

IO.100.001 Ontwerpnota planfase normtraject 78-1 Heel

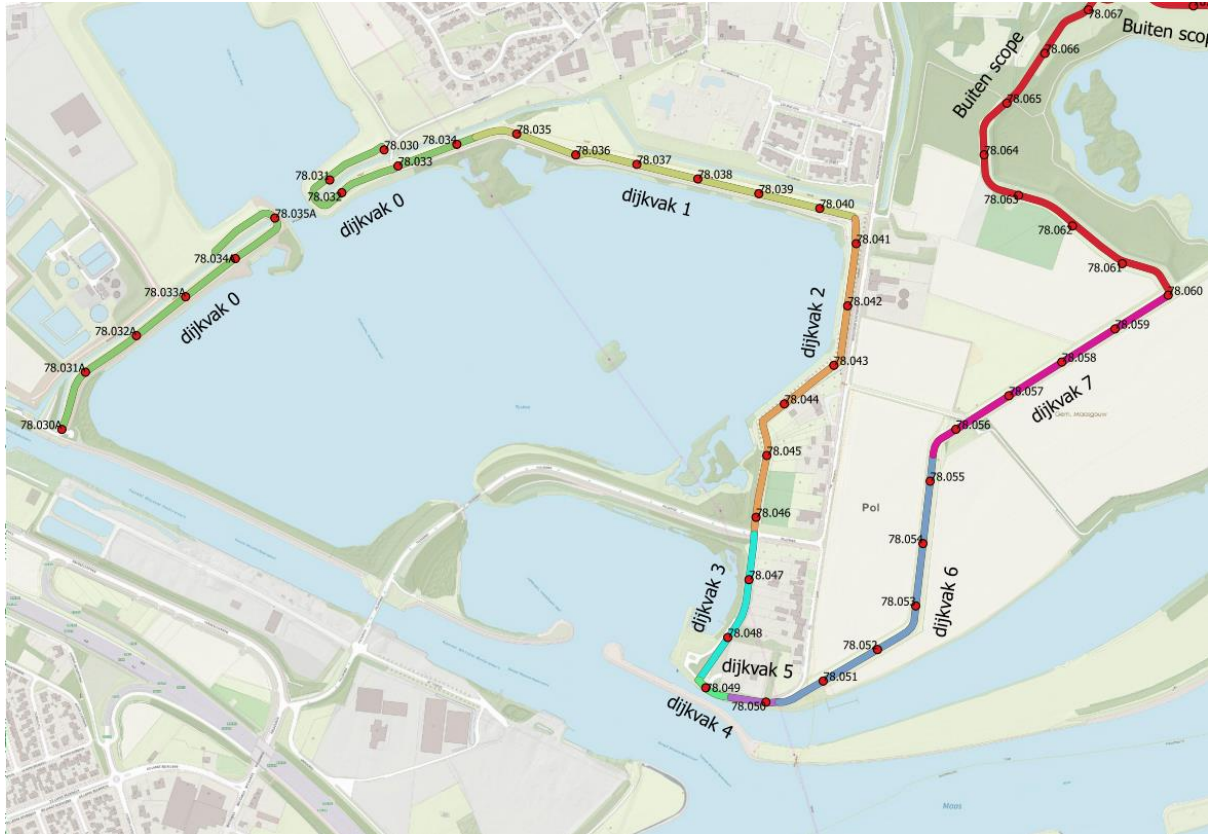
Hoogwaterbeschermingsprogramma Noordelijke Maasvallei

Datum: 15-10-2019
Kenmerk (SP): 12919
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 een deel van normtraject 78-1 Heel (dijkpaal 78.030A tot en met 78.060, zie Figuur 1).



Figuur 1 ligging normtraject 78-1 Heel

De primaire status van de waterkering tussen dijkpaal 78.030A en 78.034 vervalt. Dit betekent dat de waterkering binnen dit tracé geen functie meer heeft. De waterkering wordt deels vergraven en de aanwezige kunstwerken worden gedeeltelijk gesaneerd. Consequentie van het vervallen van de bescherming van de Sleybeek is dat er tussen de RWZI (78.032A) en het kanaal Wessem-Nederweert (78.030A) een regionale watergang ten behoeve van de afvoer van effluent gemaakt moet worden. De regionale watergang moet dusdanig hoog liggen dat de waterstand niet beïnvloed wordt door de buitenwaterstand op het kanaal tot maximaal de waterstand bij norm. Om deze reden wordt er voldoende hooggelegen grond aangelegd. Verder moet de Panheelderbeek kunnen lozen op het kanaal Wessem-Nederweert. Een basisafvoer van de Panheelderbeek blijft door het sifon onder het kanaal Wessem-Nederweert stromen. Het sifon bestaat uit 3 duikers, waarvan er twee permanent afgesloten worden. De derde sifonduiker dient hoogwaterveilig afgesloten te kunnen worden tijdens hoogwater om Thorn en Wessem droog te houden.

De waterkering vanaf dijkpaal 78.034 tot en met dijkpaal 78.060 wordt versterkt. Het principeontwerp van de waterkering is een groene dijk met een



kruin van 4,5 m breed en taluds van 1:3 of flauwer. De dijk wordt bekleed met een erosiebestendige kleilaag met grasbekleding. Op een groot aantal locaties zijn maatregelen voorzien om piping tegen te gaan. Ter plaatse van de huidige Sleybeek wordt een drainagemaatregel tegen piping toegepast in de vorm van een drainagesloot. Op deze drainagesloot wordt de bestaande riooloverstort aangesloten. Tevens wordt een wadi van een toekomstige woningbouwlocatie aangesloten op deze drainagesloot. Voor de doorspoeling komt ter plaatse van dijkpaal 78.035 een afsluitbare duiker door de waterkering voor het onder vrij verval inlaten van water vanuit de Polderveldplas.

Op alle andere locaties waar een pipingprobleem speelt, wordt een heavescherm toegepast. Tussen dijkpaal 78.041 en dijkpaal 78.046 fungeert het heavescherm tevens als stabiliteitsscherm. Tussen dijkpaal 78.040 en 78.042 wordt een bestorting ten behoeve van de stabiliteit van het voorland toegepast. Op deze locatie is een losgepakte zandlaag aangetroffen die zettingsvloeiingsgevoelig is. De bestorting voorkomt zettingsvloeiing.

Ten westen van dijkpaal 78.035 komt een nieuwe aansluiting op de hoge grond. Ter plaatse van deze aansluiting kruist de Wessemerweg de waterkering. Nabij de aansluiting op hoge grond komt een vervangende waterkering, omdat een persrioolleiding de waterkering kruist. Tussen dijkpaal 78.046 en 78.047 kruist de Polderweg de waterkering. Ter plaatse van dijkpaal 78.049 wordt de damwand in het buitentalud vervangen. De weg Pol ligt tussen dijkpaal 78.049 en 78.050 op de kruin van de waterkering. Nabij dijkpaal 78.056 kruist een landbouwweg de waterkering. De te versterken waterkering sluit ter plaatse van dijkpaal 78.060 aan op de bestaande primaire waterkering om het aanwezige retentiegebied.



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	Ontwerpprincipes vanuit ruimtelijke kwaliteit	11
2.3	Uitgangspunten ruimtelijk ingepast ontwerp	12
3	Technische randvoorwaarden en uitgangspunten.....	13
3.1	Nota van Uitgangspunten.....	13
3.1.1	Hydraulische Randvoorwaarden	13
3.1.2	Faalkansverdeling	13
3.1.3	Overslag.....	14
3.1.4	Waterspanningen	15
3.1.5	SE/KES.....	15
3.2	Geometrische uitgangspunten	15
3.2.1	Macrostabiliteit	16
3.2.2	Piping.....	16
3.2.3	Overige faalmechanismen.....	17
4	Geotechnische parameters	18
4.1	Verricht onderzoek	18
4.2	Grondmechanische schematisatie.....	19
4.3	Grondparameters	21
4.3.1	Doorlatendheid zandondergrond	21
4.3.2	D70 pipinggevoelige laag.....	22
4.3.3	Volumegewicht en sterkte	22
5	Ontwerp dijk	23
5.1	Kruinhoogte.....	23
5.1.1	Berekende zettingen.....	23
5.1.2	Aanleghoogte	23
5.2	Kruinbreedte.....	23
5.3	Verharding dijk kruin	24
5.4	Pipingmaatregelen	24



5.5	Stabiliteitsmaatregel	25
5.6	Samenstelling dijk	25
5.6.1	Kern	25
5.6.2	Bekleding buitentalud	25
5.6.3	Bekleding binnentalud.....	26
5.6.4	Grasmat	26
5.6.5	Klei-inkassing ten behoeve van teen dijk.....	27
5.7	Vooroeverbestorting	27
5.8	Op- en afritten	28
5.9	Aansluitingen waterkering	28
5.10	Vervallen waterkering Dijkvak 0	28
5.11	Ontwerpkeuzes.....	29
6	Geotechnische berekeningen	31
6.1	Resultaten pipingberekeningen	31
6.1.1	Schematiseringsfactor.....	31
6.1.2	Analytische rekenregel Sellmeijer	31
6.1.3	D-Geo Flow	32
6.2	Resultaten stabiliteitsberekeningen	33
6.2.1	Stabiliteitseis.....	33
6.2.2	D-Geo Stability	34
6.2.3	Toets stabiliteitsschermen	35
6.3	Niet waterkerende objecten.....	35
6.3.1	NWO's buitendijks	35
6.3.2	NWO's binnendijks	36
6.3.3	Bomen	36
6.3.4	Kabels en leidingen	36
6.3.5	NWO's binnen kernzone	37
6.4	Microstabiliteit en grasbekleding afschuiven binnentalud	37
6.5	Zetting en klink.....	37
6.5.1	Restzetting	38
6.5.2	Klink.....	38
7	Kunstwerken.....	38
7.1	Overzicht kunstwerken	38
7.2	Damwand Pol.....	39
8	Aandachtspunten voor realisatie.....	41
8.1	Eisen aan uitvoering	41



8.1.1	Aanbrengen dijken	41
8.1.2	Klei-inkassing ten behoeve van teen dijk.....	41
8.1.3	Verdichting zand in kern.....	41
8.1.4	Verdichting klei op talud en in kern	41
8.1.5	Beheer grasmat	42
8.1.6	Beproeving tijdens uitvoering	42
8.1.7	Klink	42
9	Referenties	44
Bijlage 1	Geotechnisch lengteprofiel.....	45
Bijlage 2	Proevenverzameling	46
Bijlage 3	Kruinhoogte per dijkvak	47
Bijlage 4	Analytische berekeningen piping.....	48
I.	Dwarsprofielen	48
II.	Schematiseringsfactor.....	48
III.	Resultaat analytische berekeningen.....	48
IV.	Type pipingmaatregel	48
V.	Geohydrologische impact van heaveschermen.....	48
VI.	Werking drainageoplossing	48
Bijlage 5	D-Geo Flow berekeningen.....	49
I.	Doorlatendheid en korrelverdelingen - Noordelijke Maasvallei.....	49
II.	Memo resultaat berekeningen D-Geo Flow.....	49
Bijlage 6	Macrostabieliteitsberekeningen	50
I.	Ondergrondschematisatie	50
II.	Schematiseringsfactor.....	50
III.	Gevoeligheden verzadigde dijk	50
IV.	Berekeningen per dijkvak UGT	50
V.	Berekeningen per dijkvak BGT.....	50
VI.	Bepaling stabiliteitszone	50
Bijlage 7	Plaxis-berekeningen	51
Bijlage 8	STMI en GABI berekeningen	52
Bijlage 9	Voorland.....	53
Bijlage 10	Kabels en leidingen.....	54
Bijlage 11	Berekening vervangende waterkering	55
Bijlage 12	Principe ontwerp inlaatduiker	56
Bijlage 13	Diameter inlaatduiker.....	57
Bijlage 14	Ontwerp damwand Pol	58



HWBP Noordelijke Maasvallei

Bijlage 15	Ontwerpnota Dijkvak 0 DT 78-1 Heel.....	59
Bijlage 16	Ontwerptekening (DO)	60



1 Inleiding

1.1 Projectbeschrijving

De waterkering binnen normtraject 78-1 Heel (dijkpaal 78.030A tot en met 78.060) wordt versterkt in het kader van het HWBP Noordelijke Maasvallei. De lengte van het totale normtraject conform bijlage A uit het OI2014v4 is 7,8 km [ref 12]. In opdracht van het waterschap is door Ingenieursbureau Maasvallei een ontwerpnota voor de dijkversterking opgesteld.

1.2 Object- en scopeomschrijving

Deze rapportage betreft de onderbouwing van het definitieve ontwerp (DO) ten behoeve van de versterking van de volgende dijkvakken binnen Heel, zie Tabel 1. In Tabel 1 zijn de dijkvakken gekoppeld aan de oude en nieuwe dijkpaalnummers. Een conversietabel van de oude en nieuwe dijkpaalnummers is opgenomen in Tabel 2. In de rest van deze rapportage is de oude dijkpaalnummering gehanteerd.

De primaire status van het huidige normtraject tussen dijkpaal 78.030A en 78.034 vervalt. Aangezien hier geen versterking noodzakelijk is, is dit deel van de waterkering opgenomen als dijkvak 0. Door het vervallen van de primaire status wordt de nieuwe lengte van het totale normtraject ongeveer 5,2 km. Hiervan wordt ongeveer 2,5 km versterkt.

Tabel 1: Dijkvakindeling Heel

Dijkvak	Dijkvaknaam	Oude Dijkpaalnummers	Nieuwe Dijkpaalnummers ¹	Lengte (m)
0	Dijkvak 0	78.030A - 78.034+50	n.v.t.	n.v.t.
1	Dijkvak 1	78.034+50 - 78.040+56	78.034nw - 78.040nw+56	650
2	Dijkvak 2	78.040+56 - 78.046+30	78.040nw+56 - 78.046nw+24	568
3	Dijkvak 3	78.046+30 - 78.048+83	78.046nw+24 - 78.048nw+80	256
4	Dijkvak 4	78.048+83 - 78.049+40	78.048nw+80 - 78.049nw+37	58
5	Dijkvak 5	78.049+40 - 78.050+19	78.049nw+37 - 78.050nw+14	76
6	Dijkvak 6	78.050+19 - 78.055+47	78.050nw+14 - 78.055nw+44	530
7	Dijkvak 7	78.055+47 - 78.060+20	78.055nw+44 - 78.060nw+20	480
			Lengte totaal	2631

Tabel 2: Conversietabel dijkpaalnummering

Nieuw Dijkpaalnummer	Oud Dijkpaalnummer + afstand [m]
78.034nw	78.034 + 50
78.035nw	78.034 + 95
78.036nw	78.035 + 98
78.037nw	78.037 + 1
78.038nw	78.038 + 1
78.039nw	78.039 + 1
78.040nw	78.040 + 1

¹ Aangezien een deel van het traject is vervallen, is de dijkpaalnummering aangepast. Dit betreft met name het vervallen van de dijkpaalnummers 78.030A tot en met 78.034. Dijkpalen 78.037 tot en met 78.060 liggen nabij dezelfde locatie.



HWBP Noordelijke Maasvallei

78.041nw	78.041	+	2
78.042nw	78.042	+	2
78.043nw	78.043	+	6
78.044nw	78.044	+	5
78.045nw	78.045	+	3
78.046nw	78.046	+	3
78.047nw	78.047	+	3
78.048nw	78.048	+	3
78.049nw	78.049	+	3
78.050nw	78.050	+	4
78.051nw	78.051	+	4
78.052nw	78.052	+	4
78.053nw	78.053	+	4
78.054nw	78.054	+	4
78.055nw	78.055	+	4
78.056nw	78.056	+	5
78.057nw	78.057	+	6
78.058nw	78.058	+	6
78.059nw	78.059	+	6
78.060nw	78.060	+	6

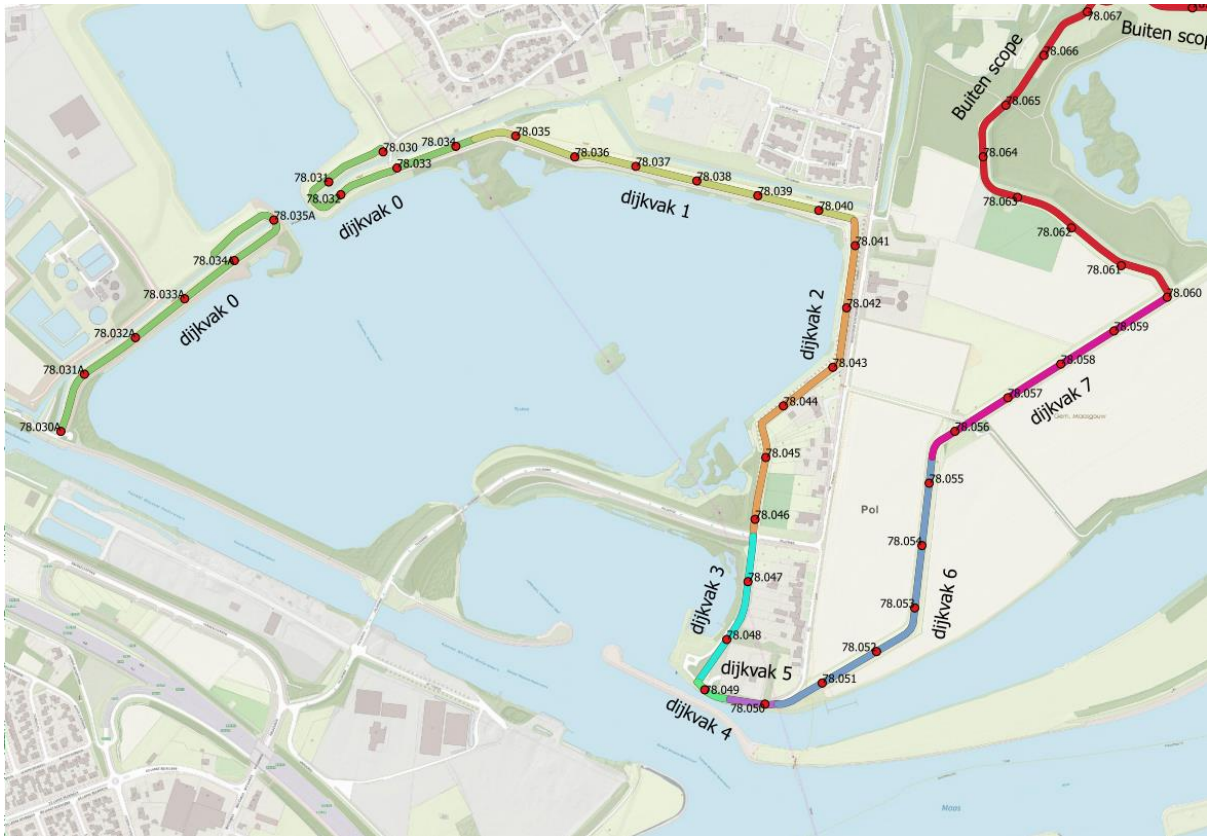
De locaties van de dijkpalen in relatie tot de rivierkilometers zijn vastgelegd in Tabel 3 voor het begin en het einde van het normtraject. Doel van deze tabel is vooral navolgbaarheid bewerkstelligen voor de wettelijke beoordeling. De opgenomen coördinaten zijn ter plaatse van de dijkpalen en dus aan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

Tabel 3: Trajectindeling Heel

Dijkpaal	X (m RD)	Y (m RD)	Rivierkilometer
78.035	190118	353947	68z
78.060	191156	353690	68z

De ligging van het normtraject is weergegeven in Figuur 2.





Figuur 2 ligging van het te versterken deel van normtraject 78-1 Heel

1.3 Leeswijzer

In dit rapport wordt het ontwerp van de waterkering toegelicht.

In hoofdstuk 2 zijn de uitgangspunten voor een ruimtelijk ingepast ontwerp opgenomen.

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

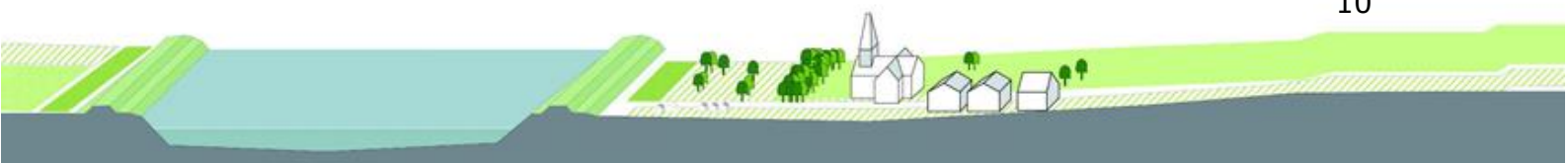
De toegepaste geotechnische parameters zijn beschreven in hoofdstuk 4.

In hoofdstuk 5 wordt het ontwerp van de 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

Dit hoofdstuk beschrijft de afwegingen voor ruimtelijke kwaliteit bij de vormgeving en inpassing van de integrale dijkversterkingsopgave voor Heel. Tot deze opgave horen naast dijkversterking ook het aanleggen van nieuwe dijken.

Het inrichtingsplan van Heel 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 dan wel voor specifieke onderdelen/ dijksecties van Heel. In deze ontwerpnota wordt puntsgewijs het ontwerp van het tracé en het profiel beschreven. De ruimtelijke onderbouwing van het profiel op basis van de Leidende principes ruimtelijke kwaliteit is opgenomen in de rapportage 'Inrichtingsplan dijkversterking Heel'.

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 Principes² 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.

2.2 Ontwerpprincipes vanuit ruimtelijke kwaliteit

In het Maasdal bepaalt het landschap niet alleen de ligging van de kering maar ook het gekozen dijkprofiel (leidend principe vanzelfsprekende dijken). Dijken krijgen daartoe in de Maasvallei verschillende verschijningsvormen. Zij

² Ruimtelijke kwaliteit noordelijke Maasvallei, Visie & Leidende Principes voor het Hoogwaterbeschermingsprogramma Noordelijke Maasvallei, November 2017.



'verkleuren' met het onderliggende landschap. Een dijktraject bestaat als gevolg daarvan indien nodig uit verschillende dijktypen met elk een eigen ontwerpprincipie. Voor Heel is het ontwerpprincipie van de dijk een Maasoeverdijk over het gehele tracé.

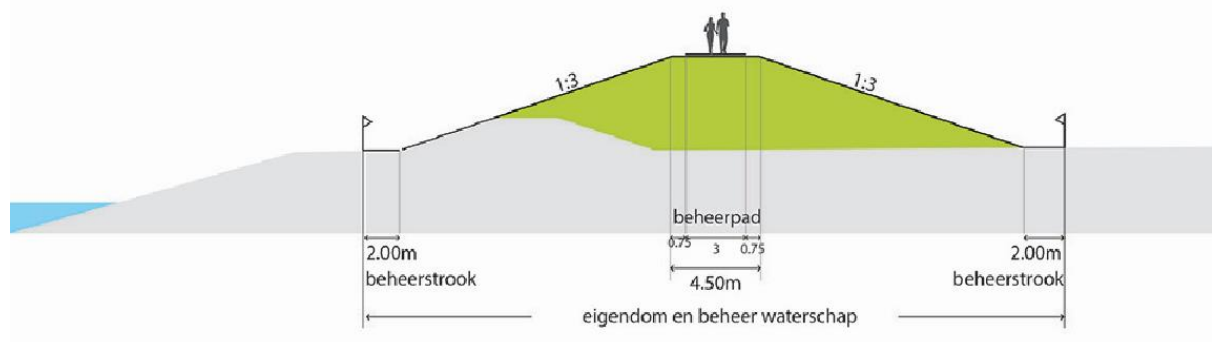
2.3 Uitgangspunten ruimtelijk ingepast ontwerp

Inpassing tracé en lengteprofiel

- Huidige dijk versterken
- Sleybeek deels dempen en deels van flauwere oever voorzien' (dit is een suggestie)
- Kruin toegankelijk houden voor wandelaars (en eventueel fietsers).
- Toegankelijkheid van oevers behouden/verbeteren met dijkovergangen, trappen of steigers.

Vormgeving dwarsprofiel

- Symmetrisch profiel
- Taluds 1:3 met grasbekleding
- Kruin 4,5 meter met gras, (onderhouds-) pad van 3 m breed.
- Onderhoudspad: De kruin van de dijk wordt voorzien van een onderhoudspad van 3 m breed dat is opgebouwd uit een zanddicht geotextiel en een verharding bestaande uit betongranulaat (type 0/40, dikte 300 mm). Bij Pol in het zuiden van het traject ligt er een weg op de kering en bestaat een deel van de kruin van het tracé uit asphalt.
- Aan beide kanten van het pad is er een grasberm van 0,75 m
- Eventuele constructies ten behoeve van stabiliteit worden onzichtbaar in het basisprofiel opgenomen.
- Zowel langs de binnen- als langs de buitenteen van de dijk een beheerstrook (inspectiepad) van 2 m breed. Zie Figuur 3 voor het ontwerpprincipie van het dijktype 'Maasoeverdijk'.
- Pipingmaatregel in de vorm van verticale constructie (onzichtbaar), compacte dijk zonder steunbermen.



Figuur 3 Representatief dwarsprofiel



3 Technische randvoorwaarden en uitgangspunten

Deze ontwerpnota is opgesteld om het dijkontwerp en de bijbehorende eisen van het Definitief Ontwerp (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 NVU [ref 1] vastgesteld. Dit betreft een generieke nota van uitgangspunten voor alle tranche 1 (Nieuw-Bergen, Beesel, Heel en Belfeld) trajecten. 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 Tabel 4 zijn de hydraulische randvoorwaarden opgenomen. Deze zijn gebaseerd op de hydraulische berekeningen die gemaakt zijn voor zeef 2 [ref 2]. Een uitsplitsing naar zichtjaar 2075 en 2125 is gemaakt, omdat voor versterkingen in grond een 50 jaar zichtperiode wordt gehanteerd en voor versterkingen met constructies een 100 jaar zichtperiode.

Tabel 4: Hydraulische randvoorwaarden per dijkvak

Dijkvak	1	2	3	4	5	6	7
ontwerpwaterstand [NAP] (2075)	23,6	23,6	23,6	23,6	23,6	23,6	23,6
ontwerpwaterstand [NAP] (2125)	23,8	23,8	23,8	23,8	23,9	23,8	23,8
HBN [NAP] (1:3)(2075)	24,0	24,1	24,1	24,1	24,1	24,1	24,1
HBN [NAP] (constructie) (2125)	24,3	24,4	24,4	24,4	24,5	24,3	24,3

3.1.2 Faalkansverdeling

De standaard faalkansbegroting 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. De waterkering te Heel over het te versterken gedeelte is qua hoogte robuust. Er is dan ook geen logisch argument om meer faalkansruimte naar HT over te hevelen. De faalkansruimte van HT (24%) kan wellicht wel gebruikt worden om maatregelen tegen STPH (24%) scherper te ontwerpen. Consequentie van het overhevelen van faalkansruimte is dat voor het gehele normtraject de aangepaste faalkansbegroting geldt.



Wanneer de faalkansruimte van HT naar STPH wordt overgeheveld, is de huidige waterkering binnen de dijkvakken 1 tot en met 3 nog op hoogte, zie Tabel 5. Een ophoging moet plaatsvinden bij dijkvakken 4 tot en met 7. Voor deze dijkvakken betekent dit een groter ruimtebeslag.

Tabel 5: Benodigde hoogteopgave bij aanpassing faalkansbegroting i.r.t. hoogteopgave bij standaard faalkansbegroting

Dijkvak	Huidige hoogte	Benodigde hoogte ($\omega = 0,01$)	Opgave	Opgave bij ($\omega = 0,24$)
1	24,4	24,4	0	-0,4
2	24,5	24,4	-0,1	-0,4
3	24,7	24,4	-0,3	-0,6
4	24,3	24,5	+0,2	-0,2
5	24,2	24,5	+0,3	-0,2
6	24,1	24,5	+0,4	0,0
7	24,6	24,5	+0,1	-0,5

Om piping tegen te gaan, worden verticale maatregelen toegepast. Een aanpassing van de faalkansbegroting heeft impact op de dimensies van horizontale pipingmaatregelen, maar niet op de dimensies van verticale pipingmaatregelen (in de huidige stand der techniek)³. Wel kan het de keuze voor het type pipingmaatregel beïnvloeden.

De impact van het aanpassen van de faalkansbegroting (overhevelen faalkansruimte van HT naar STPH) op het ruimtebeslag is dat over het gehele normtraject een groter ruimtebeslag geclaimd moet worden. De dijk wordt immers hoger dan bij de standaard faalkansbegroting. Dit is een ongewenst effect, omdat een groter ruimtebeslag onder andere meer realisatie- en vastgoedkosten met zich meebrengt.

Het effect van het aanpassen van de faalkansbegroting op de keringen in het deel van normtraject 78-1 dat niet versterkt wordt, is nog niet in beeld gebracht.

Op basis van voorgaande is besloten om de standaard faalkansbegroting aan te houden.

3.1.3 Overslag

Voor hoogte (HT) is een overslagdebiet van 5 l/s/m aangehouden bij doorsnede-eis. Dit is conform de NvU [ref 1]. 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 een verzadigde dijk. De

³ Een heavescherm 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)



gehanteerde methodiek is conform KPR Factsheet werkwijze macrostabiliteit bij golfoverslag OI2014v4_v2 [ref 3].

Uit een eerste berekening is gebleken dat de resulterende schadefactor dusdanig laag is dat het resultaat van de situatie van de onverzadigde dijk maatgevend is, zie Bijlage 6-III. Dit is het gevolg van het lage overslagdebiet bij norm bij ontwerpkuinhoogte 2075 (< 1 l/s/m). Om deze reden is alleen de schematisatie van onverzadigde dijk verder uitgewerkt.

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	<ul style="list-style-type: none"> Op basis van de Nota van Uitgangspunten, document IO.97.001 [ref 1.]. Bij de situatie van een hoog achterland, is 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	<ul style="list-style-type: none"> 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	<ul style="list-style-type: none"> Op basis van de formules in Bijlage b4.4 van het Technisch Rapport Waterspanningen bij Dijken [ref 4].
Opbarsten	<ul style="list-style-type: none"> Opbarsten is berekend met de formule in Bijlage b4.1. van het Technisch Rapport Waterspanningen bij Dijken [ref 4]. 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 grenspotentiala 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. Het ontwerp is getoetst aan de gehonoreerde klanteisen, middels een ontwerpverificatie (zie Relatics omgeving wl-hwbp.relaticsonline.com).

3.2 Geometrische uitgangspunten

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



3.2.1 Macrostabiteit

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

Tabel 7: Representatieve profielen Macrostabiteit

Dijkvak	Representatief profiel	Criterium	Bodemopbouw o.b.v.	Criterium
1	78-1_0001_160 (DP 78.039)	Hoogte maaiveld is representatief voor dijkvak	Sonderingen 78-1_0001_160 (voorland), 02P011230-10_4 (kruin) en 02P011230-10_203 (achterland).	Dikke klei-siltige laag (deklaag) in de ondergrond
2	78-1_0002_140 (DP 78.045)		Sonderingen 02P011230-10-9 (voorland), VH-5123_0010 (kruin) en 02P011230-10-8 (achterland)	Locatie met klei-siltige laag
3	78-1_0003_180 (DP 78.047)		Sonderingen 02P011230-10_9 (voorland), 02P011230-10_10 (kruin), 02P011230-10_207 (achterland)	Dikke klei-zandige laag (deklaag) in de ondergrond
4	78-1_0004_0000 (DP 78.049)		Sonderingen 02P011230-10_210 (voorland), 02P011230-10-12 (kruin) en 02P011230-10_11 (achterland)	Dikke klei-zandige laag (deklaag) in de ondergrond
5	78-1_0005_020 (DP 78.050)		Sonderingen 02P011230-10_210 (voorland), 02P008617-01_S-78-12 (kruin) Boring PD 02 (achterland)	Dikke klei-zandige laag (deklaag) in de ondergrond
6	78-1_0006_380 (DP 78.051)		Sonderingen 02P011230-10_210 (voorland), 02P011230-10_14 Boring PD 02 (achterland)	Dikke klei-siltige laag (deklaag) in de ondergrond
7	78-1_0007_280 (DP 78.058)		Sonderingen 02P011230-10_22 (voorland), VH-5123_0016 (kruin),	Dikke klei-siltige laag (deklaag) in de ondergrond

3.2.2 Piping

Voor piping zijn analytische sommen gedaan voor de deelmechanismen opbarsten, heave en terugschrijdende erosie (zie par.6.1.2). Dit is gedaan om de 100 m langs het gehele normtraject. Uit deze berekeningen volgt per profiel of er een pipingprobleem is (wanneer alle deelmechanismen optreden). Op basis van het aanwezige verval is bepaald of een horizontale of verticale maatregel toegepast is.

Met het rekenprogramma D-Geo Flow is gecontroleerd of aanscherping van de analytische Sellmeijer uitkomsten mogelijk is. Hiermee zijn gerichte berekeningen uitgevoerd om de ontwerpkeuzes die gemaakt zijn op basis van de analytische berekeningen, te verifiëren (zie par. 6.1.2). Voor deze berekeningen zijn om deze reden verschillende type profielen gekozen om op die manier zo dekkend mogelijk te zijn voor het gehele normtraject. In Tabel 8 is die verscheidenheid terug te vinden.



Tabel 8: Representatieve profielen Piping

Dijkvak	Representatief profiel	Criterium	Bodemopbouw o.b.v.	Criterium
1	78.035	Combinatie tussen relatief dunne deklaag in combinatie met relatief groot verval en uitkomst Sellmeijer analytisch	Sondering: VH-5123_0006 Boringen: BS201, wpm_gef_0584_6A, geofysisch onderzoek, BS202	Sondering voor gegevens onder de dijk en indicatie piping gevoelige diktes. Daarbij ook voor eerste deel watervoerend- pakket Boringen voor grenzen wvp grind/grof zand/fijn zand. Zandmedianen in de boringen hier belangrijk. Boringen ook voor en achterland deklaagdikten
1	78.037		Sondering: VH-5123_0007 Boringen: HB31, S02, 7D, 7A	
2	78.042		Sondering: 02P008617-01_S-78-7 Boringen: HB35, HB36, S06, HB06, HB07	
4	78.047		Sondering: 02P011230-10_10 Boringen: BS207, BS208	
6	78.055		Sondering: VH-5123_0014 Boringen: S19, BS212, 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	Per dijkpaal	STMI/GABI is per dijkpaal doorgerekend
Niet waterkerend objecten	Per dijkvak	Voor de niet waterkerende objecten is per dijkvak de stabiliteitszone bepaald
Zetting en klink	n.v.t.	Geen som gemaakt, omdat in Heel geen structurele ophoging voorzien is.
Kunstwerken	Vervangende waterkering (78.035) Inlaat Sleybeek (78.035) Damwand Pol (78.049)	De aanwezigheid van een kunstwerk
Voorland	78.038 78.050	Diep punt van de plas dichtbijgelegen en voorland het kortst



4 Geotechnische parameters

4.1 Verricht onderzoek

In zowel de verkennings- en planuitwerkingsfase is grondonderzoek uitgevoerd in Heel. Het grondonderzoek is voornamelijk uitgevoerd door Inpijn-Blokpoel in zowel de verkennings- als de planuitwerkingsfase met uitzondering van uitgevoerd veldwerk in 2005 te Heel door Conex.

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

Tabel 10: Overzicht uitgevoerd grondonderzoek normtraject Heel (78-1)

Referentienummer [-]	Jaar [-]	Sonderingen [-]	Handboring [-]	Mechanische boring [-]	Peilbuis [-]
Conex, rapport met kenmerk CXA 097.05	2005	31 + 3 DPT	-	-	-
Inpijn - Blokpoel, rapport met kenmerk VH-5123-1	2009	21	84	-	-
Inpijn - Blokpoel, rapport met kenmerk 02P002919-RG-01,	2013	-	10	-	-
Inpijn - Blokpoel, rapport met kenmerk 02P008617-12-RG-78-def2,	2017	-	4	-	-
Inpijn - Blokpoel, grondonderzoek met kenmerk 02P008617,	2017	-	3	-	3
Inpijn - Blokpoel, rapport met kenmerk 02P008617-14-RG-NVA-def2,	2017	15	-	-	-
Inpijn - Blokpoel, grondonderzoek met kenmerk 02P010333-02	2018	-	5	-	-
Inpijn - Blokpoel, grondonderzoek met kenmerk 02P011230-10,	2018	37	55	11	4

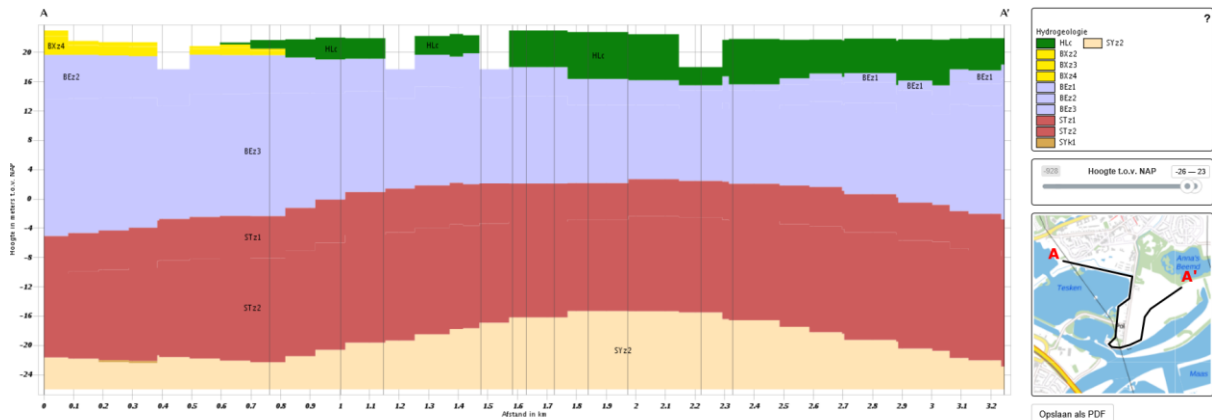
Op basis van de beschikbare veldproeven zijn geotechnische lengteprofielen opgesteld, zie Bijlage 1. Met behulp van deze lengteprofielen is de laagopbouw inzichtelijk gemaakt. Vervolgens zijn laboratoriumproeven uitgevoerd waarin grondsoorten zijn vastgesteld en een parameterset is opgesteld. Voor het 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 Figuur 4. Het maaiveld is gelegen rond NAP +22 m tot NAP +23 m. In Heel bestaat de toplaag voornamelijk uit holocene siltige klei met lokaal een toplaag bestaande uit Beegden zand. De siltige kleilagen zijn aangetroffen tot circa NAP +18 m met daaronder grind- en zandlagen (formatie van Beegden). Door de aanwezigheid van zeer harde grind- en zandlagen is het grondonderzoek uitgevoerd tot een beperkte diepte van circa NAP +16 m. Vanaf dijkpaal 78.051 is het grondonderzoek dieper uitgevoerd.



Figuur 4 Verticale doorsnede REGIS II v 2.2 te Heel

Afwijkende resultaten zijn aangetroffen nabij dijkpalen 78.051 tot en met 78.053 en vanaf 78.057 tot en met het einde van het beschouwde traject, namelijk 78.060. Deze locaties wijken af omdat daar de harde grind- en zandlagen afwezig zijn. Daar bevindt zich een zeer sterk afwisselend pakket aan dunne klei- en grindlagen. Deze afwijking is te wijten aan antropogene invloeden, aangezien er de afgelopen decennia veel vergraven is in het gebied. Rond 1970 is hier een ontgraving geweest, zie Figuur 5.



Figuur 5 Water dat is ontstaan door ontgraving rond 1970

Het water dat is ontstaan is vervolgens rond 1980 gedeeltelijk gedempt, zie Figuur 6.



Figuur 6 Het gebied Pol na demping rond 1980

Verdere demping heeft plaatsgevonden rond 1990 toen er grind gewonnen werd uit de huidige Polderveldplas, zie Figuur 7.





Figuur 7 Verdere demping ten tijde van grindwinning Polderveldplas

4.3 Grondparameters

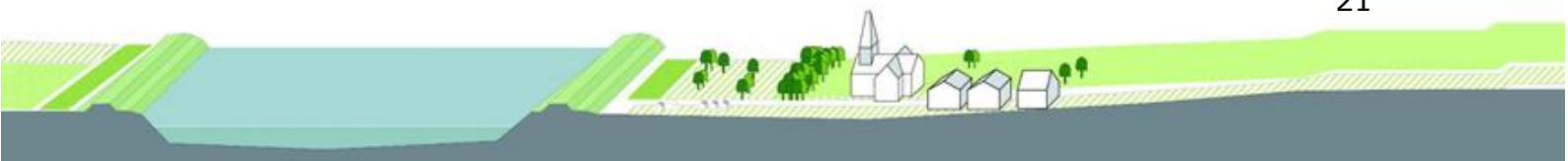
4.3.1 Doorlatendheid zandondergrond

Op basis van de uit de zandmonsters afgeleide korrelverdelingen is de doorlatendheid 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 Heel is 15 m/dag, zie Bijlage 5-I.

Voor het bepalen van de doorlatendheid van het gehele watervoerende pakket is uitgegaan van het gewogen gemiddelde conform schematiseringshandleiding piping [ref 6]. De doorlatendheden van de formaties in het watervoerend pakket zijn bepaald op basis van expert judgement. Dit is gebeurd met behulp van hoog en laag karakteristieken vanuit ref 15, de sonderingen en de soorten grondlagen en zandmedianen in de boringen. Voor meer informatie over de bepaling van de doorlatendheden, zie Bijlage 5-II. De grondopbouw ter plaatse van dijkpaal 78.037 is gebruikt voor het bepalen van de doorlatendheid. In Tabel 11 staat de afgeleide doorlatendheid opgenomen.

Tabel 11: Gewogen gemiddelde doorlatendheid watervoerend pakket Heel

Zandlaag	Dikte [m]	Doorlatendheid [m/dag]
pipinggevoelige laag	1,2	15
Beegden (125)	2,0	125
Beegden (175)	22,0	175
Sterksel	19,8	65
Gewogen gemiddelde	45,0	120



4.3.2 D70 pipinggevoelige laag

Conform [ref 7] is een gemiddelde d_{70} voor de pipinggevoelige holocene laag van 320 μm bepaald. Conform NVU [ref 1] is de rekenwaarde bepaald met behulp van een variatiecoëfficiënt van 12%. De karakteristieke waarde voor de d_{70} is 280 μm [ref 7].

4.3.3 Volumegewicht en sterkte

De gehanteerde volumegewichten en sterkteparameters zijn gepresenteerd in Tabel 12. Achtergrondinformatie is gepresenteerd in het interpretatierapport [ref 7].

Tabel 12: Geotechnische parameters ten behoeve van de macrostabiliteitsberekeningen, zie proevenverzameling in 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 (op basis van gebiedskennis)

γ_{sat} = verzadigd volumiek gewicht (op basis van gebiedskennis)

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 / ciritical 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 (Hydraulisch Belastingsniveau = HBN)) zijn per dijkvak opgegeven in Tabel 13 en Bijlage 3. Voor alle dijkvakken is rekening gehouden met totaal 0,1 m voor klink, zie paragraaf 6.5.

5.1.1 Berekende zettingen

De aanleghoogte van de waterkeringen te Heel is lager dan de aanwezige hoogte. Aangezien er geen ophoging voorzien is, is verondersteld dat de zetting van de ondergrond verwaarloosbaar is. Hiervoor zijn geen berekeningen uitgevoerd.

5.1.2 Aanleghoogte

Gelet op de te verwachten klink na gereedkomen dient de dijk minimaal met 0,1 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 op pagina 42. In Tabel 13 staat de aanleghoogte opgenomen. Dit is dus de ontwerphoogte (HBN) + 0,1 m.

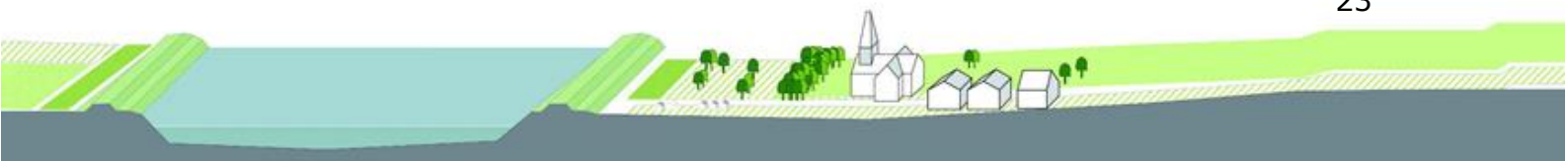
Tabel 13: Kruinhoogte en aanleghoogte per dijkvak

Dijkvak	HBN [m+NAP]	Aanleghoogte [m+NAP]
1	24,0	24,1
2	24,1	24,2
3	24,1	24,2
4	24,1	24,2
5	24,1	24,2
6	24,1	24,2
7	24,1	24,2

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.

- De waterkering ter plaatse dijkpaal 78.034+50 is over een lengte van 25 m, 6,0 m breed, omdat hier een vervangende waterkering komt.
- Ter plaatse van de inlaatduiker op de Sleybeek, nabij dijkpaal 78.035, is de waterkering 8,0 m breed, conform het principeontwerp van WL voor een duiker door de dijk



(20150403_BD6979_D_INFRA_RD_0008_v2_Typetekening duiker door dijk.pdf), zie Bijlage 12

- De breedte van de waterkering binnen dijkvak 4 en 5 is 6,0 m, omdat op deze locatie de weg Pol op de kruin gelegen is. De breedte van de weg is 4,0 m en aan weerszijden is een berm van 1,0 m opgenomen.

5.3 Verharding dijk kruin

Op de kruin komt een onderhoudspad. Dit onderhoudspad is 3,0 m breed en is opgebouwd uit een zanddichtgeotextiel met voldoende sterkte en een verharding bestaande uit betongranulaat type 0/40, dikte 300 mm [ref 1]. Binnen dijkvak 4 en 5 wordt de weg Pol teruggeplaatst op de kruin van de waterkering, dit betreft een asfaltweg.

5.4 Pipingmaatregelen

De pipingmaatregelen staan gepresenteerd in Tabel 14. De keuze voor deze maatregel is gebaseerd op het pipingprotocol, uitgewerkt in bijlage 4-III. Ten eerste is berekend binnen welke dijkvakken een pipingmaatregel noodzakelijk is. Vervolgens is op basis van het verval bepaald welk type pipingmaatregel toegepast wordt. Binnen dijkvak 1 is het verval zo groot dat conform het pipingprotocol naar alternatieve pipingmaatregelen gezocht is. Aangezien de Sleybeek nabij de waterkering ligt en de functie van deze watergang vervalst, is besloten om de Sleybeek om te vormen naar drainagemaatregel tegen piping. Binnen dijkvak 2, 6 en 7 is conform pipingprotocol een verticale maatregel noodzakelijk. Een heavescherm wordt op deze locaties toegepast tegen piping, omdat dit een kosteneffectieve maatregel is. De diepte van de heaveschermen is bepaald door het maatgevende verval te vermenigvuldigen met 2 en hier 1 m bij op te tellen, zie Tabel 14 en Bijlage 4-IV. De locatie van het scherm is 0,6 m vanaf de binnenteen onder het binnentalud. De bovenkant van de heaveschermen is op huidig maaiveldniveau. De consequentie hiervan is dat het puntniveau variabel is afhankelijk van het maaiveldniveau.

De geohydrologische impact van de heaveschermen is beperkt, aangezien de schermen kort zijn in vergelijking met de dikte van het watervoerend pakket, zie Bijlage 4-V. Op basis van een geohydrologische analyse van de werking van de drainagesloot blijkt dat het huidige bekensysteem de extra toename van kwel, benodigd voor een goede werking van de maatregel, aankan, zie Bijlage 4-VI. Binnen dijkvak 6 is alleen tussen dijkpaal 78.050 en 78.052 een heavescherm noodzakelijk, omdat in de rest van het gebied een voldoende dikke kleilaag aanwezig is om piping te voorkomen.

Tabel 14: Pipingmaatregelen per dijkvak

Dijkvak	Pipingmaatregel	Ontwerp
1	Drainage oplossing in Sleybeek	Drainagesloot met een bodembreedte van 2,5 m en taluds van 1:2 tot huidig maaiveld. De slootbodem dient aan te sluiten op het watervoerend pakket. Een goed doorlatende filterconstructie moet worden toegepast. De drainagesloot komt parallel aan de



HWBP Noordelijke Maasvallei

		nieuwe waterkering. De huidige Sleybeek wordt daarom gedeeltelijk gedempt.
2	Heavescherm	Het verval voor de maatgevende dwarsdoorsnede binnen dijkvak 2, 78.034, is 2,2 m op basis van een waterstand bij norm voor zichtjaar 2125 van NAP + 23,8 m en een binnendijks maaiveldniveau van NAP +21,6 m. Het heavescherm is daarom 5,4 m lang.
3	Geen pipingmaatregel	n.v.t.
4	Geen pipingmaatregel	n.v.t.
5	Geen pipingmaatregel	n.v.t.
6	Heavescherm tussen dijkpaal 78.050 en dijkpaal 78.052	Het verval voor de maatgevende dwarsdoorsnede binnen dijkvak 6, 78.051, is 2,0 m op basis van een waterstand bij norm voor zichtjaar 2125 van NAP + 23,8 m en een binnendijks maaiveldniveau van NAP +21,8 m. Het heavescherm is daarom 5,0 m lang.
7	Heavescherm	Het verval voor de maatgevende dwarsdoorsnede binnen dijkvak 7, 78.057, is 2,1 m op basis van een waterstand bij norm voor zichtjaar 2125 van NAP + 23,8 m en een binnendijks maaiveldniveau van NAP +21,7 m. Het heavescherm is daarom 5,2 m lang.

5.5 Stabiliteitsmaatregel

De maatregelen die noodzakelijk zijn ten behoeve van stabiele taluds zijn opgenomen in Tabel 15. De benodigde diepte van het stabiliteitsscherm binnen dijkvak 2 is kleiner dan het reeds voorziene heavescherm, dit is aangetoond door middel van een Plaxis-berekening, zie Bijlage 7. Het heavescherm fungeert dus tevens als stabiliteitsscherm. Heave is maatgevend voor de diepte en bepaalt dus de uiteindelijke diepte van het scherm.

Tabel 15: Stabiliteitsmaatregelen

Dijkvak	Buitentalud	Binntentalud	Constructie
1	1:3	1:3	n.v.t.
2	1:3	1:3	Stabiliteitsscherm in binnenteen
3	1:3	1:3	n.v.t.
4	1:3	1:3	n.v.t.
5	1:3,5	1:3	n.v.t.
6	1:3	1:3	n.v.t.
7	1:3	1:3	n.v.t.

5.6 Samenstelling dijk

5.6.1 Kern

Voor het ontwerp van de dijkversterking is van het huidige kernmateriaal bepaald op basis van geotechnisch onderzoek uitgegaan. Zie Bijlage 2.

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 grasmatt. Ter plaatse van de buitenkruinlijn wordt een bekleding van totaal 1,3 m dik loodrecht op het talud toegepast, conform Addendum I van de Leidraad Rivieren [ref 5] is deze dikte voldoende voor de golven te Heel, omdat deze lager zijn dan



1,5 m. 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 doorfrozen;
- 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 dijktalud.

5.6.3 Bekleding binnentalud

Met betrekking tot erosiebestendigheid van de kruin en het binnentalud wordt 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 stabiele situatie, zie Bijlage 8.

5.6.4 Grasmat

Een goede kwaliteit grasmat is van belang om voldoende weerstand te kunnen bieden tegen golfaanval bij hoogwater op de Maas. De waterstaatkundige kwaliteit van de grasmat 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 grasmat 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 dijkenmengsel, waar zaden van kruiden doorheen zijn gemengd. De toevoeging van kruiden dient te zijn afgestemd op de lokaal aanwezige soorten.

De ontwikkeling van de grasmatten 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 ten behoeve van een dijk

Aan weerszijden van de waterkering komt een klei-inkassing van 2,0 m uit de teen. De klei-inkassing wordt 1,0 m dik en afgedekt met een leeflaag van 0,3 m. Hetzelfde materiaal als gebruikt voor de taluds wordt toegepast in de klei-inkassing. Het uiteinde van de klei-inkassing verloopt met een 3:1 talud richting het maaiveld.

5.7 Vooroeverbestorting

Een uitgebreide analyse van de stabiliteit van het voorland is opgenomen in Bijlage 9. Tegen golfafslag van het voorland tijdens maatgevende omstandigheden is geen maatregel noodzakelijk. Tijdens dagelijkse omstandigheden bestaat het risico op afkalving richting de waterkering. Rond de oeverlijn is reeds een oeverbestorting toegepast. Er van uitgaande dat de huidige oeverbestorting voldoet en bijna overal waar de waterkering nabij het water gelegen is, is toegepast, hoeft er in dit stadium geen maatregel toegepast te worden. Restrisico blijft dat lokaal toch afkalving richting de waterkering tijdens normale omstandigheden kan optreden. Dit restrisico ligt bij de beheersorganisatie van het Waterschap of bij RWS. Als blijkt dat er ontoelaatbare erosie richting de waterkering plaatsvindt dienen er maatregelen genomen te worden.

Schadelijke afschuiving van het voorland is niet aan de orde. Tegen dit faalmechanisme hoeft geen maatregel toegepast te worden.

Tussen dijkpaal 78.040 en dijkpaal 78.042 is een verwekingsgevoelige laag aanwezig, die de stabiliteit van de waterkering kan bedreigen. Daarom is een maatregel noodzakelijk. Op deze locatie wordt een vooroeverbestorting toegepast om zettingsvloeiing te voorkomen. De bestorting komt op een zinkstuk vanaf de tot een diepte NAP + 15,0 m. Steensortering 10 - 60 kg en een hoeveelheid van 800 kg/m².

Mogelijk zijn er zettingsvloeiingsgevoelige zandlagen in de diepere ondergrond aanwezig. Deze zandlagen zijn niet beschouwd en kunnen mogelijk een risico vormen voor de waterkering. De kans hierop wordt echter als klein verondersteld, aangezien de ondergrond met name bestaat uit dikke grindlagen. In de uitvoeringsfase dient dit restrisico beheerst te worden.



5.8 Op- en afritten

Voor de op- en afritten van wegen is in het ontwerp uitgegaan van een helling van 1:20 of flauwer. De taluds aan weerszijden van de op- en afritten zijn 1:2. Het wegontwerp is opgenomen in het 3D ontwerp, zie Bijlage 16. Het ontwerp betreft de kruising met de Wessemerweg, de Polderweg, Pol en de landweg in dijkvak 7. Ook de kruising met de landweg in dijkvak 7 is onderdeel van het ontwerp. De knik (buitendijks) in deze landweg wordt rechtgetrokken.

Verder worden de huidige paden om de woningen aan de Pol vanaf de achterkant te bereiken op een vergelijkbare wijze teruggebracht. Dit betreft het pad tussen dijkpaal 78.044+70 en 78.046+20 en het pad tussen 78.046+30 en 78.048.

Ten westen van dijkpaal 78.035 wordt de waterkering toegankelijk gemaakt voor beheervoertuigen. Ook worden er aan binnen- en buitendijkse zijde van de waterkering 2 dijkafgangen gerealiseerd ten behoeve van de toegankelijkheid en het beheer van de drainagesloot en de buitenteen van de waterkering. Alle op- en afgangen voor beheervoertuigen hebben een helling van 1:10 of flauwer. De huidige op- en afgangen van paden worden op een gelijkwaardige manier teruggebracht.

5.9 Aansluitingen waterkering

Ter plaatse van dijkpaal 78.034+50 sluit de waterkering aan op de hoge grond van het perceel Teskenlaan 36A. De aansluiting dient hoogwaterveilig uitgevoerd te worden. De huidige tuinmuur moet na realisatie op een vergelijkbare manier terug worden geplaatst.

Ter plaatse van dijkpaal 78.060+20 sluit de versterkte waterkering aan op het overige deel van het normtraject. Deze aansluiting dient hoogwaterveilig uitgevoerd te worden.

5.10 Vervallen waterkering Dijkvak 0

De primaire status van de waterkering tussen dijkpaal 78.030A en 78.034 vervalt. De dijkring wordt gesloten door aansluiting op hoge grond nabij de Wessemerweg. De Sleybeek langs de RWZI is hiermee niet meer beschermd tegen hoogwater. Consequentie hiervan is dat er tussen de RWZI (78.032A) en het kanaal Wessemer-Nederweert (78.030A) een regionale watergang ten behoeve van de afvoer van effluent over hooggelegen grond aangelegd moet worden. Aangezien hier nog geen hooggelegen grond ligt, wordt er voldoende grond aangelegd voor het realiseren van deze regionale watergang. De minimale hoogte van de bodem van de watergang is de buitenwaterstand bij norm van NAP + 23,6 m. Op deze manier wordt de waterstand in de watergang niet beïnvloed door de buitenwaterstand tot een maximum van de waterstand bij norm. De regionale watergang watert af op het kanaal via een valput en duiker.

De Sleybeek tussen dijkpaal 78.030A en 78.032A wordt geheel gedempt en de waterkering wordt deels afgegraven. De Sleybeek tussen dijkpaal 78.032A en



78.034 wordt verbreed door een verflauwde oever en wordt aangesloten op de plas Polderveld. Tussen dijkpaal 78.031+50m en 78.034 wordt een natuurlijke oever aangelegd in de Polderveld. Bij het referentieontwerp van dijkvak 0, zoals opgenomen in Bijlage 15, is rekening gehouden met een gesloten grondbalans.

Het regelwerk tussen de Panheelderbeek en de Sleybeek wordt gedeeltelijk gesaneerd. Ook wordt de inlaat vanuit het kanaal Wessem-Nederweert naar de Sleybeek verwijderd. Tenslotte wordt het sifon onder het Tesken dichtgezet en de in- en uitlaatwerken gedeeltelijk gesaneerd.

De Panheelderbeek moet kunnen lozen op het kanaal Wessem-Nederweert, omdat het sifon onder het Tesken wordt dichtgezet. Deze aansluiting wordt gemaakt door de bestaande duikers tussen de Panheelderbeek en het kanaal te openen. Het sifon onder het kanaal Wessem-Nederweert bestaat uit 3 duikers, waarvan er 2 permanent afgesloten worden. Via de 3^e sifonduiker stroomt een basisafvoer van de Panheelderbeek richting Thorn. Omdat er een directe aansluiting ontstaat tussen het kanaal Wessem-Nederweert en de Panheelderbeek dient ten behoeve van de hoogwaterveiligheid van DT 79-1 Thorn-Wessem de Panheelderbeek afgesloten te kunnen worden.

Een uitgebreide beschrijving van het ontwerp binnen dijkvak 0 inclusief technische onderbouwing is opgenomen in Bijlage 15.

5.11 Ontwerpkeuzes

In Tabel 16 staan de belangrijkste ontwerpkeuzes die gemaakt zijn.

Tabel 16: Ontwerpkeuzes

Dijkvak	Titel	Omschrijving	Paragraaf
Vervallen waterkering	Regionale watergang	Het graven van een regionale watergang over hoge grond tussen de RWZI en het kanaal Wessem-Nederweert. Lozing via valput nabij het kanaal.	5.10
Vervallen waterkering	Hoge grond	Aanleggen hoge grond ten behoeve van de te graven regionale watergang.	5.10
Vervallen waterkering	Aansluiting Panheelderbeek op kanaal Wessem-Nederweert	Uitstroomvoorziening van de Panheelderbeek op het kanaal Wessem-Nederweert door middel van het heropenen van bestaande duikers.	5.10
Vervallen waterkering	Inlaat Sleybeek	De inlaat tussen het kanaal Wessem-Nederweert en de Sleybeek wordt verwijderd.	5.10
Vervallen waterkering	Sifon Tesken	Het sifon in de Sleybeek onder het Tesken wordt dichtgezet en het kunstwerk wordt gedeeltelijk gesaneerd.	5.10
Vervallen waterkering	Sifon Panheelderbeek	2 van de 3 sifonduikers worden permanent afgesloten. De 3 ^e sifonduiker dient hoogwaterveilig afgesloten te kunnen worden. (afsluiters kunnen ook geplaatst worden afhankelijk van het VKA Thorn-Wessem, bijvoorbeeld ter plaatse van de doorvoer Panheelderbeek onder de A2)	5.10
Vervallen waterkering	Sleybeek	De Sleybeek wordt deels gedempt en deels verbreed door een verflauwde oever en aangesloten op de Polderveldplas.	5.10
Vervallen waterkering	Waterkering	De waterkering wordt deels verwijderd.	5.10
1	Pipingmaatregel	Drainagesloot	5.4
1	Looppad	Bruggetje over drainagesloot ten behoeve van de looproute	7
1	Inlaatduiker	Inlaat ten behoeve van doorspoeling drainagesloot	7



HWBP Noordelijke Maasvallei

1	Lokaal dempen Sleybeek	De drainagesloot wordt rechtgetrokken waardoor de Sleybeek gedeeltelijk gedempt moet worden.	5.4
1	Verlengen riooloverstort	Aangezien de Sleybeek gedeeltelijk gedempt wordt, moet de huidige riooloverstort verlengd worden.	7
1	Afvoersloot Wadi	Ten behoeve van de afwatering van een toekomstige wadi wordt de huidige Sleybeek lokaal omgevormd tot afvoersloot	7
1	Beheerpad	Aan weerszijden van het dijkvak komt een dijkafgang voor beheervoertuigen	5.8
1	Vervangende waterkering	Ter plaatse van de aansluiting op hoge grond komt een vervangende waterkering, omdat op deze locatie een rioolpersleiding de waterkering kruist.	6.3.4
1	Kruising Wessemerweg	Ter plaatse van de aansluiting op hoge grond kruist de Wessemerweg de waterkering.	5.8
1	Vooroever	Op een kort tracégedeelte komt op de oever en het onderwatertalud een bestorting	5.7
1	Aansluiting op hoge grond	De nieuwe waterkering dient hoogwaterveilig aangesloten te worden op de aanwezige hoge grond ter plaatse van dijkpaal 78.034+50	5.9
2	Pipingmaatregel	Heavescherm in binnenteen	5.4
2	Stabiliteitsmaatregel	Stabiliteitsscherm in binnenteen	5.5
2	Vooroever	Op een kort tracégedeelte komt op de oever en het onderwatertalud een bestorting	5.7
2	Achterpad	Vanaf Polderweg tot de knik in het tracé nabij dijkpaal 78.045 wordt het huidige achterpad nabij de binnenteen teruggebracht	5.8
2	Beheerpad	Aan weerszijden van het dijkvak komt een dijkopgang voor beheervoertuigen	5.8
3	Achterpad	Vanaf Polderweg tot nabij dijkpaal 78.048 wordt het huidige achterpad nabij de binnenteen teruggeplaatst	5.8
2	Beheerpad	Aan weerszijden van het dijkvak komt een dijkopgang voor beheervoertuigen	5.8
4	Damwand	De damwand wordt vervangen en in het midden verankerd met 2 trekankers	Bijlage 14 en hoofdstuk 7
4	Weg op kruin	De weg Pol wordt teruggeplaatst op de kruin	5.2 en 5.3
5	Weg op kruin	De weg Pol wordt teruggeplaatst op de kruin	5.2 en 5.3
5	Stabiliteitsmaatregel	Het buitentalud is 1:3,5 en het binnentalud is 1:3	5.5
6	Pipingmaatregel	Heavescherm in binnenteen tussen dijkpaal 78.050 en dijkpaal 78.052	5.4
6	Oprit	De oprit van de weg Pol wordt ingepast	5.8
6	Afrit	De buitendijkse afrit naar de sportvislocatie wordt ingepast	5.8
7	Pipingmaatregel	Heavescherm in de binnenteen	5.4
7	Op- en afritten	De op- en afritten worden op een gelijkwaardige manier teruggebracht	5.8
7	Kruising landweg	De kruising met de landweg tussen dijkpaal 78.056 en 78.057 wordt recht getrokken	5.8
7	Aansluiting op bestaande waterkering	De versterkte waterkering dient hoogwaterveilig aangesloten te worden op de huidige waterkering tussen dijkpaal 78.060 en 78.061	5.9
Algemeen	Niet waterkerende objecten	De huidige niet waterkerende objecten worden teruggeplaatst	6.3.5
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



6 Geotechnische berekeningen

6.1 Resultaten pipingberekeningen

6.1.1 Schematiseringsfactor

Bij wijze van verificatie van de aangenomen schematiseringsfactoren, zoals gepresenteerd in paragraaf 3.2.2, zijn de schematiseringsfactoren berekend conform TR Grondmechanisch Schematiseren bij Dijken [ref 14]. Het rekenbestand voor de bepaling van de schematiseringsfactor is opgenomen in Bijlage 4-II. In Tabel 17 staat per deelmechanisme de schematiseringsfactor met de hieraan ten grondslag liggende scenario's. Aangezien geen horizontale pipingmaatregelen worden toegepast, zijn deze berekende schematiseringsfactoren alleen gebruikt voor het pipingprotocol. Dit leidt niet tot andere conclusies dan het toepassen van de aangenomen schematiseringsfactoren.

Tabel 17: Schematiseringsfactoren piping

Deelmechanisme	Schematiseringsfactor	Scenario's
Opbarsten	1,08	1. Basisschematisering binnen dijkvak 2 ter plaatse van dijkpaal 44 (59% kans) 2. Lager gewicht afdekkende kleilaag, aangepast van klei zandig (20,2 KN/m ³) naar klei siltig (18,6 KN/m ³) (10% kans) 3. Grootste stijghoogte gelijk aan maatgevend hoogwater van NAP + 23,60 m (1% kans) 4. Deklaagdikte van 0,2 m dunner (30% kans)
Heave	1,03	1. Basisschematisering binnen dijkvak 2 ter plaatse van dijkpaal 44 (50% kans) 2. Freatisch niveau lager dan maaiveld, 0,2 m lager aangehouden (10% kans) 3. Grootste stijghoogte gelijk aan maatgevend hoogwater van NAP + 23,60 m (1% kans) 4. Deklaagdikte van 0,2 m dunner (30% kans)
Terugschrijdende erosie	1,10	1. Basisschematisering binnen dijkvak 2 ter plaatse van dijkpaal 44 (40% kans) 2. Scenario 1: Gemiste zandopduiking in voorland (0% kans, want voorland niet meegenomen in schematisatie) 3. Scenario 2: Maaiveld lager met 0,25 m (10% kans) 4. Scenario 3: Deklaagdikte dunner (2*variatioëfficiënt van 0,2 dunner) (30% kans) 5. Scenario 4: Dikte watervoerend pakket groter (2* variatioëfficiënt van 0,1 dikker) (10% kans) 6. Scenario 5: Smallere dijk (10% smaller) (10% kans) 7. Scenario 6: Binnendijkse beek/sloot dichterbij dijk (0% kans, want geen beek aanwezig in dwarsprofiel)

6.1.2 Analytische rekenregel Sellmeijer

Tabel 18 toont het resultaat van analytische pipingberekeningen. De berekeningen zelf zijn bijgevoegd in Bijlage 4-III. Voor het intredepunt is de buitenteen aangehouden. Op basis van het pipingprotocol [ref 8.] is per dijkpaal aangegeven wat voor type maatregel toegepast gaat worden.



HWBP Noordelijke Maasvallei

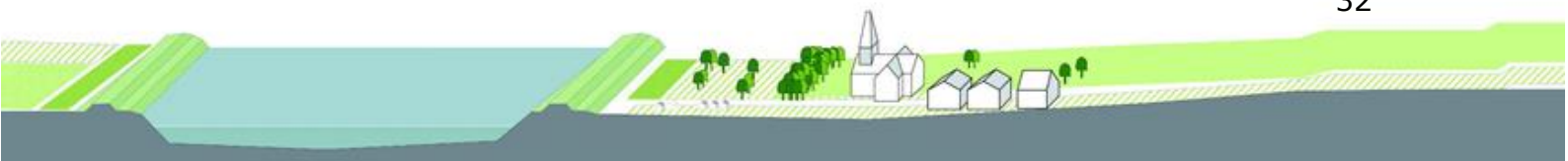
Tussen dijkpaal 78.046 en 78.050 is geen maatregel nodig vanwege het beperkte verval. Tussen dijkpaal 78.052 en 78.056 is de deklaagdikte zodanig groot dat er geen kans is op opbarsten.

Tabel 18: Resultaten analytische berekeningen

Dijkvak	Resultaten		Deklaagdikte [m]	Verval [m]	Opbarsten [-]	Heave [-]	Terugschrijdende erosie [-]	Kritiek verval [m]
1	DWP-78.034	Drainage	0	4,6	OPEN	n.v.t.	JA	1,07
	DWP-78.035	Drainage	0	4,6	OPEN	n.v.t.	JA	1,26
	DWP-78.036	Drainage	0	4,6	OPEN	n.v.t.	JA	2,73
	DWP-78.037	Drainage	0	4,6	OPEN	n.v.t.	JA	1,30
	DWP-78.038	Drainage	0	4,6	OPEN	n.v.t.	JA	1,12
	DWP-78.039	Drainage	0	4,6	OPEN	n.v.t.	JA	1,16
2	DWP-78.040	Verticale maatregel	0	4,6	OPEN	n.v.t.	JA	1,25
	DWP-78.041	Verticale maatregel	1,9	1,7	JA	JA	JA	0,84
	DWP-78.042	Verticale maatregel	1,9	1,7	JA	JA	JA	0,85
	DWP-78.043	Verticale maatregel	0	2	OPEN	n.v.t.	JA	0,83
	DWP-78.044	n.v.t.	2	1,4	NEE	JA	JA	0,79
	DWP-78.045	Verticale maatregel	0,5	1,3	JA	JA	JA	1,04
3	DWP-78.046	n.v.t.	1,1	1,1	NEE	JA	NEE	0,66
	DWP-78.047	n.v.t.	0,8	0,3	NEE	NEE	NEE	0,54
	DWP-78.048	n.v.t.	0	1,1	OPEN	n.v.t.	NEE	1,85
4	DWP-78.049	n.v.t.	1,1	0,3	NEE	NEE	NEE	0,80
5	DWP-78.050	n.v.t.	0,9	1,2	JA	JA	NEE	1,78
6	DWP-78.051	Verticale maatregel	1,8	1,8	JA	JA	JA	0,78
	DWP-78.052	n.v.t.	2,8	1,8	NEE	JA	JA	1,09
	DWP-78.053	n.v.t.	2,8	1,8	NEE	JA	JA	0,88
	DWP-78.054	n.v.t.	2,8	1,8	NEE	JA	JA	0,89
7	DWP-78.055	n.v.t.	2,8	1,8	NEE	JA	JA	0,85
	DWP-78.056	n.v.t.	3,3	1,3	NEE	NEE	NEE	0,78
	DWP-78.057	Verticale maatregel	0,2	1,9	JA	JA	JA	0,84
	DWP-78.058	Verticale maatregel	0,2	1,9	JA	JA	JA	0,85
	DWP-78.059	Verticale maatregel	0,5	1,4	JA	JA	JA	0,81
	DWP-78.060	Verticale maatregel	0,3	1,5	JA	JA	JA	0,81

6.1.3 D-Geo Flow

Met het rekenprogramma 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. De resultaten en vergelijking met de analytische berekening staan in Tabel 19. In Bijlage 5-II is de gehele analyse opgenomen. De aanscherping met D-Geo Flow leidt uiteindelijk niet tot andere ontwerpkeuzes. Op basis van het aanwezige verval is vervolgens de keuze voor een pipingmaatregel gemaakt.

Tabel 19: Resultaat D-Geo Flow in vergelijking met Sellmeijer analytisch

Profiel	Kritiek verval Sellmeijer [m]	Kritiek verval D-Geo Flow [m]	Vershil
78.035	1,26	1,41	+ 0,55
78.037	1,30	1,48	+ 0,57
78.042	0,85	0,86	+ 0,15
78.047	0,54	0,48	+ 0,24
78.055	0,85	0,78	- 0,04

6.2 Resultaten stabiliteitsberekeningen

6.2.1 Stabiliteitseis

De stabiliteitseis wordt bepaald door:

- Schadefactor;
- Modelfactor;
- Schematiseringsfactor.

De afleiding van de schadefactor is weergegeven in Tabel 20 en is afhankelijk van onder andere de trajectlengte. De modelfactor is conform de NvU [ref 1] en de afleiding van de schematiseringsfactor is opgenomen in Bijlage 6-II. De gehanteerde waarde per factor is weergegeven in Tabel 21. De resulterende stabiliteitseisen zijn gepresenteerd in Tabel 22.

Tabel 20: Afleiding schadefactor

STBI 78-1 Heel		STBU 78-1 Heel	
0.04	omega STBI	0.04	omega STBI
0.01	ondergrens	0.01	ondergrens
0.033	a	0.033	a
50	b	50	b
5200	L = totale lengte traject	5200	L = totale lengte traject
9.03E-05	faalkanseis dsn	9.03E-04	faalkanseis dsn
3.74	betrouwbaarheidsindex	3.12	betrouwbaarheidsindex
0.97	schadefactor	0.88	schadefactor
11080	terugkeertijd [jaar]	1108	terugkeertijd [jaar]



Tabel 21: Factoren ten grondslag aan de stabiliteitseis

Factor	Waarde [-]
Schadefactor (STBI)	0.97
Schadefactor (STBU)	0.88
Modelfactor Bishop	1.11
Modelfactor LiftVan	1.06
Schematiseringsfactor	1.11

Tabel 22: Resulterende stabiliteitseisen

SF eis STBI. Bishop	SF eis STBI. LiftVan	SF eis STBU. Bishop	SF eis STBU. LiftVan
1.20	1.14	1.08	1.03

6.2.2 D-Geo Stability

De berekeningen voor macrostabiliteit zijn uitgevoerd met D-Geo Stability versie 18.1, zie Bijlage 6-IV voor de UGT berekeningen en Bijlage 6-V voor de BGT berekeningen inclusief bovenbelasting per dwarsprofiel. Een overzicht van de resultaten is gepresenteerd in Tabel 23.

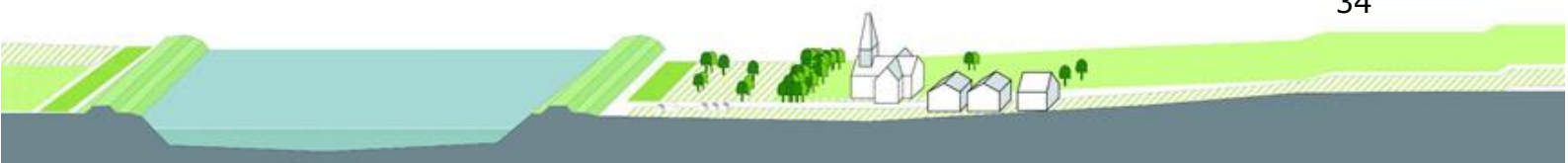
Tabel 23: Resultaat van de berekeningen op macrostabiliteit

Dijkvak	Faalmechanisme	Type versterking	SF eis	SF berekend	incl. Bovenbelasting
1	STBI	1/3	1.14	1.37	1.25
	STBU	1/3	1.03	1.32	1.32
2	STBI	1/3 + scherm	1.14	2.81	2.48
	STBU	1/3	1.03	1.35	1.28
3	STBI	1/3	1.14	3.95	3.01
	STBU	1/3	1.03	1.33	1.33
4	STBI	1/3	1.14	2.21	1.95
	STBU	1/3	1.03	3.10	
5	STBI	1/3	1.14	1.88	1.88
	STBU	1/3,5	1.08	1.19	1.19
6	STBI	1/3	1.14	1.28	1.28
	STBU	1/3	1.03	1.28	1.28
7	STBI	1/3	1.14	1.37	1.20
	STBU	1/3	1.03	1.22	1.22

Te zien is dat voor dijkvak 2 een stabiliteitsscherm aan de binnenzijde benodigd is, omdat het talud flauwer zou moeten zijn dan 1:3,5. Aangezien binnen dit dijkvak een heavescherm noodzakelijk is en men de buitendijkse verplaatsing tot een minimum wil beperken, is besloten dit heavescherm tevens te laten fungeren als stabiliteitsscherm.

Bij dijkvak 5 dient buitenwaarts een taludhelling van 1:3,5 toegepast te worden. Dit dijkvak kenmerkt zich door het relatief grote verschil tussen kruin en teen, waardoor een talud van 1:3 niet stabiel is.

Voor de overige dijkvakken kan een taludhelling van 1:3 aangehouden worden.



6.2.3 Toets stabiliteitsschermen

In Plaxis is voor een maatgevende doorsnede getoetst of het heavescherm kan fungeren als stabiliteitsscherm. De verhouding tussen lengte scherm en dikte deklaag is maatgevend. Bij deze toetsing is uitgegaan van een diepte van tweemaal het verval vanaf maaiveld⁴. Uit de berekening blijkt dat het heavescherm binnen dijkvak 2 voldoende diep is om tevens als stabiliteitsscherm te fungeren. De berekening en bijgaande uitgangspunten zijn terug te vinden in Bijlage 7.

6.3 Niet waterkerende objecten

Omwille van de niet waterkerende objecten (NWO's) is de stabiliteitszone berekend met D-Geo Stability en Plaxis door te toetsen wat het effect is van eventuele ontgrondingskuilen door erosiekraters of omgevallen bomen. In Tabel 24 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 24: Stabiliteitszones per dijkvak

Dijkvak	Binnenwaarts [m]	Buitenwaarts [m]
Dijkvak 1	Binnenwaartse insteek drainagesloot	4
Dijkvak 2	Uiteinde kernzone door stabiliteitsscherm	4
Dijkvak 3	4	4
Dijkvak 4	4	4
Dijkvak 5	2	4
Dijkvak 6	4	4
Dijkvak 7	11,5	4

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. Het resultaat van deze analyse is opgenomen in Bijlage 6-VI, de berekeningen zijn opgenomen in de ontwerpmap -> Ontwerpmap Heel\03 Faalmechanismen\03 Macrostabiliteit\01 Berekeningen\NWOs. Hieruit blijkt dat de buitenwaartse stabiliteitszone 4 m buiten de buitenteen gelegen is. Dit betekent dat eventuele ontgrondingskuilen door het falen van NWO's buiten deze zone moeten blijven om de stabiliteit van de waterkering te kunnen borgen. Op locaties waar cruciale NWO's binnen de stabiliteitszone liggen, kan locatie specifiek beoordeeld worden of een NWO gehandhaafd kan blijven. Binnen het ontwerp is expliciet rekening gehouden met cruciale NWO's, waardoor er geen cruciale NWO's gesaneerd hoeven te worden.

⁴ In een later stadium zijn vanuit heave-oogpunt alle schermen nog een meter verlengd.



6.3.2 NWO's binnendijks

Binnen dijkvak 1 is het uiteinde van de drainagesloot maatgevend als stabiliteitszone binnendijks. Binnen dijkvak 2 is een stabiliteitsscherm voorzien. Op basis van een Plaxis-berekening, zie Bijlage 7, blijkt dat de stabiliteitszone 0 m is. De stabiliteitszone binnenwaarts voor de dijkvakken 3, 4, 5, 6 en 7 is afgeleid met behulp van D-Geo Stability. Dit is gedaan door te berekenen op welke afstand van de waterkering een ontgrondingskuil nog impact heeft op de veiligheidseis van de kritieke glijcirkel. Het resultaat van deze analyse is opgenomen in Bijlage 6-VI, de berekeningen zijn opgenomen in de ontwerpmap -> Ontwerpmap Heel\03 Faalmechanismen\03 Macrostabiliteit\01 Berekeningen\NWOs. Hieruit blijkt dat de binnenwaartse stabiliteitszone tussen de 11,5 m en 2 m buiten de binnenteen gelegen is. Dit betekent dat eventuele ontgrondingskuilen door het falen van NWO's buiten deze zone moeten blijven om de stabiliteit van de waterkering te kunnen borgen. Op locaties waar cruciale NWO's binnen de stabiliteitszone liggen kan locatie specifiek beoordeeld worden of een NWO gehandhaafd kan blijven.

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 13 (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. Om te voorkomen dat de ontgrondingskrater overlapt met de berekende stabiliteitszone mogen er buitendijks geen bomen in een zone van 4,0 + 2,0 is 6,0 m buiten de buitenteen staan. Binnendijks verschilt de stabiliteitszone en dus ook de zone waarbinnen bomen niet zijn toegestaan.

De schaduwwerking van bomen 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. Om schaduwwerking te voorkomen zou naar verwachting plaatselijk een bredere zone toegepast kunnen worden waarbinnen bomen gekapt moeten worden.

6.3.4 Kabels en leidingen

De impact van alle kabels en leidingen is beschouwd. Het resultaat van deze analyse is opgenomen in Bijlage 10. Hieruit blijkt dat ter plaatse van de Wessemerweg, nabij dijkpaal 78.035, een vervangende waterkering noodzakelijk is. Deze vervangende waterkering dient een breedte van 25 meter te hebben. Op basis van een D-Sheet Piling som, zie Bijlage 11, blijkt dat minimaal een AZ18-700 plank benodigd is en dat de vervangende waterkering een totale lengte van 8 meter heeft. Let op: de uitgangspunten die ten grondslag liggen aan deze berekening staan ter discussie. Hierdoor is het aannemelijk dat de berekeningen over moeten en de resultaten veranderen.



Voor de parallel liggende leidingen zijn geen extra maatregelen ten behoeve van de dijkstabiliteit noodzakelijk. Binnen dijkvak 2 borgt het stabiliteitsscherm de hoogwaterveiligheid bij een eventueel falende parallel liggende leiding. In Tabel 25 is een overzicht van te treffen maatregelen ten behoeve van kabels en leidingen opgenomen.

Tabel 25: Overzicht maatregelen ten behoeve van kabels en leidingen

Dijkvak	Type leiding	Maatregel	Id-nr. in Bijlage 10
0	Diverse soorten persrioleringen	Leidingen vervangen	1 t/m 7
1	Persriool en laagspanning	Leidingen vervangen, ter plaatse van de kruising wordt een vervangende waterkering toegepast	8 en 9
2	Laagspanning en middenspanning	Kabels verleggen	11 en 15
3	Kruizende en parallel liggende laagspanning, water en persleidingen	Herstellen conform NEN3651	16 t/m 23
4	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
5	n.v.t.	n.v.t.	24 t/m 27
6	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
7	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.

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 Microstabiliteit en grasbekleding afschuiven binnentalud

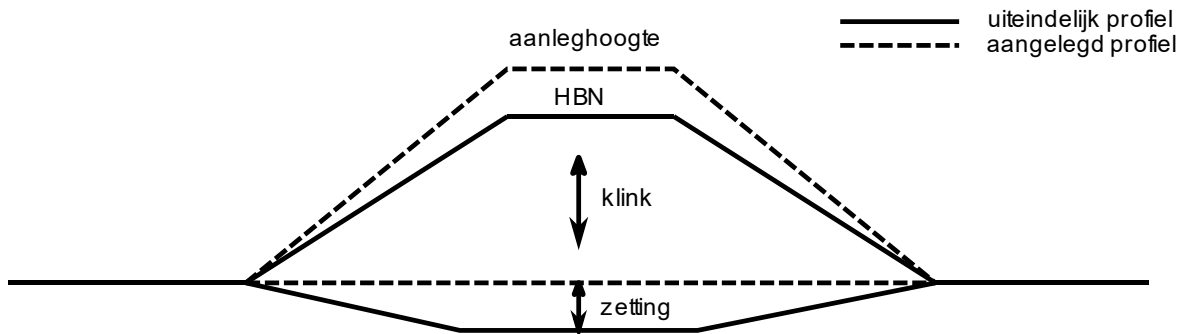
Het dijkontwerp is getoetst op microstabiliteit en afschuiven van grasbekleding ter plaatse van het binnentalud met behulp van de rekenregels in bijlage D van de Schematiseringshandleiding Grasbekleding [ref 11]. Hierbij is uitgegaan van een freatisch vlak ter plaatse van de binnenteen gelijk aan MHW. 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 Bijlage 8.

6.5 Zetting en klink

Voor de dijken dient rekening 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 worden voor Heel niet relevant geacht, omdat de ontwerphoogte lager is dan de reeds aanwezige hoogte.

De aanleghoogte is HBN + zetting + klink, zie Figuur 8.





Figuur 8 Verschil tussen aanleghoogte en dijkhoogte

6.5.1 Restzetting

De zettingen in de ondergrond zijn voor Heel niet relevant, omdat de ontwerphoogte lager is dan de reeds aanwezige hoogte.

6.5.2 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 conservatief uitgaande van het aanbrengen van natte klei, zie paragraaf 8.1.7.

7 Kunstwerken

7.1 Overzicht kunstwerken

In Tabel 26 staan de kunstwerken binnen het normtraject weergegeven. Per kunstwerk is een korte beschrijving gegeven en is aangegeven of er voor het betreffende kunstwerk een ontwerp is opgenomen.

Tabel 26: Kunstwerken

Locatie	Beschrijving	Opmerking	Bijlage of referentie
78.030A	Valput aan het uiteinde van de regionale watergang	Alleen locatie is bepaald	Bijlage 16
78.030A	Afsluiter op 1 sifonduiker onder kanaal Wessem-Nederweert en permanent afsluiten van 2 van de 3 sifonduikers.	Geen ontwerp voor opgenomen	Bijlage 16
78.030A	Saneren regelwerk tussen Panheelderbeek en voormalige Sleybeek	Geen ontwerp voor opgenomen	Bijlage 16
78.030A	Saneren huidige valput tussen RWZI en voormalige Sleybeek	Geen ontwerp voor opgenomen	Bijlage 16
78.030A	Saneren huidige inlaat Sleybeek	Geen ontwerp voor opgenomen	Bijlage 16
78.035A - 78.031+50	Dichtzetten sifon onder Tesken en saneren in- en uitstroompunt	Geen ontwerp voor opgenomen	Bijlage 16
78.035-90	Vervangende waterkering t.b.v. kruising persriool	Breedte van de waterkering ter plaatse van de	Bijlage 11

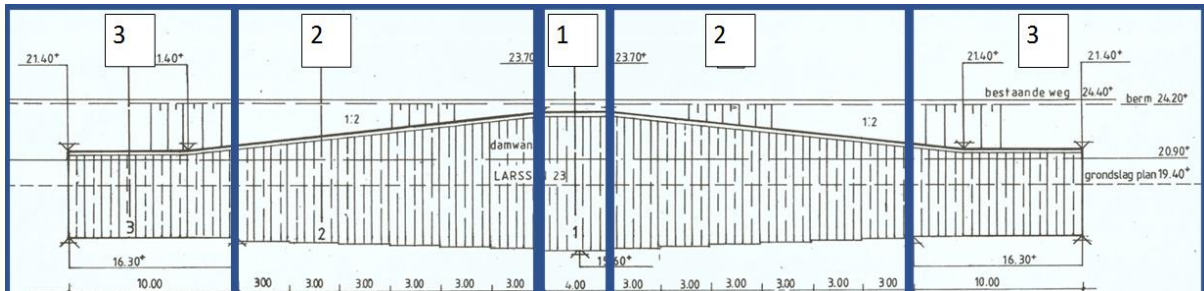


HWBP Noordelijke Maasvallei

		vervangende waterkering wordt 6 meter conform NEN3651 [ref 9]	
78.035	Inlaatduiker	Breedte waterkering conform referentieontwerp en diameter leiding 600 mm	Bijlage 12 en Bijlage 13
78.036	Verlenging overstort rioolleiding tot drainagesloot	Locatie opgenomen in ontwerptekening	Bijlage 16
78.036	Afvoersloot wadi	Locatie opgenomen in ontwerptekening	Bijlage 16
78.036	Bruggetje over drainagesloot t.b.v. looproute	Locatie nieuw bruggetje opgenomen in ontwerptekening	Bijlage 16
Dijkvak 2	Stabiliteitsscherm en heavescherm	Diepte heavescherm op basis van $\Delta H * 2 + 1,0$ m, diepte volstaat tevens voor stabiliteit	Bijlage 4-IV
Dijkvak 4	Damwand Pol in buitentalud van de waterkering	Zie Bijlage 14 voor de details aangaande het ontwerp. Een uitgebreidere beschrijving is opgenomen in paragraaf 7.2	Bijlage 14 en paragraaf 7.2
78.050 tot 78.052	Heavescherm	Diepte heavescherm op basis van $\Delta H * 2 + 1,0$ m	Bijlage 4-IV
Dijkvak 7	Heavescherm	Diepte heavescherm op basis van $\Delta H * 2 + 1,0$ m	Bijlage 4-IV

7.2 Damwand Pol

De damwand te Pol binnen dijkvak 4 is op een groter detailniveau uitgewerkt dan de meeste andere kunstwerken opgenomen in Tabel 26. De configuratie van de damwand is vergelijkbaar met het huidige ontwerp, zie Figuur 9.



Figuur 9 vooraanzicht huidige damwand Pol en sectie-indeling nieuw ontwerp

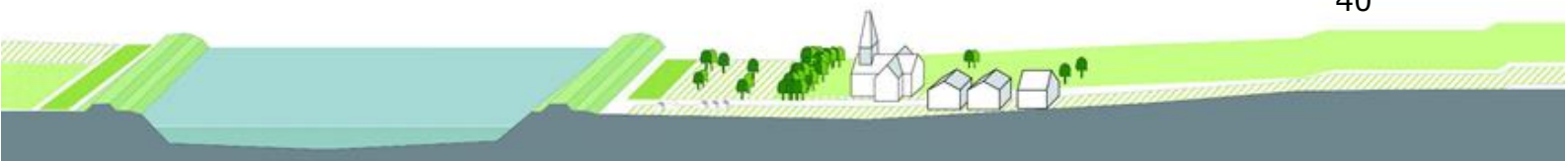
Plaatsing van de nieuwe damwand is circa 0,5 m buitenwaarts van de huidige ligging. Het ontwerp is opgedeeld in 3 secties. In Tabel 27 zijn de belangrijkste ontwerpuitkomsten opgenomen.



Tabel 27: Ontwerp damwand Pol

Eigenschap	Sectie 1	Sectie 2	Sectie 3	Eenheid
Damwandtype	AZ18-700	AZ18-700	AZ18-700	-
Staalkwaliteit	S240GP	S240GP	S240GP	-
Onderzijde damwandplank	14,0	14,0	15,0	m + NAP
Bovenzijde dampwandplank	23,7	22,3	21,4	m + NAP
Verankering	Ja	Nee	Nee	-

Alleen in sectie 1 wordt de damwand verankerd. Uitgangspunt is dat de trekankers h.o.h. 2,8 m uit elkaar liggen en 15 m diep zijn. Gezien de beperkte breedte van sectie 1 betekent dit dat er 2 ankers nodig zijn.



8 Aandachtspunten voor realisatie

In het navolgende zijn aandachtspunten voor de uitvoering gegeven. Benadrukt wordt dat het geen uitputtende lijst betreft, maar slechts de meest belangrijke zaken voor de aanleg van de waterkeringen. Het nog op te stellen uitvoeringsplan dient mede gebaseerd te worden op deze aandachtspunten.

8.1 Eisen aan uitvoering

8.1.1 Aanbrengen dijken

Het aanbrengen van de dijken 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 grondbewerkingstechnieken 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%. Indien de gemiddelde verdichtingsgraad minder is, moet dit gecompenseerd worden met voldoende overhoogte voor klink.

8.1.4 Verdichting klei op talud en in kern

De klei dient te worden aangebracht volgens de eisen in het Technisch Rapport Klei voor Dijken [ref 10]. 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 gehooïd 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 maaïen 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 10 cm uitgaande van 0,0 m restzetting en een aanleghoogte van HBN + 0,1 m. Dit volstaat, mits de dijk zandig is (bijvoorbeeld



HWBP Noordelijke Maasvallei

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. IO.10.001 Ontwerphoogte en Hydraulische Randvoorwaarden ten behoeve van zeef 2, Hoogwaterbeschermingsprogramma Noordelijke Maasvallei, Ingenieursbureau Maasvallei (Arcadis en Witteveen+Bos), 19-06-2017, kenmerk: 5187
- ref 3. KPR factsheet werkwijze macrostabiliteit i.c.m. golfoverslag OI2014v4, De Visser en Jongejan, 08-03-2018, versie 2
- ref 4. Technische Rapport Waterspanningen bij Dijken, TAW, september 2004
- ref 5. Ministerie van Verkeer en Waterstaat, ENW, Addendum I bij de Leidraad Rivieren, t.b.v. het ontwerp van rivierdijken
- ref 6. Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Schematiseringshandleiding piping, WBI 2017, 02-01-2017, Definitief
- ref 7. CB.25.003 Interpretatie verdiepend geotechnisch onderzoek Nieuw-Bergen, Belfeld, Beesel en Heel, 18-12-2018, status concept
- ref 8. Overkoepelend memo werkprotocol piping, 01-03-2018, concept
- ref 9. NEN 3651 (nl), Aanvullende eisen voor buisleidingen in of nabij belangrijke waterstaatswerken, juni 2012
- ref 10. Technische adviescommissie voor de waterkeringen, Technisch rapport klei voor dijken, Delft, mei 1996
- ref 11. Schematiseringshandleiding grasbekleding, Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 1 december 2016
- ref 12. Ministerie van Infrastructuur en Milieu, Handreiking ontwerpen met overstromingskansen, Veiligheidsfactoren en belastingen bij nieuwe overstromingskansnormen, OI2014 v4, februari 2017, Definitief
- ref 13. Ministerie van Infrastructuur en Milieu, Regeling veiligheid primaire waterkering 2017, Bijlage III, Ministerie van Infrastructuur en Milieu
- ref 14. Expertisenetwerk Waterveiligheid, ENW, Technisch Rapport Grondmechanisch Schematiseren bij Dijken, Oktober 2012
- ref 15. Ingenieursbureau Maasvallei (Arcadis en Witteveen+Bos), Piping parameters voor VO+ ontwerp, HWBP Noordelijke Maasvallei 07-09-2018, kenmerk: 8845, Versienummer: 1.0, Status: 100%



Bijlage 1 **GEOTECHNISCH LENGTEPROFIEL**



Bijlage 2 PROEVENVERZAMELING

Grondlaag	Formatie	γ_{nat} (kN/m ³)	γ_{sat} (kN/m ³)	S_{kar}	m_{kar} (-)	POP _{kar} (kPa)	$\phi'_{cv;kar}$ (°)
Zand dijk	antropogeen	19,5	20,5	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	29,5
Klei dijk	antropogeen	19,5	20	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	28,5
Klei zandig	Beegden / Holoceen	17 a 19	18 a 20	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	29,5
Lokale beekdalafzettingen (veen)	Holoceen	11	11	0,3	0,8	15	n.v.t.
Lokale beekdalafzettingen of opgevulde Maasmeanders (organische klei)	Holoceen	14	14	0,22	0,8	10	n.v.t.
Zand, matig grof (hoekig zand)	Holoceen	18	20	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	32
Zand, matig fijn (afgerond zand, windafzetting)	Boxtel	17	19	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	28,33
Zand, grof / grind, fijn	Beegden	19	20	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	32 *

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

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

* de verwachting is dat de $\phi'_{cv;kar}$ van grindhoudend zand hoger is dan 32°



Bijlage 3 **KRUINHOOGTE PER DIJKVAK**



Bijlage 4 **ANALYTISCHE BEREKENINGEN** **PIPING**

- I. Dwarsprofielen
- II. Schematiseringsfactor
- III. Resultaat analytische berekeningen
- IV. Type pipingmaatregel
- V. Geohydrologische impact van heaveschermen
- VI. Werking drainageoplossing



Bijlage 5 **D-GEO FLOW BEREKENINGEN**

- I. Doorlatendheid en korrelverdelingen - Noordelijke Maasvallei
- II. Memo resultaat berekeningen D-Geo Flow

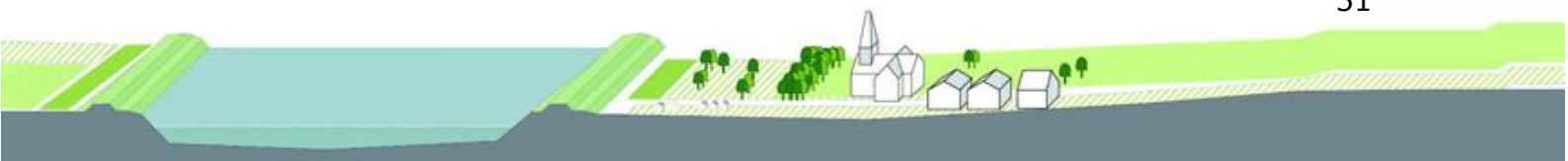


Bijlage 6 **MACROSTABILITEITSBEREKENINGEN**

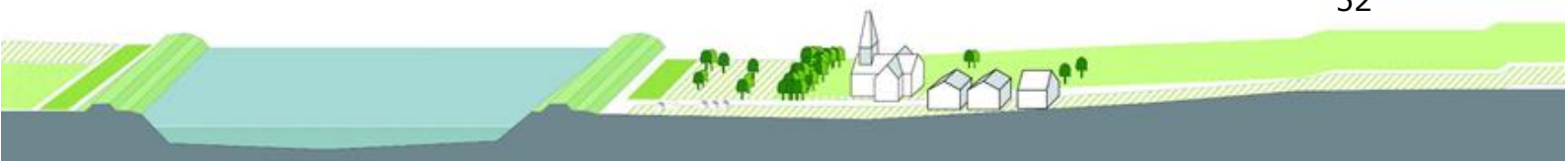
- I. Ondergrondschematisatie
- II. Schematiseringsfactor
- III. Gevoeligheden verzadigde dijk
- IV. Berekeningen per dijkvak UGT
- V. Berekeningen per dijkvak BGT
- VI. Bepaling stabiliteitszone



Bijlage 7 **PLAXIS-BEREKENINGEN**



Bijlage 8 **STMI EN GABI BEREKENINGEN**



Bijlage 9 **VOORLAND**



Bijlage 10 **KABELS EN LEIDINGEN**



Bijlage 11 **BEREKENING VERVANGENDE WATERKERING**



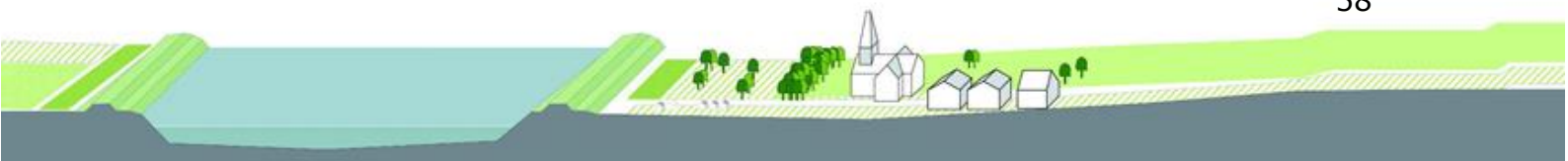
Bijlage 12 **PRINCIPE ONTWERP INLAATDUIKER**



Bijlage 13 **DIAMETER INLAATDUIKER**



Bijlage 14 **ONTWERP DAMWAND POL**



Bijlage 15 **ONTWERPNOTA DIJKVAK 0 DT 78-1**
HEEL



Bijlage 16 **ONTWERPTEKENING (DO)**

