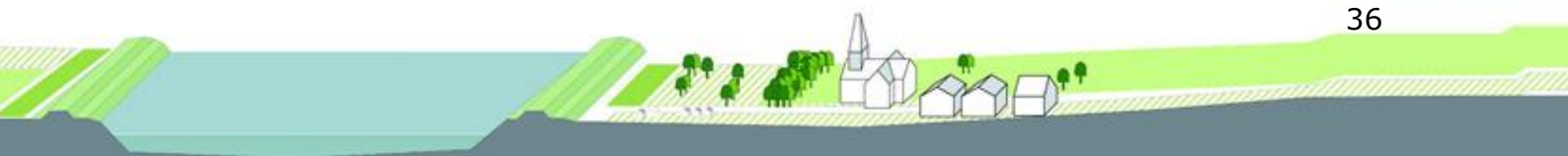
Tabel 16 toont het resultaat van analytische pipingberekeningen. De berekeningen zelf zijn bijgevoegd in Bijlage 4-I. De groene of rode kleur geeft aan of een maatregel bij de betreffende doorsnede noodzakelijk is wanneer het pipingprotocol (zie ref 1) strikt gevolgd wordt.

Het overwegende beeld is dat een verticale maatregel gewenst is. Op grote delen van het tracé is bovendien geen ruimte voor een horizontale maatregel.

Dijkvak 7 is niet opgenomen in de tabel. Hier is door de hoge ligging geen verval over het dijklichaam en dus kan er ook geen piping optreden.

Tabel 16: Resultaten analytische pipingberekeningen

Dijkvak	Locatie / maatregel		Deklaag-dikte [m]	Verval [m]	Opbarsten	Heave	Terugschrijdende erosie
1	73.030+080	n.v.t.	0.00	0.71	n.v.t.	NEE	NEE
	73.030+080(2)	Verticale of alternatieve maatregel	1.40	1.80	JA	JA	JA
2	73.031	Verticale of alternatieve maatregel	0.32	1.75	JA	JA	JA
	73.032	Verticale of alternatieve maatregel	1.08	2.12	JA	JA	JA
	73.033	Verticale of alternatieve maatregel	1.55	1.75	JA	JA	JA
	73.034	Verticale of alternatieve maatregel	1.30	2.35	JA	JA	JA
3	73.035	Verticale of alternatieve maatregel	0.80	3.50	JA	JA	JA
	73.036	Verticale of alternatieve maatregel	1.25	3.70	JA	JA	JA
4	73.037	Verticale of alternatieve maatregel	2.40	2.90	JA	JA	JA
	73.038	Verticale of alternatieve maatregel	2.00	3.10	JA	JA	JA
5	73.039	n.v.t.	2.00	1.90	NEE	JA	JA



HWBP Noordelijke Maasvallei

	73.040	Verticale of alternatieve maatregel	0.80	1.40	JA	JA	JA
	73.041	n.v.t.	0.00	3.50	n.v.t.	NEE	NEE
	73.042	Verticale of alternatieve maatregel	1.20	2.10	JA	JA	JA
	73.043	n.v.t.	1.00	3.20	NEE	JA	JA
	73.044	Verticale of alternatieve maatregel	2.00	2.85	JA	JA	JA
6	73.045	Verticale of alternatieve maatregel	1.05	3.20	JA	JA	JA
8	73.066+050	Verticale of alternatieve maatregel	1.20	1.40	JA	JA	JA
9	73.067	Verticale of alternatieve maatregel	0.95	2.10	JA	JA	JA
10	73.068	Horizontale of verticale maatregel	1.80	1.40	JA	JA	JA
	73.069	Horizontale of verticale maatregel	1.25	1.20	JA	JA	JA
11	73.069+050	Horizontale of verticale maatregel	1.45	1.00	JA	JA	JA

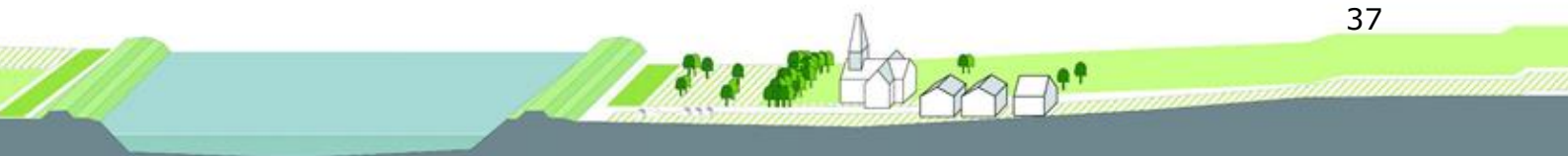
6.1.3 D-Geo Flow

In D-Geo Flow is voor een aantal profielen het kritisch verval opnieuw berekend om te verifiëren of een dergelijk nauwkeuriger berekening invloed zou kunnen hebben op de ontwerpkeuzes die op basis van de analytische Sellmeijer-berekening zijn gemaakt. Er zijn profielen gekozen met uiteenlopende verhoudingen tussen deklaagdikte en verval (zie par. 3.2.2). De resultaten en vergelijking met de analytische berekening staan in onderstaande tabel. In combinatie met het aanwezige verval leidt de aanscherping met D-Geo Flow niet tot andere ontwerpkeuzes. Uit beide berekeningen blijkt namelijk dat er een pipingmaatregel nodig is. De keuze voor het type maatregel wordt gemaakt op basis van het aanwezige verval en blijft derhalve gelijk.

Tabel 17: Resultaat D-Geo Flow berekeningen

Profiel	Kritiek verval Sellmeijer ¹⁰ [m]	Kritiek verval D-Geo Flow [m]	Verskil [m]	Aanwezig verval [m]
73.030+080(2)	1,01	1,13	+0,12	1,75
73.032	1,08	1,48	+0,40	2,07
73.035	1,27	1,27	+0,00	3,49
73.038	1,34	1,38	+0,04	3,10
73.045	1,21	1,87	+0,66	3,17

¹⁰ Dit resultaat is op basis van de standaard faalkansbegroting met 24% faalkansruimte voor piping. Dit resultaat wijkt dus af van de resultaten in de uiteindelijke berekeningen met 4% faalkansruimte.



6.2 Resultaten stabiliteitsberekeningen

6.2.1 Stabiliteitseis

De stabiliteitseis wordt bepaald door:

- Schadefactor;
- Modelfactor;
- Schematiseringsfactor.

De afleiding van de schadefactor is afhankelijk van de kans op optreden van de situatie met een verzadigde dijk, welke afhankelijk is van de kruinhoogte. De schadefactor verschilt dus per dijkvak. Dit is anders dan voor de situatie waarin de onverzadigde dijk maatgevend is. In dat geval is de schadefactor slechts afhankelijk van de faalkanseis bij doorsnede.

De modelfactor is conform de NvU [ref 1]. De schematiseringsfactor is afgeleid voor de situatie dat de onverzadigde dijk maatgevend is, i.e. bij de standaard faalkansbegroting (zie ook paragrafen 3.1.2 en 3.1.3), en is afgerond 1,10 (afleiding is terug te vinden in Bijlage 6-II). Bij wijziging van de faalkansbegroting is de schematiseringsfactor niet opnieuw afgeleid, maar is de factor naar boven aangepast tot 1,15. De resulterende stabiliteitseisen volgen uit het product van de modelfactor, de schadefactor en de schematiseringsfactor en zijn weergegeven onder de kolom 'SF eis' van Tabel 18.

6.2.2 D-Geo Stability

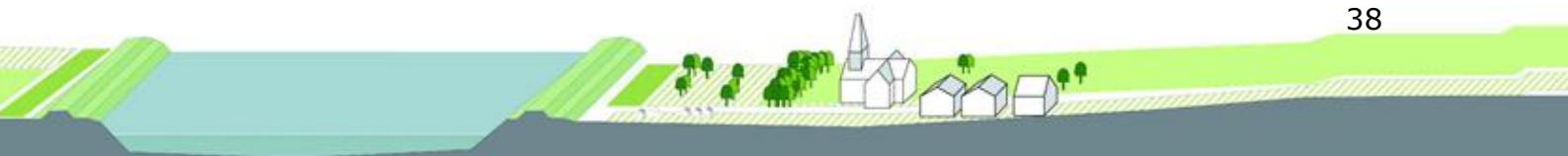
De berekeningen voor macrostabiliteit zijn uitgevoerd met D-Geo Stability 18.1.

Het resultaat is uitgedrukt in de geometrie, zoals vastgelegd in Tabel 18. Zoals vermeld in paragraaf 3.1.2 zijn de sommen voor buitenwaartse macrostabiliteit niet opnieuw gedaan na aanpassing van de faalkansbegroting. De resultaten hiervan horen dus bij de situatie met een onverzadigde dijk, getuige ook de hoge eisen en resultaten van de safety factoren.

De ondergrond is per dijkvak geschematiseerd op basis van lokaal grondonderzoek. De ondergrondschematisatie en de resulterende glijcirkels zijn vastgelegd in Bijlage 6-I en IV.

Opvallend is het resultaat voor de berekening STBU van dijkvak 4. De lage veiligheidsfactor is het gevolg van een laag voorland. De veiligheidsfactoren voor dijkvak 7 zijn zo hoog, door het hoge voor- en achterland, oftewel het kleine verval over de waterkering.

De overige dijkvakken zijn vergelijkbaar in geometrie, wat terug te zien is in het resultaat.



Tabel 18: Resultaat van de berekeningen op macrostabiliteit

Dijkvak	Type berekening	Type versterking	SF eis	SF berekend	SF incl. bovenbelasting
1	STBI, verzadigd	1:3 + scherm	0,85	0,90	0,87
	STBU, onverzadigd	1:3	1,04	1,45	
2	STBI, verzadigd	1:3 + scherm	0,85	0,99	
	STBU, onverzadigd	1:3	1,04	1,26	
3	STBI, verzadigd	1:3 + scherm	0,87	0,96	
	STBU, onverzadigd	1:3	1,04	1,31	
4	STBI, verzadigd	1:3 + scherm	0,85	0,87	
	STBU, onverzadigd	1:3	1,04	1,09	1,09
5	STBI, verzadigd	1:3 + scherm	0,85	0,88	0,87
	STBU, onverzadigd	1:3	1,04	1,33	
6	STBI, verzadigd	1:3 + scherm	0,84	0,91	
	STBU, onverzadigd	1:3	1,04	1,41	
7	STBI, verzadigd	1:3	0,87	1,38	
	STBU, onverzadigd	1:3	1,04	1,63	
8	STBI, verzadigd	1:3 + scherm	0,83	0,97	0,84
	STBU, onverzadigd	1:3	1,04	1,34	
9	STBI, verzadigd	1:3 + scherm	0,83	0,92	
	STBU, onverzadigd	1:3	1,04	1,13	
10	STBI, verzadigd	1:3 + scherm	0,83	0,90	0,85
	STBU, onverzadigd	1:3	1,04	1,17	
11	STBI, verzadigd	1:3 + scherm	0,83	1,03	
	STBU, onverzadigd	1:3	1,04	1,42	

In Beesel is de kering geen onderdeel van de evacuatieroute. Niettemin is het wenselijk om tijdens maatgevende condities verkeer toe te laten op de kering, zodat in ieder geval de beheerder de dijk op kan. Uit gevoeligheidsberekeningen met een geschematiseerde verkeersbelasting als een extra bovenbelasting van 13 kN/m² over een breedte van 2,5 m blijkt dat het effect van de verkeersbelasting op de stabiliteit nihil is. Daarom is slechts voor de gevallen waar de dik maar net voldoet aan de eis, ook een berekening met bovenbelasting gedaan. De resulterende glijcirkels zijn opgenomen in bijlage 6-V.

6.2.3 Toets stabiliteitsschermen

In Plaxis zijn voor twee maatgevende doorsneden (dijkvakken 1 en 6) de stabiliteitsschermen getoetst voor een levensduur van 100 jaar. De verhouding tussen lengte scherm en dikte cohesief pakket is maatgevend. Bij deze toetsing is uitgegaan van een diepte van tweemaal het verval vanaf maaiveld¹¹. Voor de meest maatgevende doorsnede blijkt de lengte niet afdoende en moet het

¹¹ In een later stadium zijn vanuit heave-oogpunt alle schermen nog een meter verlengd (zie par. 5.4).



scherm voor stabiliteit met 1,6 m verlengd worden. De andere maatgevende doorsnede is wel stabiel. Uit de toets volgt de vuistregel dat de schermen stabiel zijn wanneer de lengte in het zandpakket tweemaal de lengte in het cohesief pakket is.¹² Hieruit volgt dat ook in dijkvakken 4 en 8 de schermen verlengd moeten worden (zie Tabel 14). De berekening en bijgaande uitgangspunten zijn terug te vinden in Bijlage 7.

6.3 Niet waterkerende objecten

Omwillen van de niet waterkerende objecten (NWO's) is de stabiliteitszone berekend in D-Geo Stability en is in Plaxis getoetst wat het effect is van eventuele ontgrondingskuilen door erosiekraters of omgevallen bomen op de schermen. In Tabel 19 staan de stabiliteitszones per dijkvak. Dit betreft de zone gemeten vanaf de teen van de waterkering. De stabiliteitszone is de zone die gehandhaafd moet blijven om stabiliteit van de waterkering te garanderen, en die niet aangetast kan worden door een eventuele ontgrondingskuil. In onderstaande paragrafen is toegelicht hoe deze zones bepaald zijn.

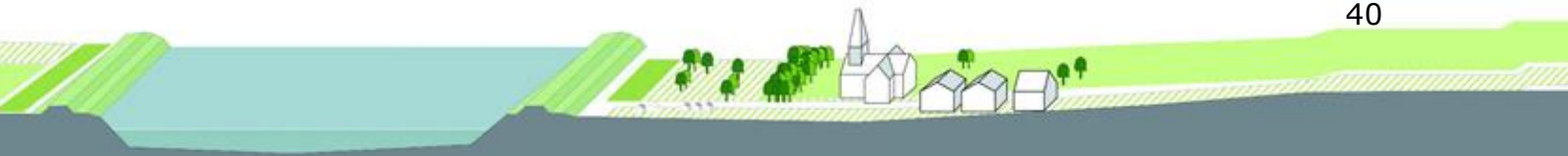
Tabel 19 Stabiliteitszones per dijkvak

Dijkvak	Binnenwaarts [m]	Buitenwaarts [m]
Dijkvak 1	Uiteinde kernzone door stabiliteitsscherm	5,7
Dijkvak 2	Uiteinde kernzone door stabiliteitsscherm	5,7
Dijkvak 3	Uiteinde kernzone door stabiliteitsscherm	5,7
Dijkvak 4	Uiteinde kernzone door stabiliteitsscherm	5,7
Dijkvak 5	Uiteinde kernzone door stabiliteitsscherm	5,7
Dijkvak 6	Uiteinde kernzone door stabiliteitsscherm	5,7
Dijkvak 7	Niet bepaald; geen NWO's	5,7
Dijkvak 8	Uiteinde kernzone door stabiliteitsscherm	5,7
Dijkvak 9	Uiteinde kernzone door stabiliteitsscherm	5,7
Dijkvak 10	Uiteinde kernzone door stabiliteitsscherm	5,7
Dijkvak 11	Uiteinde kernzone door stabiliteitsscherm	5,7

6.3.1 NWO's buitendijks

De stabiliteitszone buitendijks is voor een maatgevend profiel afgeleid met behulp van D-Geo Stability. Dit is gedaan door te berekenen op welke afstand van de waterkering een ontgrondingskuil nog impact op de veiligheidseis van de kritieke glijcirkel heeft. De methodiek, de uitgangspunten, berekeningen en resultaat hiervan zijn terug te vinden in Bijlage 6. Deze berekeningen zijn gedaan op basis van de standaard faalkansbegroting.

¹² De berekeningen zijn gedaan voor de aanpassing van de faalkansbegroting (zie par. 3.1.2) en dus met een hogere kruin dan uiteindelijk in het ontwerp zit. Deze kruinhoogte heeft echter zeer beperkte invloed op de stabiliteit van damwanden, getuige de vuistregel waar de kruinhoogte niet als parameter in zit. Als er sprake is van invloed van een lagere kruin dan is deze gunstig ten opzichte van een hogere kruin. Om deze redenen in combinatie met het feit dat de stabiliteit van de damwanden zelf slechts in een beperkt aantal doorsneden maatgevend is voor de dimensionering, is besloten de berekeningen niet opnieuw uit te voeren voor de aangepaste faalkansbegroting.



De stabiliteitszone is vastgesteld op 5,7 m van de buitenteen. Dit betekent dat eventuele ontgrondingskuilen door NWO's daarbuiten moeten blijven om de stabiliteit van de waterkering te kunnen borgen.

6.3.2 NWO's binnendijks

De stabiliteitszone binnendijks is begrensd door de stabiliteitsschermen bij de binnenteen. In de Plaxisberekeningen is het opbarsten van het cohesieve pakket gemodelleerd door deze te verwijderen (zie Bijlage 7). Dit pakket is in de berekende doorsneden 1,3 en 2,1 m dik. De erosiekraters van langsliggende kabels en leidingen (in dijkvak 2) zijn maximaal 1,4 m diep en bedreigen zodoende de stabiliteit niet. Voor zeer grote bomen (stamdiameter > 120 cm) is de ontgrondingskuil eveneens 1,4 m diep (zie tabel 25-3 uit ref 6). Voor bomen geldt bovendien dat de ontgroning ervan niet de klei-inkassing dient aan te tasten. Hoe de afstand tot de klei-inkassing bepaald wordt, staat in par. 6.3.3.

6.3.3 Bomen

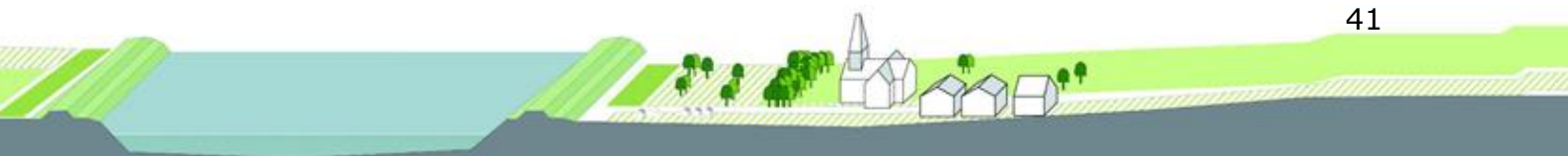
De grootte van de ontgrondingskuil van bomen hangt af van de stamdiameter. Hierbij is uitgegaan van tabel 25-3 uit ref 6 (hierbij uitgaande van een grondwaterstand die hoger ligt dan een halve meter onder maaiveldniveau). Bomen die dichter dan de straal van de ontgrondingskuil van de stabiliteitszone liggen dienen - vanuit stabiliteitsoogpunt - verwijderd te worden.

Nota bene: de schaduwwerking van bomen (en andere houtige beplanting) nabij de dijk is niet beschouwd. Schaduwwerking heeft effect op de kwaliteit van de grasbekleding en daarmee op de erosiebestendigheid en dus sterkte van de dijk. Dit geldt vanzelfsprekend ook binnenwaarts. Om dit te voorkomen, zou naar verwachting plaatselijk een bredere zone toegepast kunnen worden waarbinnen bomen gekapt moeten worden. Het alternatief is een grotere beheerinspanning accepteren.

6.3.4 Kabels en leidingen

De impact van alle kabels en leidingen op dijkvakken 1 tot en met 7 is beschouwd. Het resultaat van deze analyse is opgenomen in Bijlage 11. Hieruit blijkt dat nergens een vervangende waterkering nodig is ten behoeve van kabels en leidingen:

- Ter hoogte van de grens tussen dijkvak 1 en 2 wordt de kering gekruist met kabels en leidingen middels een HDD-boring. De nieuwe ligging van de kabels en leidingen dient getoetst te worden op terugschrijdende erosie;
- De stabiliteitsschermen in dijkvak 2 borgen de stabiliteit van de kering bij falen van de parallel liggende waterleiding;
- Enkele kabels en leidingen in dijkvak 2 liggen te dicht tegen de dijk aan en dienen verlegd te worden naar de overzijde van de weg;



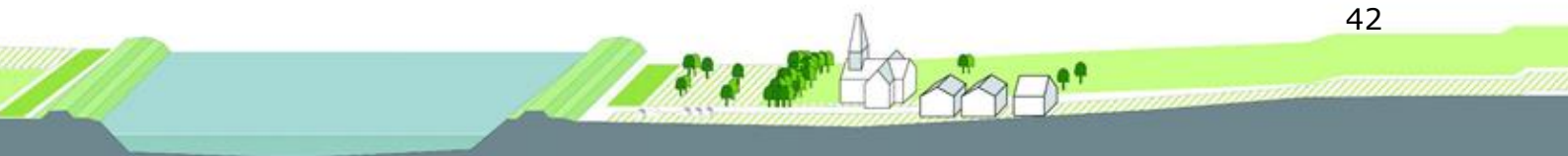
- De aannemer dient bij dijkpaal 73.038 het vrijverval riool naar de Maas conform NEN3651 op te nemen;
- De kabels en leidingen die met hun huidige ligging binnen de kernzone van de dijk liggen in dijkvak 5 worden met een HDD-boring dieper aangelegd en onder de beek door geleid;
- Ter plaatse van de aansluiting bij hoge grond bij dijkvak 6 is maatwerk nodig maar is ook geen vervangende waterkering noodzakelijk.
- Ter plaatse van de aansluiting op hoge grond bij dijkvak 8 worden een waterleiding, vrijverval rioolring, gas lagedrukleiding en een middenspanningkabel gekruist. Hier is geen vervangende waterkering nodig, wel een kwelscherm.
-

Tabel 20 toont een overzicht van de maatregelen voor kabels en leidingen. De informatie is gebaseerd op de KLIC-melding van mei 2018 en eventueel geactualiseerd met de informatie uit de proefsleuven verricht door Terra Carta, november 2018. De laatste kolom correspondeert met het overzicht van kabels en leidingen in Bijlage 11.

Tabel 20: Overzicht maatregelen ten behoeve van kabels en leidingen

Dijkvak	Type leiding	Maatregel	Id-nr. in Bijlage 11
1,2	Gas hoge druk, 8 bar, id=89 mm, ed=93 mm, ST X-TRUCOAT, Enexis 1980 Persriool, onbekende druk, ed=63 mm, PE, onbekende beheerder ¹³ Water, onbekende druk, id=120 mm, NGIJ NAT, WML 2014 Laagspanning, d=52 mm, Enexis	HDD-boring	3, 4, n.v.t., 5
2	Water, onbekende druk, id=100 mm, ed=125 mm, AC, WML 1988 Persriool, onbekende druk, ed=63 mm, PE, Gemeente Beesel Laagspanning, onbekende afmeting, Enexis	Verlegging over ca 250 naar overzijde weg	10, ?, 12
4	Vrijverval riool, onbekende druk, id=700 mm, beton, Gemeente Beesel 1984-2001	Herstellen conform NEN3651	13
5	Persriool, onbekende druk, onbekende afmeting, onbekend materiaal, Gemeente Beesel 1800	Verlegging over ca 350 m en HDD-boring	14
5	Gas hoge druk, 8 bar, id=108 mm, ST X-TRUCOAT, Enexis 1979	HDD-boring	15, 16

¹³ Deze leiding is naar voren gekomen bij het graven van proefsleuven, maar zat niet in de KLIC-melding. Het is niet zeker of deze ook daadwerkelijk helemaal doorloopt tot aan de kruising met de nieuwe kering.



	Laagspanning, Enexis		
6	Gas hoge druk, 8 bar, id=108 mm, ST X-TRUCOAT, Enexis 1979 Vrijverval riool, onbekende afmeting, onbekend materiaal, Gemeente Beesel 1800	Maatwerk zonder vervangende waterkering	17, 18
8	Gas lage druk, 1 bar, id=60,3 mm, staal, Enexis Vrijverval riool, id=400mm, Gemeente Beesel Water, 4 bar, id=100mm, asbestcement, WML Middenspanning, Enexis	Kwelscherm t.p.v. kruising	19, 20, 21, 22

6.3.5 NWO's binnen kernzone

De huidige NWO's binnen de kernzone waarvan de impact van falen klein is, zoals dijkpaalborden, banken, trappen etc. zijn niet expliciet beschouwd. Uitgangspunt hierbij is dat deze NWO's op dezelfde locatie teruggeplaatst worden.

6.4 Voorland

Er zijn drie (indirecte) faalmechanismen aangaande het voorland die indirect bijdragen aan het falen van een dijk: golfafslag (VLGA), afschuiven (VLAF) en zettingsvloeiing (VLZV). Dijkvakken 1 t/m 6 zijn op alle drie deze indirecte faalmechanismen gecontroleerd, voor de achterdeuren is de kans dat het voorland faalt op voorhand verwaarloosbaar.

VLGA en VLAF is gecontroleerd voor twee maatgevende dwarsdoorsneden in dijkvakken 2 en 3. Het resultaat hiervan is terug te vinden in Bijlage 10-I. Voor beide profielen blijkt geen maatregel nodig. Deze conclusie is overgenomen voor de overige dijkvakken.

Met betrekking tot zettingsvloeiing is eerst middels Stap E.1 van de eenvoudige toets voor VLZV [ref 6] per dijkvak gecontroleerd of zettingsvloeiing schadelijk is. Hierbij vielen dijkvak 5 en 6 af, aangezien het voorland hier dusdanig groot is dat zettingsvloeiing niet schadelijk is, mocht het optreden. Voor dijkvakken 2, 3 en 4 is vervolgens een nadere analyse gedaan met aanvullend onderzoek, terug te vinden in Bijlage 10-II. Hieruit is gebleken dat het dijkontwerp zonder maatregelen tegen zettingsvloeiing aan de norm voldoet. Voor dijkvak 1 geldt door diens haakse oriëntatie dezelfde conclusie als voor dijkvak 2.

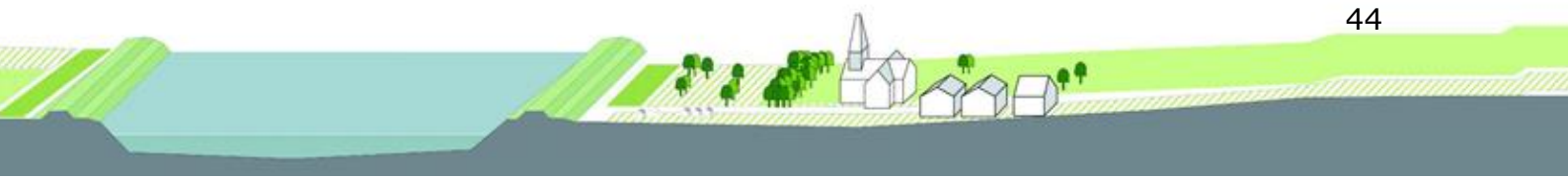
Tabel 21 geeft een overzicht van de conclusies aangaande het voorland. In de blauwe kolommen zijn de directe faalmechanismen opgenomen die gebruik kunnen maken van het voorland en waar het falen van het voorland dus mogelijk impact op heeft. In de cellen staat de benodigde breedte van het voorland voor elk faalmechanisme. In de oranje kolommen staan de conclusies aangaande de mechanismes van het voorland met daarbij de potentiële



voorlandbreedtereductie. De eerste groene kolom geeft vervolgens de aanwezige breedte van het voorland weer. Zolang deze waarde groter is dan de som van de oranje kolommen en de hoogste waarde in de blauwe kolommen, is het voorland breed genoeg.

Tabel 21: benodigde en aanwezige breedte voorland

Dijkvak	STPH (piping)	STBU (macrostabiliteit buitenwaarts)	VLGA (golfafslag voorland)	VLAF (afschuiven voorland)	VLZV (zettingsvloeiing voorland)	Aanwezige breedte	Voorland voldoet?
1	0 m	5,7 m	0 m voorland voldoende laag	0 m risico op falen door afschuiven voldoende klein	0 m risico op falen door zettingsvloeiing voldoende klein	>100 m	ja
2	0 m	5,7 m	0 m voorland voldoende laag	0 m risico op falen door afschuiven voldoende klein	0 m risico op falen door zettingsvloeiing voldoende klein	8 m	ja
3	0 m	5,7 m	0 m voorland voldoende laag	0 m risico op falen door afschuiven voldoende klein	0 m niet gevoelig voor zettingsvloeiing	5,9 m	ja
4	0 m	5,7 m	0 m voorland voldoende laag	0 m afschuiven niet mogelijk bij huidige steilheid taluds	0 m niet gevoelig voor zettingsvloeiing	> 28 m	ja
5	0 m	5,7 m	<25 m	0 m afschuiven niet mogelijk bij huidige steilheid taluds	ca 56 m optreden zettingsvloeiing schadelijk bij voorland < 56 m	> 110 m	ja
6	0 m	5,7 m	0 m voorland voldoende laag	0 m afschuiven niet mogelijk bij huidige steilheid taluds	ca 63 m optreden zettingsvloeiing schadelijk bij voorland < 63 m	Ca 340 m	ja



6.5 Microstabiliteit en grasbekleding afschuiven binnentalud

Het dijkontwerp is getoetst op microstabiliteit en afschuiven van grasbekleding ter plaatse van het binnentalud met behulp van de rekenregels in bijlage D van de Schematiseringshandleiding Grasbekleding [ref 10]. Hierbij is uitgegaan van een freatisch vlak ter plaatse van de binnenteen gelijk aan de waterstand bij norm. Het ontwerp voldoet wanneer de bekleding niet opdrukt of afschuift. Er is ook gecontroleerd op uitspoeling, maar dit is slechts ter kennisgeving.

Uitspoelen kan pas optreden wanneer er reeds sprake is van scheuren of gaten in de bekleding. De resultaten van deze toetsing zijn opgenomen in Tabel 22 en Bijlage 8. Voor bespreking van de resultaten zie paragraaf 5.6.3.

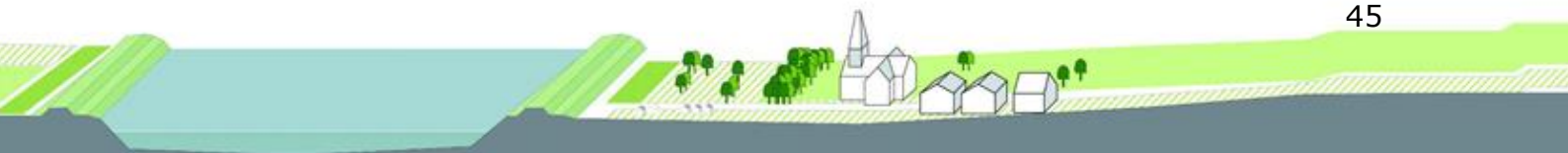
Tabel 22: resultaten STMI GABI

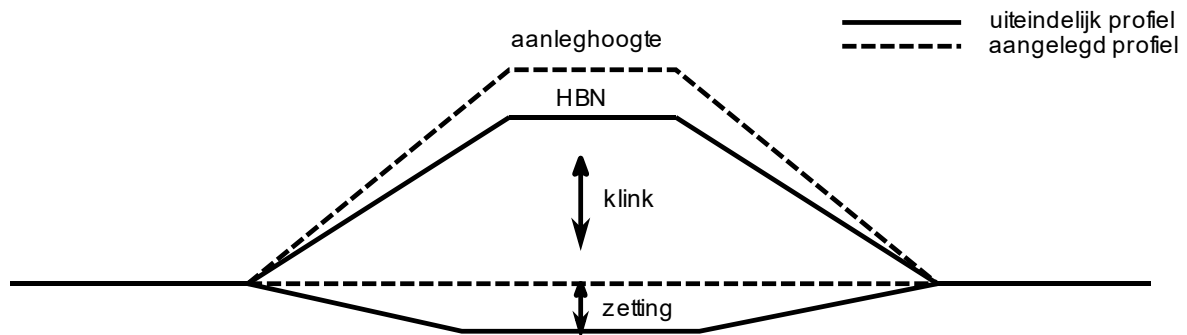
Dijkvak	Profiel	SF opdrukken [-]	SF uitspoelen [-]	SF afschuiven [-]	Voldoet?	Extra dikte [m]
1	73.030+080	9,00	10,0	4,06	Voldoet	-
1	73.030+080(2)	1,61	0,9	1,99	Voldoet	-
2	73.031	1,57	0,9	1,97	Voldoet	-
2	73.032	1,61	0,9	1,99	Voldoet	-
2	73.033	1,57	0,9	1,97	Voldoet	-
2	73.034	1,46	0,7	1,93	Voldoet	-
3	73.035	1,07	0,4	1,74	Voldoet	-
3	73.036	0,87	0,3	1,62	Voldoet niet	0,26
3	73.037	1,07	0,4	1,74	Voldoet	-
4	73.038	1,00	0,4	1,70	Voldoet niet	0,01
5	73.039	1,48	0,8	1,93	Voldoet	-
5	73.040	1,96	1,6	2,12	Voldoet	-
5	73.041	1,10	0,4	1,75	Voldoet	-
5	73.042	1,48	0,8	1,93	Voldoet	-
5	73.043	0,99	0,4	1,69	Voldoet niet	0,05
5	73.044	1,07	0,4	1,74	Voldoet	-
6	73.045	0,95	0,4	1,68	Voldoet niet	0,10
7	73.017nw+040	11,48	10,0	4,56	Voldoet	-
8	73.066nw+050	1,93	1,5	2,12	Voldoet	-
9	73.067nw	1,34	0,6	1,87	Voldoet	-
10	73.068nw	1,93	1,5	2,12	Voldoet	-
10	73.069nw	2,25	3,0	2,24	Voldoet	-
11	73.069nw+050	2,71	199,5	2,40	Voldoet	-

6.6 Zetting en klink

Voor de dijken dient rekeningen gehouden te worden met klink van het ophoogmateriaal (percentage van de aangebrachte ophoging) en deze te vermeerderen met zettingen in de ondergrond. De zettingen in de ondergrond zijn voor drie verschillende bodemtipes bepaald (zie Bijlage 9).

De aanleghoogte is HBN + zetting + klink (Figuur 11).





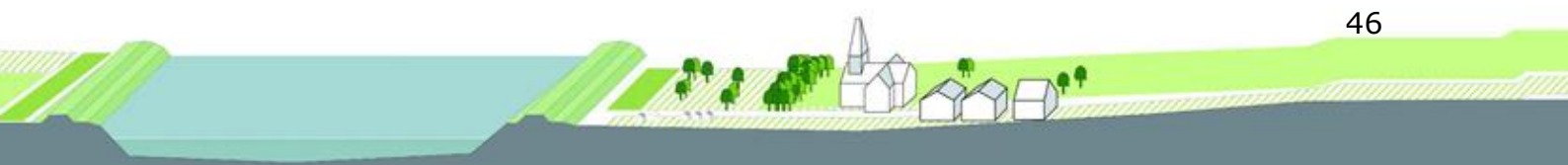
Figuur 11: Verschil tussen aanleghoogte en dijkhoogte

6.6.1 Restzetting

De consolidatie zal naar verwachting tijdens de uitvoering plaatsvinden. De te verwachten zetting na de uitvoeringsperiode komt globaal overeen met de secundaire zetting vanaf dag 100 tot en met dag 10.000. Uit Bijlage 9 blijkt dat de zettingen in het gebied niet groter zijn dan 0,2 m. Een restzetting van 0,05 m na 100 dagen uitvoeringsperiode is een veilige bovengrens blijkt uit het tijdzettingsverloop.

6.6.2 Klink

Klink van de nieuwe dijkbekleding is wel aan de orde, hiervoor wordt uitgegaan van 0,1 m, wat ter plaatse van de buitenkruinlijn neerkomt op een inklinkingspercentage van 10%. Dit is een conservatief uitgaande van het aanbrengen van natte klei, zie paragraaf 8.1.7.



7 Kunstwerken

In Tabel 23 staan de kunstwerken binnen het dijktraject weergegeven. Per kunstwerk is een korte beschrijving gegeven en is aangegeven of er voor het betreffende kunstwerk een ontwerp is opgenomen.

Tabel 23 Kunstwerken

Locatie	Beschrijving	Opmerking	Bijlage of referentie
Dijkvakken 1 t/m 6	Damwand AZ18/700 nabij binnenteen	Diepte heavescherm op basis van $\Delta H \cdot 2 + 1,0$ m, fungeert ook als stabiliteitsscherm	Bijlage 4 Bijlage 6 Bijlage 7 Bijlage 13
73.038	Kruising stortrioolleiding tpv bergbezinkbassin met pomplocatie en put	Geen ontwerp voor opgenomen; huidige situatie dient volgens NEN3651 teruggebracht te worden	NEN3651
Dijkvak 6	Duiker door dijk (uitstroom)	Zie hieronder	Zie hieronder
Dijkvak 9	Duiker door dijk (instroom)	Zie hieronder	Zie hieronder

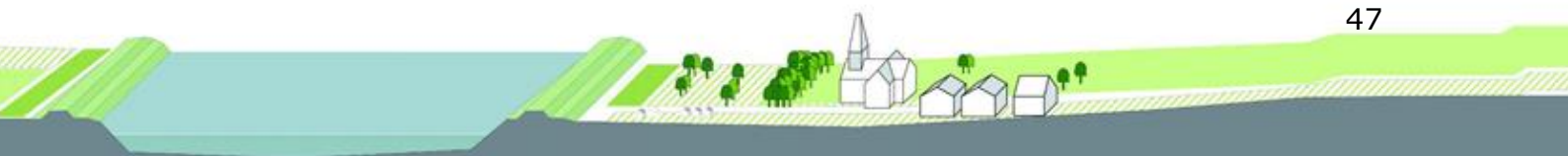
Voor de beekoversteek ter plaatse van dijkvakken 6 en 9 wordt in beginsel uitgegaan van het principe-ontwerp van de duiker door dijk die is opgesteld vanuit beheer (zie Bijlage 12). Daarnaast dient het ontwerp te voldoen aan de eisen van beekbeheer aangaande op- en afritten om het kunstwerk te kruisen.

Onderstaande tabel toont de afvoer voor de Huilbeek. Op basis van eerste berekeningen en uitgaande van een ronde duiker met een lengte van 20 tot 30 m is een diameter van 0,80 m voldoende voor deze afvoer. Er dient dan wel een bodem/oeverbescherming aan de benedenstroomse zijde te worden aangebracht om erosie bij hoge afvoeren (vanaf $T=10$) te voorkomen.

Tabel 24: Afvoer Huilbeek

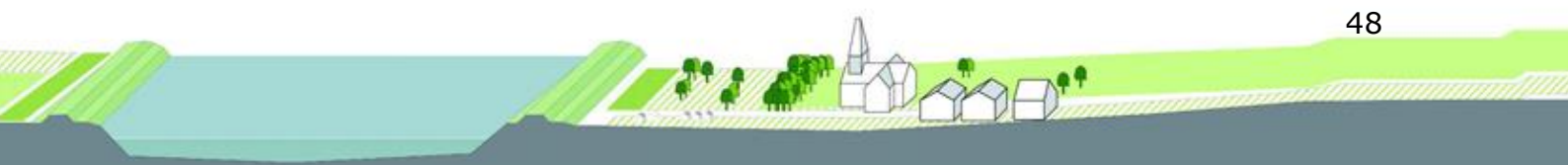
afvoersituatie	overschrijding afvoer in dagen per jaar	onderschrijding afvoer in dagen per jaar	% van de jaarlijkse piekafvoer	afvoer in m ³ /s
Basisafvoer	330 dagen per jaar	35 dagen per jaar	5	0,010
Zomerafvoer	200 dagen per jaar	165 dagen per jaar	20	0,041
Voorjaarsafvoer	100 dagen per jaar	265 dagen per jaar	30	0,062
winterafvoer	15 dagen per jaar	340 dagen per jaar	50	0,103
maatgevende afvoer	1 dag per jaar	nvt	100	0,206
T=10	1x per 10 jaar	nvt	175	0,361
T=25	1x per 25 jaar	nvt	200	0,412
T=50	1x per 50 jaar	nvt	220	0,453
T=100	1x per 100 jaar	nvt	250	0,515

Vanuit Waterschap Limburg worden ontwerprandvoorwaarden voor vismigreerbaarheid aangeleverd die met de eisen vanuit beheer worden meegeleverd met het contract voor de aannemer. In een latere fase dient dit



kunstwerk nader ontworpen te worden met inbegrip van (of bewuste afweging tussen) alle eisen met betrekking tot vismigreerbaarheid en beheer. De eisen vanuit hoogwaterbescherming gelden hierin als uitgangspunten, met als belangrijke onderdelen de ontwerplevensduur van 100 jaar (zichtjaar 2125) en de aanwezigheid van twee afsluiters die voldoen op het beoordelingsspoor betrouwbaarheid sluiten conform OI2014v4. Aangezien een terugslagklep moeilijk te combineren is met vismigreerbaarheid dient dus goed nagedacht te worden over het type afsluiter en de wijze van bediening.

Het principe-ontwerp vanuit (dijk)beheer met inbegrip van op- en afritten die voldoen aan de eisen van beekbeheer geldt als optie met maximaal ruimtebeslag. Dit is nu opgenomen in het ontwerp om te borgen dat voor latere optimalisatie genoeg ruimte gereserveerd is.



8 Aandachtspunten voor realisatie

In het navolgende zijn aandachtspunten voor de uitvoering gegeven. Benadrukt wordt dat het geen uitputtende lijst betreft, maar louter de meest belangrijke zaken voor de aanleg van de waterkeringen. Het uitvoeringsplan is mede gebaseerd op deze aandachtspunten.

8.1 Eisen aan uitvoering

8.1.1 Aanbrengen dijken en bermen

Het aanbrengen van de piping-/steunbermen bestaat uit de volgende hoofdonderdelen:

- Maaien + afvoeren maaisel en frezen ondergrond met spitfrees;
- Aanbrengen ophoogmateriaal dijken en steunbermen;
- Afwerken dijkprofiel en inzaaien.

Het vochtgehalte bij verwerking dient:

- Voor de kleilaag op de taluds te voldoen aan $0,75 < I_c < 0,90$;
- Voor de klei in de kern te voldoen aan $0,60 < I_c < 0,90$;
- Voor het zand in de kern gelijk aan veldvochtig te zijn (20% tot 30%).

Het tijdelijke ruimtebeslag benodigd voor het aanbrengen van de dijk dient met het waterschap afgestemd te worden.

8.1.2 Klei-inkassing ten behoeve van teen dijk

De klei-inkassing van de teen van de dijk dient tot 1,05 m beneden huidig maaiveld te worden aangebracht. Na aanbrengen van de laag slecht doorlatende klei van 0,75 m dik dient een leeflaag van 0,3 m te worden aangebracht. Structuurbederf moet voorkomen worden door groundbewerkingstechnieken af te stemmen op weersgesteldheid en toekomstig grondgebruik.

8.1.3 Verdichting zand in kern

Het zand in de dijk dient te worden verdicht conform artikel 22.02.06 van de standaard RAW2005, namelijk minimaal 93% van de proctordichtheid en gemiddeld meer dan 98%.

8.1.4 Verdichting klei op talud

De klei dient te worden aangebracht volgens de eisen in het Technisch Rapport Klei voor Dijken (TAW, 1996). De belangrijkste eisen zijn:

- Laagsgewijs aanbrengen in lagen van 0,4 m en elke laag afzonderlijk verdichten met bijvoorbeeld een bulldozer;



- Klei mag niet in bevroren toestand worden verwerkt;
- Verdichting volgens artikel 22.02.21 van de standaard RAW2005, namelijk minimaal 97% van de proctordichtheid.
-

8.1.5 Beheer grasmat

Tijdens de onderhoudsperiode dient de grasmat op aanwijzing van het waterschap of een externe deskundige gehooid en beregend te worden met voedselarm water. Na het verstrijken van de onderhoudsperiode gaat het beheer over naar het waterschap, die normaliter natuurtechnisch beheer (2 x per jaar maaien en afvoeren) toepast op zijn dijken.

8.1.6 Beproeving tijdens uitvoering

Tijdens de uitvoering dienen conform artikel 22.03 van de standaard RAW2005 onderzoeken te worden uitgevoerd om een correcte verwerking en juiste kwaliteit van de aangevoerde grond in de dijk en steunberm aan te tonen. In het bijzonder wordt vermeld:

- Kern van de dijk:
 - sondering op de kruin van de dijk hart op hart 100 m, voordat het inspectiepad wordt aangebracht;
 - minimaal 10 triaxiaalproeven verspreid over het dijktracé (CD voor zandkern en CAU voor kleikern);
 - proctorproeven (éénpunts proctorproeven voor klei)
- Kleibekleding buitentalud: Atterbergse grenzen en gloeiverlies;
- Kleibekleding binnentalud: gloeiverlies en Aerometerproef.

De aannemer moet de onderzoeken in een werkplan vastleggen en ter goedkeuring aanbieden aan de opdrachtgever c.q. directie.

De certificaten van leveranties en analyseresultaten van proeven dienen gebundeld te worden aangeleverd door de aannemer in een kwaliteitscontrole rapportage.

8.1.7 Klink

In verband met klink dient de dijk met een overhoogte te worden afgewerkt, waarbij van het volgende uit kan worden gegaan bij een correcte uitvoering bij droog weer:

- klei 5% klink van de aangebrachte hoogte;
- zand 2% klink van de aangebrachte hoogte.

Bij uitvoering bij nat weer of met nat zand/natte klei zijn de hoeveelheden klink dikwijls tweemaal zo groot.

Er is "klinkruimte" van 15 cm uitgaande van 0,05 m restzetting en een aanleghoogte van HBN + 0,2 m. Dit volstaat, mits de dijk zandig is (bijvoorbeeld zandige Maasklei) en verdicht wordt. Van de aannemer wordt verlangd dat hierin in het kader van het E&C contract geoptimaliseerd wordt.

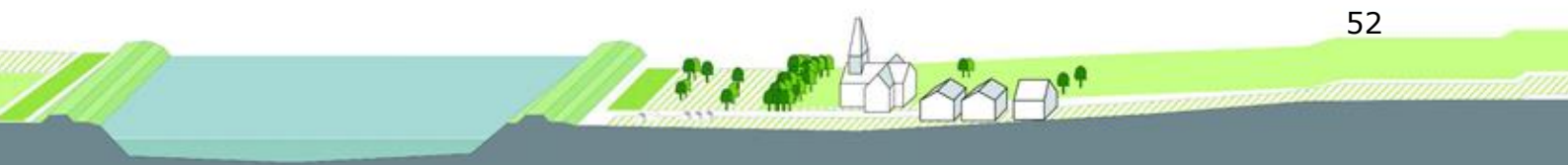


9 Referenties

- ref 1. IO.97.001 Nota van uitgangspunten planfase tranche 1, Ingenieursbureau Maasvallei (Arcadis en Witteveen+Bos), 7-09-2018, kenmerk: 9056
- ref 2. Piping parameters voor VO+ ontwerp, HWBP Noordelijke Maasvallei
- ref 3. CB.25.002 Resultaten geotechnisch onderzoek, Inpijn-Blokpoel
- ref 4. CB.25.003 Interpretatie geotechnisch onderzoek, Ingenieursbureau Maasvallei (Arcadis en Witteveen+Bos)
- ref 5. Overkoepelend memo werkprotocol piping, Ingenieursbureau Maasvallei (Arcadis en Witteveen+Bos), 01-03-2018
- ref 6. Regeling veiligheid primaire waterkering 2017, Bijlage III, Ministerie van Infrastructuur en Milieu
- ref 7. KPR factsheet werkwijze macrostabiliteit i.c.m. golfoverslag OI2014v4, De Visser en Jongejan, 08-03-2018, versie
- ref 8. Addendum I bij de Leidraad Rivieren, t.b.v. het ontwerp van rivierdijken, Ministerie van Verkeer en Waterstaat, ENW
- ref 9. Expertisenetwerk Waterveiligheid, ENW, Technisch Rapport Grondmechanisch Schematiseren bij Dijken, Oktober 2012
- ref 10. Schematiseringshandleiding grasbekleding, Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 1 december 2016
- ref 11. Technische Rapport Waterspanningen bij Dijken, TAW, september 2004
- ref 12. Ontwerpwijzer fietsverkeer, Stichting CROW, juni 2016
- ref 13. Advies voor te hanteren kritieke gradient en faalkansruimte bij heave bij kwelschermen (KPR-advies nr. 600), Kennisplatform Risicobenadering, september 2018



BIJLAGE 1 GEOTECHNISCH LENGTEPROFIEL



BIJLAGE 2 PROEVENVERZAMELING

Tabel 25: Proevenverzameling uit ref 4

Grondsoort [-]	Formatie	γ_{nat} [kN/m ³]	γ_{sat} [kN/m ³]	POP_{kar} [-]	m_{kar} [-]	S-ratio [-]	ϕ'_{CSSM} [°]	ψ [°]
Zand, dijk	antropogeen	19,5	20,5	-	-	-	30,8	0
Klei, dijk	antropogeen	19,7	20,2	-	-	-	30,8	0
Klei, zandig	Holoceen	19,7	20,2	-	-	-	30,8	0
Klei, siltig	Holoceen	18,1	18,6	11	0,89	0,24	-	-
Klei	Beegden	17 a 19	18 a 20	-	-	-	29,5	0
Lokale beekdalafzettingen (veen)	Holoceen	11,0	11,0	15	0,8	0,30	-	-
Lokale beekdalafzettingen (organische klei)	Holoceen	14,0	14,0	10	0,8	0,22	-	-
Zand, matig grof	Holoceen	18,0	20,0	-	-	-	32,0	0
Zand, matig fijn	Boxtel	17,0	19,0	-	-	-	28,3	0
Zand, grof / grind, fijn	Beegden	19,0	20,0	-	-	-	32,0	0

γ_{nat} = veldvochtig volumiek gewicht

γ_{sat} = verzadigd volumiek gewicht

S_{kar} = ongedraineerde schuifsterkte ratio, karakteristieke waarde

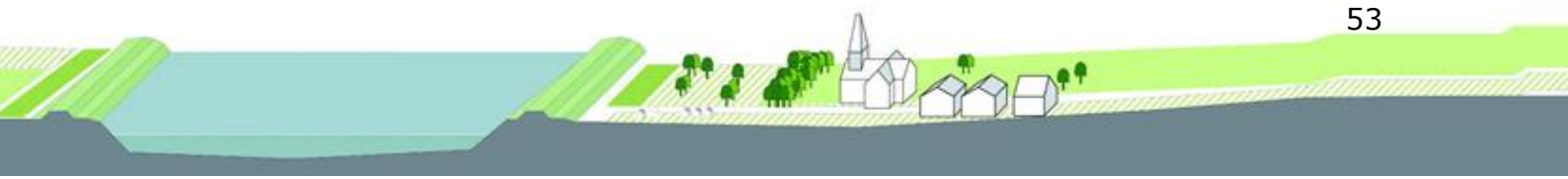
m_{kar} = sterkte toename exponent

POP_{kar} = overconsolidatie, karakteristieke waarde

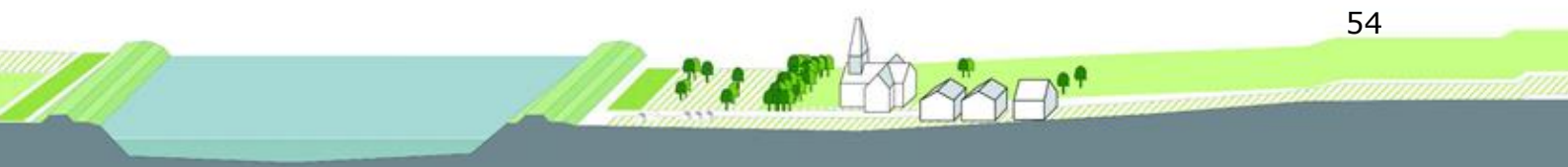
$\phi_{\text{cv};\text{kar}}$ = hoek van inwendige wrijving, constant volume (eindreik / critical state dus

$\psi = 0^\circ$) karakteristieke waarde

* de verwachting is dat de $\phi_{\text{cv};\text{kar}}$ van grindhoudend zand hoger is dan 32°



BIJLAGE 3 KRUINHOOGTE PER DIJKVAK



BIJLAGE 4 ANALYTISCHE BEREKENINGEN PIPING

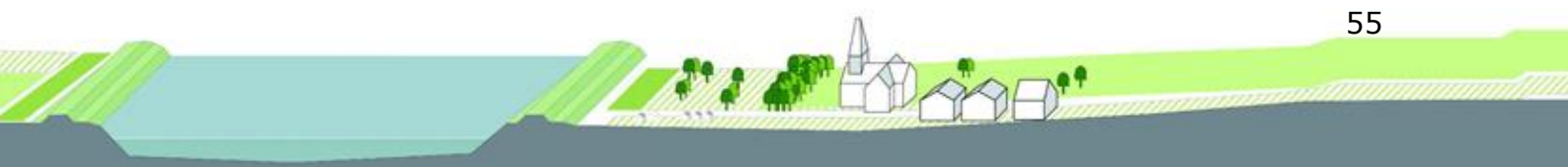
I. Analytische berekeningen

II. Bovenaanzicht

III. Doorsneden

IV. Geohydrologische impact van heaveschermen

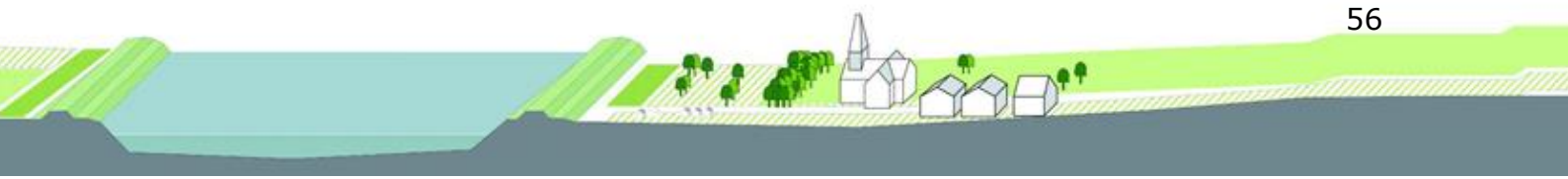
V. Lane bij terras Maashof



BIJLAGE 5 D-GEO FLOW-BEREKENINGEN

I. Doorlatendheid en korrelverdelingen

II. Memo D-Geo Flow ontwerploop 3

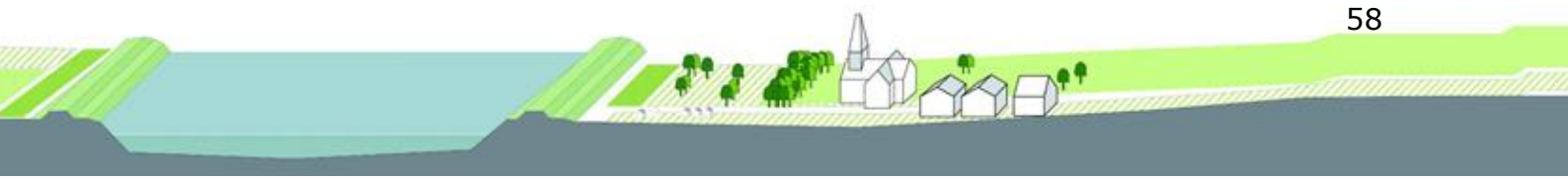


BIJLAGE 6 D-GEO STABILITY- BEREKENINGEN

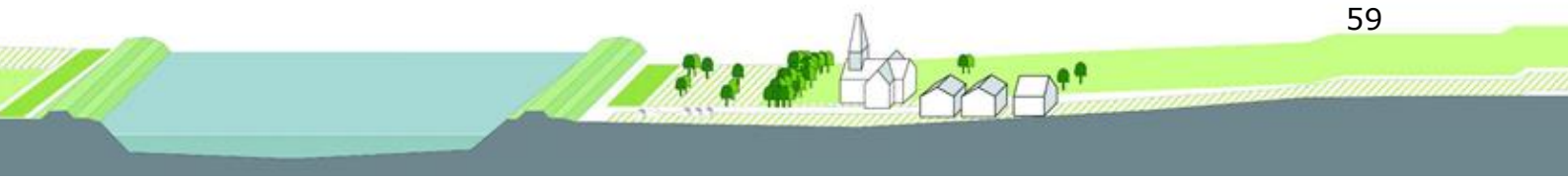
- I. Ondergrondschematisatie
- II. Schematiseringsfactor
- III. Verzadigde dijk
- IV. Glijcirkels
- V. Glijcirkels met bovenbelasting
- VI. Veiligheidszone NWOs buitenwaarts



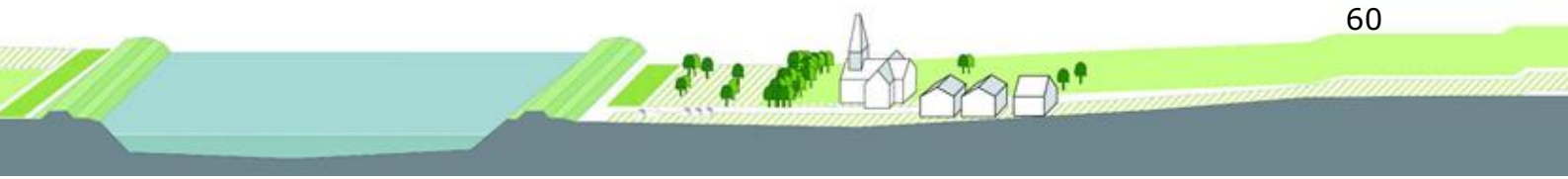
BIJLAGE 7 PLAXIS-BEREKENINGEN



BIJLAGE 8 STMI EN GABI-BEREKENINGEN



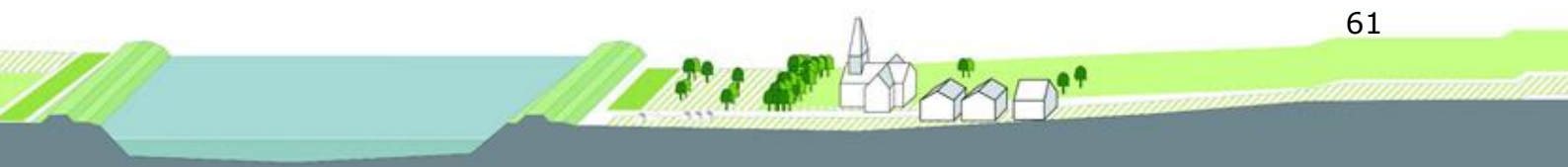
BIJLAGE 9 D-SETTLEMENT-BEREKENINGEN



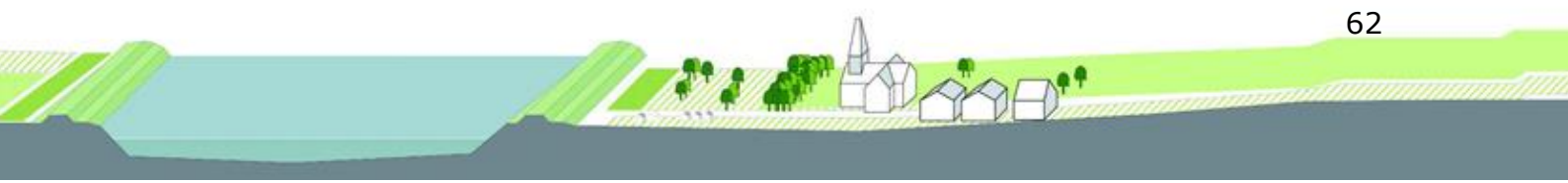
BIJLAGE 10 VOORLAND

I. Golfafslag en afschuiven

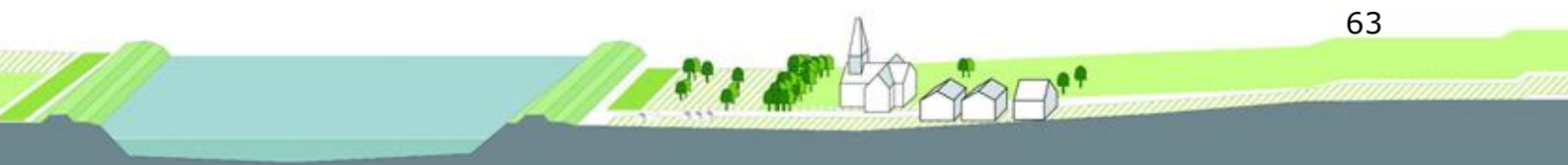
II. Zettingsvloeiing



BIJLAGE 11 KABELS EN LEIDINGEN



BIJLAGE 12 PRINCIPE ONTWERP DUIKER



BIJLAGE 13 ONTWERPTEKENING (DO)

- I. Bovenaanzicht
- II. Dwarsprofielen
- III. Dwarsprofielen

