

Notitie kansrijke alternatieven

Dijkversterking Monnickendam Zeedijk



Lijst met aanpassingen

Versie	Datum	Beschrijving van de wijziging	Herzien	Vrijgegeven door
C0.1	07-04-2023	Opzet van de notitie		
C1.0	28-07-2023	Uitwerken van de notitie		Bert Jan Bos
D1.0	01-09-2023	Verwerken feedback HHNK		Bert Jan Bos
D1.1	20-10-2023	Verwerken feedback HHNK		Bert Jan Bos
C2.0	01-12-2023	Toevoegen 4 ^e alternatief, 90% versie		Bert Jan Bos
D2.0	22-12-2023	Toevoegen 4 ^e alternatief, 100% versie		Bert Jan Bos
D2.1	29-01-2024	Verwerken feedback HHNK		Bert Jan Bos

Sweco Nederland B.V.

Onderwerp

Dijkversterking Monnickendam
Zeedijk

Projectnummer

51008416

Klant

Hoogheemraadschap Hollands
Noorderkwartier

Auteurs

Sven Suijkens, Tom Raadgever,
Maurits Kampen, Durk de Vries,
Mark Grutters, Daisy de Vries,
Eveline Stroink, Diana de León
Subías, Nadine Keller, Bas Huver,
Arjan de Raad, Anne Bonthuis

Gecontroleerd door

Tom Raadgever

Datum

29-01-2024

Versie

D2.1

Vrijgegeven door

Bert Jan Bos




Document referentie

wp 3.2 notitie kansrijke alternatieven 20240129 d2.1

Inhoudsopgave

1	Inleiding	6
1.1	Aanleiding	6
1.2	Doelen project	7
1.3	Zeeproces verkenningsfase	7
1.4	Doel notitie	8
1.5	Betrokkenheid omgeving	8
1.6	Leeswijzer	8
2	Effectbeoordeling mogelijke oplossingsrichtingen	10
2.1	Mogelijke oplossingsrichtingen	10
2.2	Methodiek effectbeoordeling	11
2.3	Effectbeoordeling techniek	14
2.3.1	Overzicht resultaten effectbeoordeling techniek	14
2.3.2	Effectbeoordeling waterveiligheidswinst	14
2.3.3	Effectbeoordeling uitvoerbaarheid	14
2.3.4	Effectbeoordeling beheerbaarheid	16
2.3.5	Effectbeoordeling aanpasbaarheid	16
2.4	Effectbeoordeling milieu	17
2.4.1	Overzicht resultaten effectbeoordeling milieu	17
2.4.2	Effectbeoordeling natuur	17
2.4.3	Effectbeoordeling waterkwantiteit	21
2.4.4	Effectbeoordeling bodem	22
2.4.5	Effectbeoordeling circulariteit en emissies	24
2.5	Effectbeoordeling omgeving	27
2.5.1	Overzicht resultaten effectbeoordeling omgeving	27
2.5.2	Effectbeoordeling landschap en ruimtelijke kwaliteit	28
2.5.3	Effectbeoordeling cultuurhistorie	29
2.5.4	Effectbeoordeling archeologie	30
2.5.5	Effectbeoordeling recreatie en medegebruik	31
2.5.6	Effectbeoordeling woon, werk- en leefmilieu	31
2.5.7	Effectbeoordeling landbouw	32
2.5.8	Effectbeoordeling verkeer	33
2.6	Effectbeoordeling kosten	34
2.6.1	Overzicht resultaten effectbeoordeling kosten	34
2.6.2	Effectbeoordeling investeringskosten	35
2.6.3	Effectbeoordeling subsidiabel	35
3	Afweging en selectie kansrijke alternatieven	36
3.1	Methode afweging	36
3.2	Afweging kansrijke alternatieven	36
3.2.1	Oplossingsrichting A: Binnenwaarts	37

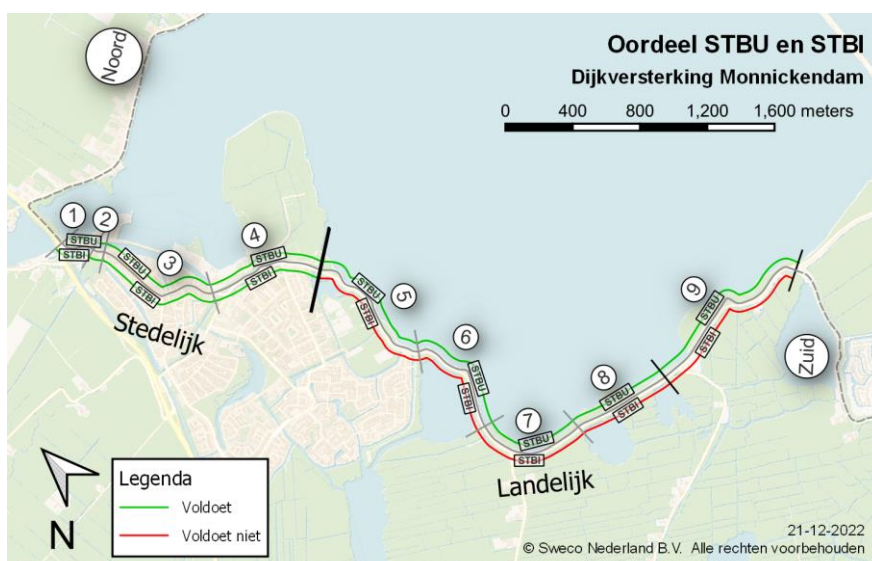
3.2.2	Oplossingsrichting B: Buitenwaarts	38
3.2.3	Oplossingsrichting C: Kruinverlaging	38
3.2.4	Oplossingsrichting D: Profielbehoud	41
3.3	Selectie kansrijke alternatieven.....	41
4	Kansrijke alternatieven	43
4.1	Kansrijk alternatief: A. Binnenwaarts	43
4.1.1	Beschrijving kansrijk alternatief	43
4.1.2	Uitwerking ruimtebeslag en dwarsprofielen	43
4.1.3	Uitvoeringswijze	45
4.2	Kansrijk alternatief: B. Buitenwaarts	46
4.2.1	Beschrijving kansrijk alternatief	46
4.2.2	Uitwerking ruimtebeslag en dwarsprofielen	46
4.2.3	Uitvoeringswijze	48
4.3	Kansrijk alternatief: C. Kruinverlaging	48
4.3.1	Beschrijving kansrijk alternatief	48
4.3.2	Uitwerking ruimtebeslag en dwarsprofielen	49
4.3.3	Uitvoeringswijze	50
4.4	Kansrijk alternatief: D. Profielbehoud.....	51
4.4.1	Beschrijving kansrijk alternatief	51
4.4.2	Uitwerking ruimtebeslag en dwarsprofielen	51
4.4.3	Uitvoeringswijze	54
	Bijlage A: Beoordeling- en afwegingskader	55
	Bijlage B: Effectbeoordeling natuur	56
	Bijlage C: Technische ontwerpnota kansrijke alternatieven	57
	Bijlage D: Uitvoeringsnotitie	58
	Bijlage E: Ruimtebeslag kansrijke alternatieven	59

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

Alle dijken in Nederland worden periodiek getoetst op veiligheid. In een landelijke toetsronde in 2011 zijn delen van de dijk rond Monnickendam afgekeurd. Deze delen moeten versterkt worden en zijn daarmee in de programmering van het Hoogwaterbeschermingsprogramma (HWBP) opgenomen. De Monnickendam Zeedijk is opgedeeld in twee delen: Monnickendam Stedelijk en Monnickendam Landelijk. Op basis van een nadere veiligheidsanalyse is vervolgens gebleken dat er alleen een versterkingsopgave is op het gedeelte Monnickendam Landelijk.

De dijk is van groot belang voor de regio. Bij een eventuele doorbraak kan een groot gedeelte van de achterliggende polder overstroom, waarbij het water tot aan Amsterdam kan reiken. De dijk dankt zijn naam aan de vroegere bescherming tegen de Zuiderzee en heeft een monumentale status. In het landschap is de historie van het gebied nog goed zichtbaar: verschillende braken herinneren aan de stormvloed in 1916. Deze historie heeft ook invloed op de huidige staat van de dijk. Het gaat om een relatief hoge en zware dijk die rust op een slappe grond. Dit heeft een nadelige invloed op de stabiliteit. De laatste grote versterking van de dijk heeft circa 100 jaar geleden plaatsgevonden en in die tijd is verzwakking opgetreden.



Figuur 1. Overzicht dijkvakken en toetsing

1.2 Doelen project

De hoofddoelen voor de dijkversterking Monnickendam Zeedijk zijn:

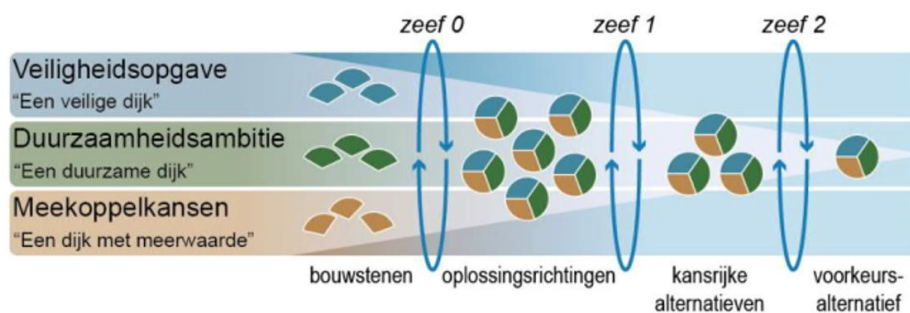
1. het opleveren van een veilige dijk;
2. de dijk op een duurzame manier versterken;
3. een dijk ingepast in de omgeving;
4. de dijk op een sobere en doelmatige manier versterken.

Een veilige dijk is voor het project de belangrijkste doelstelling. Na de versterking moet deze weer aan de wettelijke norm voldoen. HHNK heeft de ambitie uitgesproken om hierbij zo duurzaam mogelijk te werken. De ambities met betrekking tot duurzaamheid en de totstandkoming daarvan zijn beschreven in de “Notitie kansenscan duurzaamheid”. Vanaf de eerste processtappen in de dijkversterking heeft duurzaamheid daarom een prominente rol. Er wordt actief gezocht naar duurzame oplossingen in de Verkennings-, Planuitwerkings-, en Realisatiefase om zo de meeste kansen te creëren op een duurzaam ontwerp en uitvoering.

HHNK streeft er naar de omgeving actief te betrekken in het project om zo tot een breed gedragen oplossing te komen. Hierbij is er naast een goede inpassing ook nadrukkelijk aandacht voor meekoppelkansen in het project. Tot slot moet er spaarzaam worden omgegaan met maatschappelijke middelen. Een sobere en doelmatige oplossing is een vereiste voor subsidie vanuit het HWBP.

1.3 Zeefproces verkenningsfase

Het zeefproces in de verkenningsfase verloopt van grof naar fijn. In Figuur 2 is het proces schematisch weergegeven.



Figuur 2. Zeefproces verkenningsfase

Zeef 0 was gericht op het identificeren van de kansrijke bouwstenen en het onderbouwd laten afvallen van onmogelijke bouwstenen op basis van “no go’s”. Op basis van de veiligheidsopgave, de duurzaamheidsambitie en eventuele meekoppelkansen zijn eerst alle mogelijke bouwstenen verzameld. We zien bouwstenen als fysieke mogelijkheden om de waterkering te verbeteren ten behoeve van de waterveiligheid of een andere functie. De mogelijke bouwstenen zijn beoordeeld om te komen tot kansrijke bouwstenen. De kansrijke bouwstenen zijn vervolgens gecombineerd tot mogelijke

oplossingsrichtingen. Deze dekken de mogelijke oplossingsruimte af en zijn onderling onderscheidend. Dit zorgt er voor dat we onderbouwd kunnen trechters en niet hoeven terug te komen op eerdere keuzes. De resultaten van Zeef 0 tot en met de uitwerking van mogelijke oplossingsrichtingen zijn vastgelegd in de Notitie mogelijke oplossingsrichtingen ¹.

Deze notitie beschrijft Zeef 1 en de kansrijke alternatieven die daar uit volgen. In Zeef 2 zullen vervolgens de kansrijke alternatieven in meer detail worden beoordeeld en afgewogen om tot een voorkeursalternatief te komen.

1.4 Doel notitie

Het doel van deze notitie is om in kaart te brengen welke oplossingsrichtingen om aan de versterkingsopgave te voldoen kansrijk zijn. De oplossingsrichtingen die worden afgewogen zijn eerder beschreven in de Notitie mogelijke oplossingsrichtingen. Deze notitie beschrijft de aanpak en resultaten van Zeef 1, inclusief effectbeoordeling, afweging en selectie van kansrijke alternatieven, en de uitwerking van de kansrijke alternatieven. De kansrijke alternatieven worden vervolgens als input worden gebruikt voor de laatste zeefstap (Zeef 2) om te komen tot een Voorkeursalternatief.

1.5 Betrokkenheid omgeving

In het proces van de dijkversterking wordt de omgeving nauw betrokken. De afgelopen periode zijn voor de omwonenden keukentafelgesprekken en een informatieavond over de mogelijke oplossingsrichtingen georganiseerd. De gebiedspartners zijn o.a. via externe ontwerpateliers en omgevingstafels betrokken om op deze manier inzichten te kunnen delen. Ook zijn er meerdere inhoudelijke gesprekken geweest met de provincie Noord-Holland en de gemeente Waterland over de verkeerssituatie tijdens de realisatiefase van de dijkversterking. De Notitie Reikwijdte en Detailniveau (NRD) heeft ter inzage gelegen en met de Commissie voor de m.e.r. is afstemming geweest over het project in het kader van het aan hun gevraagde advies over de NRD. Het GS besluit van 7 november 2023 over de reikwijdte en detailniveau van de m.e.r., en onderliggend advies van de Commissie voor de m.e.r. is meegenomen in deze nota. Tot slot zijn ook de potentiële meekoppelkansen die door de omgeving worden aangedragen doorlopend in beeld gebracht. Ook in de volgende zeefstappen zal deze betrokkenheid met de omgeving en gebiedspartners worden voortgezet door o.a. een nieuwe ronde keukentafelgesprekken en een informatieavond.

1.6 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 is de effectbeoordeling van de mogelijke oplossingsrichtingen gegeven, op basis van de criteria van het beoordelingskader. De gebruikte beoordelingsmethode wordt toegelicht. In hoofdstuk 3 wordt een afweging gemaakt van de mogelijke oplossingsrichtingen en worden de kansrijke alternatieven geselecteerd. Op basis van nieuw opgedane kennis zijn tijdens het doorlopen van zeef 1 nieuwe en gedetailleerde inzichten ontstaan ten opzichte van de (initiële) mogelijke oplossingsrichtingen. Deze inzichten zijn ook in hoofdstuk 3 beschreven en wegen mee in de afweging. In hoofdstuk 4

¹ Notitie mogelijke oplossingsrichtingen, Sweco, mei 2023

worden de kansrijke alternatieven beschreven, inclusief dwarsdoorsnedes en ruimtebeslag.

In bijlage A is het beoordelings- en afwegingskader opgenomen welke gebruikt is voor de effectbeoordeling en afweging van de mogelijke oplossingsrichtingen. In bijlage B is de effectbeoordeling van natuur opgenomen. Vanwege de omvang en ten behoeve van de leesbaarheid is voor dit thema in de hoofdttekst enkel een samenvatting gegeven. Bijlage C betreft de Technische ontwerpnota van de kansrijke alternatieven en hierin zijn ook de eerder genoemde nieuwe inzichten verwerkt. Bijlage D betreft de uitvoeringsnotitie van de geselecteerde kansrijke alternatieven. In bijlage E zijn tekeningen in volledig formaat van de geselecteerde kansrijke alternatieven opgenomen.

2 Effectbeoordeling mogelijke oplossingsrichtingen

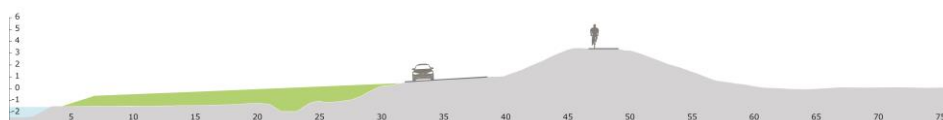
2.1 Mogelijke oplossingsrichtingen

De vier mogelijke oplossingsrichtingen (Tabel 1) die worden beoordeeld zijn al uitgewerkt in de Notitie mogelijke oplossingsrichtingen. In Tabel 1 vatten we de oplossingsrichtingen en de bouwstenen die daarbinnen kunnen worden toegepast samen. Figuur 3 t/m Figuur 6 geven karakteristieke dwarsprofielen van iedere oplossingsrichting weer. Voor een uitgebreide omschrijving en ontwerpen van de mogelijke oplossingsrichtingen (kaarten en dwarsprofielen) wordt verwezen naar de notitie mogelijke oplossingsrichtingen.

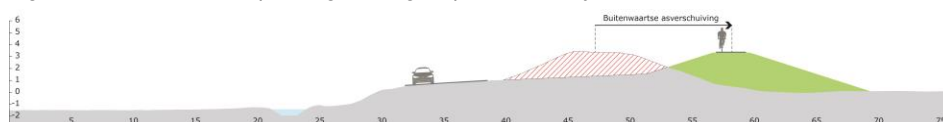
Ten opzichte van de beschrijving in de voorgaande notitie is door nieuwe inzichten een wijziging doorgevoerd. Bij de binnenwaartse oplossing kan tijdens de uitvoering en daarna door vervormingen van het grondlichaam schade optreden aan kabels & leidingen en de N518. Daarom zijn bij de binnenwaartse oplossingsrichting aanvullende maatregelen opgenomen voor (tussentijds) herstel van de weg en het verleggen van kabels en leidingen. Deze zijn meegenomen in de kostenraming en effectbeoordeling.

Tabel 1. Mogelijke oplossingsrichtingen

Oplossingsrichting	Bouwstenen waterveiligheid
A. Binnenwaarts	Verbreden binnenberm (met of zonder grondverbetering) Verflauwen binnentalud Dempen / verleggen teensloot Maatregelen N518 + Verleggen K&L Optie: verhogen berm
B. Buitenwaarts	Buitenwaartse asverschuiving
C. Kruinverlaging	Verlagen kruin Verbeteren erosiebestendigheid bekleding
D. Profielbehoud	Stabiliteitsconstructie Innovatieve grondoplossingen



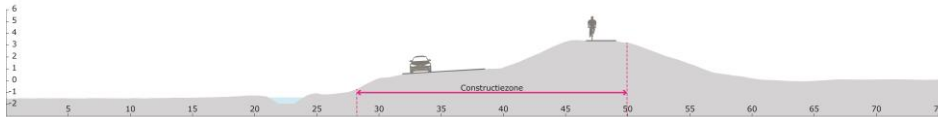
Figuur 3. Binnenwaartse oplossingsrichting ter plaatse van dijkvak 8



Figuur 4. Buitenwaartse oplossingsrichting ter plaatse van dijkvak 8



Figuur 5. Kruinverlaging ter plaatse van dijkvak 8



Figuur 6. Profielbehoud ter plaatse van dijkvak 8

2.2 Methodiek effectbeoordeling

Voor de effectbeoordeling wordt gebruik gemaakt van het vastgestelde beoordelingskader. Het betreft feitelijke beslisinformatie over alle mogelijke relevante (milieu)effecten. Het kader is weergegeven in bijlage A.

Het beoordelingskader is aan het begin van de Verkenningsfase bepaald voor alle zeefstappen in het ontwerpproces. Er is dus onderlinge samenhang. De wijze van beoordeling neemt in elke zeefstap toe in detailniveau. In deze notitie wordt Zeef 1 doorlopen. In deze zeefstap richt het kader zich op het identificeren van kansrijke alternatieven die binnen de context van dit project toegepast kunnen worden. De beoordeling van de effecten van de mogelijke oplossingsrichtingen worden vooral kwalitatief uitgevoerd, ten opzichte van de referentiesituatie. In Zeef 2 zullen de kansrijke alternatieven in meer detailniveau en meer kwantitatief worden beoordeeld. De resultaten worden opgenomen in MER Deel 1. In de planuitwerking vindt de meest gedetailleerde beoordeling plaats in het kader van het project-MER (MER Deel 2). De methode hiervoor is beschreven in de Notitie Reikwijdte en Detailniveau².

Een belangrijke basis voor de effectbeoordeling zijn de bureauonderzoeken, die in het kader van de milieueffectrapportage zijn uitgevoerd. Voor aspecten die niet behandeld worden in de bureauonderzoeken zijn GIS-analyses en expert judgment toegepast. Samenvattend is voor de aspecten op de volgende manier informatie vergaard t.b.v. de effectbeoordeling:

² Notitie Reikwijdte en Detailniveau Dijkversterking Monnickendam Zeedijk, Sweco, april 2023

- **Techniek**
 - Waterveiligheidswinst *beoordeling expert / technische ontwerpnota*
 - Uitvoerbaarheid *beoordeling expert / uitvoeringsnotitie*
 - Beheerbaarheid *beoordeling expert / technische ontwerpnota*
 - Aanpasbaarheid *beoordeling expert / technische ontwerpnota*
- **Milieu**
 - Natuur *bureaustudie / beoordeling expert*
 - Waterkwantiteit *beoordeling expert*
 - Waterkwaliteit *beoordeling expert*
 - Bodem *bureaustudie / beoordeling expert*
 - Circulariteit & emissies *kansenscan duurzaamheid / beoordeling expert*
- **Omgeving**
 - Landschap en ruimtelijke kwaliteit *bureaustudie / beoordeling expert*
 - Cultuurhistorie *bureaustudie / beoordeling expert*
 - Archeologie *bureaustudie / beoordeling expert*
 - Woon-, werk- en leefmilieu *beoordeling expert*
 - Landbouw *beoordeling expert*
 - Recreatie en medegebruik *beoordeling expert*
 - Verkeer *beoordeling expert*
 - Hinder tijdens aanleg *beoordeling expert*
- **Kosten**
 - Investeringskosten *SSK-raming*
 - Levensduurkosten *SSK-raming*
 - Subsidiabel *SSK-raming / beoordeling expert*

Alle aspecten zijn beoordeeld volgens de onderstaande methodiek:

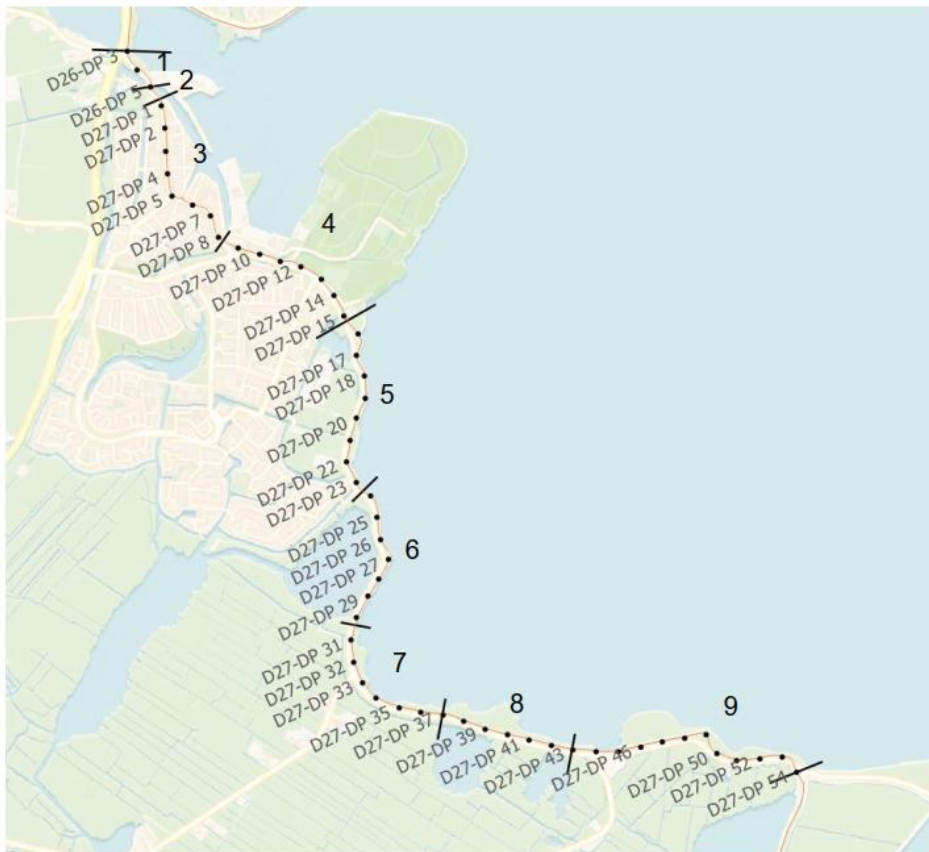
- Effecten worden bepaald ten opzichte van de referentiesituatie (huidige situatie plus evt. vastgestelde autonome ontwikkelingen)
- Scores worden gegeven per oplossingsrichting
- Scores worden gegeven per aspect, indien relevant i.v.m. onderscheidende effecten worden scores per onderliggend criterium aangegeven.
- Effect worden weergegeven op een vijfpunts-schaal:
 - Sterk positieve (++) en negatieve scores (--) worden alleen bij een grote impact op de maatschappij of de haalbaarheid van het project toegekend en goed onderbouwd
- Scores worden kort tekstueel onderbouwd (m.u.v. neutraal / geen significant effect).
- Specifieke aandachtspunten per dijkvak / locatie, per toegepaste bouwsteen (bv. optie verhogen berm) en/of per onderliggend criterium worden ook tekstueel aangegeven.

De toegepaste scores voor de beoordeling zijn weergegeven in Tabel 2.

Tabel 2. Scoremethodiek effectbeoordeling.

Score	Beoordeling ten opzichte van de referentiesituatie
--	Sterk negatief effect kan optreden
-	Negatief effect kan optreden
0	Neutraal effect / geen significant effect
+	Positief / gunstig effect kan optreden
++	Sterk positief / gunstig effect kan optreden

Om een gedetailleerde effectbeoordeling te kunnen geven wordt er naast dijkvakken ook (incidenteel) gebruik gemaakt van dijkpalen om de locatie van de effecten te beschrijven. Een overzicht van de dijkvakken en dijkpalen is gegeven in Figuur 7.



Figuur 7. Dijkvakindeling inclusief dijkpalen

2.3 Effectbeoordeling techniek

2.3.1 Overzicht resultaten effectbeoordeling techniek

Aspect	Oplossingsrichting A Binnenwaarts	Oplossingsrichting B Buitenwaarts	Oplossingsrichting C Kruinverlaging	Oplossingsrichting D Profielbehoud
Waterveiligheidswinst	++	+	+	++
Uitvoerbaarheid	-	-	0	0
Beheerbaarheid	0	0	0	-
Aanpasbaarheid	0	0	0	-

2.3.2 Effectbeoordeling waterveiligheidswinst

- **A: binnenwaarts**
De oplossingsrichting is dusdanig gedimensioneerd dat de dijk na versterking weer aan de norm voldoet. Dit is een harde randvoorwaarde voor het project. Voor de oplossingsrichting Binnenwaarts gelden geen kanttekeningen op gebied van waterveiligheidswinst en deze heeft daarmee een sterk positief effect.
- **B: buitenwaarts**
De oplossingsrichting is dusdanig gedimensioneerd dat de dijk na versterking weer aan de norm voldoet. Wel gaat met het afgraven van de huidige dijk een grondlichaam verloren dat voor lange tijd geconsolideerd is. Het zal even duren voordat het verplaatste dijklichaam zijn sterkte behaald heeft en de ondergrond is gezet. Vanwege deze kanttekening heeft de oplossingsrichting Buitenwaarts een positief effect.
- **C: kruinverlaging**
De oplossingsrichting is dusdanig gedimensioneerd dat de dijk na versterking weer aan de norm voldoet. Echter, met alleen een kruinverlaging is het in dijkvak 7, 8 en 9 waarschijnlijk niet mogelijk om het stabiliteitsprobleem volledig en voor een levensduur van 50 jaar te versterken. Daarvoor is de huidige overhoogte te klein, zie bijlage C. De optredende autonome kruindaling zal de levensduur van de oplossingsrichting bepalen. Vanwege deze kanttekening heeft de oplossingsrichting Kruinverlaging een positief effect.
- **D: profielbehoud**
De oplossingsrichting is dusdanig gedimensioneerd dat de dijk na versterking weer aan de norm voldoet. Voor de oplossingsrichting Binnenwaarts gelden geen kanttekeningen op gebied van waterveiligheidswinst en deze heeft daarmee een sterk positief effect.

2.3.3 Effectbeoordeling uitvoerbaarheid

- **A: binnenwaarts**
Een ophoging van de binnenberm op de hier aanwezige slappe grond vormt een uitvoeringsrisico waarbij instabiliteit kan optreden, maar dit is beheersbaar met de juiste uitvoeringstechnieken en voldoende doorlooptijd om de ondergrond te laten consolideren (bij de Markermeerdijken is gezien dat dit kan oplopen tot 5 jaar of meer). De provinciale weg N518 kan schade ondervinden door de vervormingen

die optreden in de ondergrond bij een bermverbreding. Hoe korter en zwaarder de berm, door bijvoorbeeld te werken met tijdelijke overhoogte of grondverbetering, hoe groter het risico op vervormingen en schade (zie bijlage C). Indien de schade te groot wordt en de weg tijdens de uitvoeringsperiode onbruikbaar wordt, zal gezocht moeten worden naar een tijdelijke omleiding, maar deze is niet voorhanden voor zwaar verkeer. De kabels en leidingen (K&L) liggen dicht bij de ophoging en hebben daarbij een groter risico op schade. In de kostenraming is daarom uitgegaan van het verleggen van de K&L, het tussentijds repareren van de wegconstructie en het volledig herstellen van de weg aan het eind van de realisatieperiode. Vanwege deze neveneffecten scoort oplossingsrichting Binnenwaarts negatief op Uitvoerbaarheid.

- **B: buitenwaarts**
Een significante ophoging voor het nieuwe dijklichaam op de hier aanwezige slappe grond vormt een uitvoeringsrisico waarbij instabiliteit kan optreden. Het risico is hier vanwege de grotere ophoging groter dan bij oplossingsrichting A en er zullen lange doorlooptijden nodig zijn om de ondergrond tijdens de uitvoering te laten consolideren. De huidige steenbekleding op het buitentalud zal verplaatst moeten worden naar het nieuwe buitentalud, door middel van verplaatsen van de huidige steenbekleding (handwerk) of het plaatsen van nieuwe steenbekleding (machinaal). De weg N518 kan bij deze oplossingsrichting behouden en grotendeels open blijven gedurende de uitvoering, wanneer gewerkt wordt vanaf de Gouwzee. Hiervoor zal een tijdelijke werkruimte moeten worden aangelegd in de Gouwzee, al dan niet met een tijdelijke kering om het dijklichaam te kunnen aanpassen. Als deze oplossingsrichting doorgaat naar Zeef 2, moet in de effectbeoordeling rekening worden gehouden met de tijdelijke effecten en kosten hiervan. Vanwege deze neveneffecten scoort oplossingsrichting Buitenwaarts negatief op Uitvoerbaarheid.
- **C: kruinverlaging**
De weg N518 kan bij deze oplossingsrichting behouden en grotendeels open blijven gedurende de uitvoering, wanneer gewerkt wordt vanaf de Gouwzee. Hiervoor zal dan een tijdelijke werkruimte moeten worden aangelegd in de Gouwzee. Als deze oplossingsrichting doorgaat naar Zeef 2, moet in de effectbeoordeling rekening worden gehouden met de tijdelijke effecten en kosten hiervan. Omdat een kortere doorlooptijd wordt verwacht dan bij Binnen- of Buitenwaarts en de N518 grotendeels open kan blijven, scoort oplossingsrichting Kruinverlaging neutraal op Uitvoerbaarheid.
- **D: profielbehoud**
De weg N518 kan behouden blijven (afhankelijk van locatie damwand/constructie), maar zal vanwege de persoonlijke veiligheid van de weggebruikers (tijdelijk) moeten worden afgesloten gedurende bepaalde werkzaamheden, zoals het inhijzen van een damwand. Omdat een kortere doorlooptijd wordt verwacht dan bij Binnen- of Buitenwaarts en de N518 grotendeels open kan blijven, scoort oplossingsrichting Profielbehoud neutraal op Uitvoerbaarheid.

2.3.4 Effectbeoordeling beheerbaarheid

- **A: binnenwaarts**
Met deze oplossingsrichting zijn er geen wezenlijke veranderingen t.o.v. de huidige situatie, voor zowel regulier beheer en onderhoud (B&O) als tijdens hoogwater. In beide gevallen blijft de kering een groene kering, waarbij alleen het aantal vierkante meters te maaien oppervlak toeneemt. De oplossingsrichting Binnenwaarts scoort daarmee neutraal op beheerbaarheid.
- **B: buitenwaarts**
Met deze oplossingsrichting zijn er geen wezenlijke veranderingen t.o.v. huidige situatie, voor zowel regulier B&O als tijdens hoogwater. In beide gevallen blijft de kering een groene kering, waarbij alleen het aantal vierkante meters te maaien oppervlak toeneemt. De oplossingsrichting Buitenwaarts scoort daarmee neutraal op beheerbaarheid. Wel zullen de vervormingen van het verplaatste dijklichaam (en daarmee mogelijk gepaard gaande schades) een aandachtspunt zijn in de eerste jaren na aanleg.
- **C: kruinverlaging**
Met deze oplossingsrichting zijn er geen wezenlijke veranderingen t.o.v. huidige situatie, voor zowel regulier B&O als tijdens hoogwater. De erosiebestendigheid van het binnentalud vormt een aandachtspunt, maar hoeft niet tot extra beheerinspanning te leiden. De oplossingsrichting Kruinverlaging scoort daarmee neutraal op beheerbaarheid.
- **D: profielbehoud**
Met deze oplossingsrichting zijn er in principe geen wezenlijke veranderingen t.o.v. huidige situatie, voor zowel regulier B&O als tijdens hoogwater. Beheer van constructies is gedurende de levensduur niet nodig (en niet mogelijk). Wel speelt mee dat het hier kan gaan om een starre constructie (zoals een damwand) die geplaatst wordt in een dijk en ondergrond die aan continue vervormingen onderhevig zijn. Dit kan over de jaren leiden tot steeds grotere krachten op de constructie en mogelijke holle ruimtes rondom de constructie. Dit is een voortdurend aandachtspunt voor de beheerder. De oplossingsrichting Profielbehoud scoort daarmee negatief op beheerbaarheid.

2.3.5 Effectbeoordeling aanpasbaarheid

- **A: binnenwaarts**
Met deze oplossingsrichting blijft de kering een groene kering. Keringen in grond zijn toekomstig uitbreidbaar. De oplossingsrichting Binnenwaarts scoort daarmee neutraal op aanpasbaarheid.
- **B: buitenwaarts**
Met deze oplossingsrichting blijft de kering een groene kering. Keringen in grond zijn toekomstig uitbreidbaar. De oplossingsrichting Buitenwaarts scoort daarmee neutraal op aanpasbaarheid.

- C: kruinverlaging
Met deze oplossingsrichting blijft de kering een groene kering. Keringen in grond zijn toekomstig uitbreidbaar. De oplossingsrichting Kruinverlaging scoort daarmee neutraal op aanpasbaarheid.
- D: profielbehoud
Constructies zijn lastig uitbreidbaar en hebben een eindige levensduur, in tegenstelling tot grondoplossingen. De oplossingsrichting Profielbehoud scoort daarmee sterk negatief op aanpasbaarheid.

2.4 Effectbeoordeling milieu

2.4.1 Overzicht resultaten effectbeoordeling milieu

Aspect	Oplossingsrichting A Binnenwaarts	Oplossingsrichting B Buitenwaarts	Oplossingsrichting C Kruinverlaging	Oplossingsrichting D Profielbehoud
Natuur				
Effect op Natura-2000	0	-	0	0
Effect op NNN	-	-	0	0
Effect op overig beschermde gebieden	-	-	0	0
Effect op beschermde soorten	-	-	-	-
Effect op biodiversiteit	-	-	0	0
Waterkwantiteit				
Invloed op grondwaterstand	-	-	0	-
Invloed op waterbezwaar	0	0	-	0
Invloed op oppervlaktewater	0	-	0	0
Bodem				
Verandering van aanwezige verontreinigingen	0	+	+	0
Aardkundige waarden	0	- -	0	0
Circulariteit en emissies				
Circulariteit	0	0	0	-
Emissies	-	-	-	-

2.4.2 Effectbeoordeling natuur

Voor de scoretoelichting van natuur is enkel de concluderende samenvatting gegeven. In bijlage B van dit document is de volledige toelichting opgenomen.

- A: binnenwaarts
Natuurnetwerk Nederland (NNN)
Er is een beperkt ruimtebeslag op habitattypen binnen het NNN. Ingrepen die leiden tot een aantasting van de wezenlijke kenmerken en waarden mogen enkel plaatsvinden als er sprake is van een zwaarwegend maatschappelijk belang (zoals een dijkversterking) en

indien er geen reële alternatieven zijn. Verlies van kwaliteit en/of oppervlakte dient te worden gecompenseerd. Het beheertype N06.01 Veenmosrietland en moerasheide is vrij moeilijk te compenseren indien er geen voorstadium van de successie aanwezig is. Beheertype N13.01 Vochtig weidevogelgrasland is relatief gemakkelijk te compenseren.

Overige provinciaal beschermde gebieden

Er is een zeer beperkt ruimtebeslag op beschermd provinciaal landschap (BPL), wat hoogstwaarschijnlijk niet leidt tot aantasting van kernkwaliteiten wanneer geen ecologische, landschappelijke, cultuurhistorische of aardkundige waarden aangetast worden. De dijkversterking is een ontwikkeling die gepaard gaat met relatief kleine impact op het landschap. Aantasting van ganzenfoerageergebied is naar verwachting minimaal of afwezig.

Indien bestemmings/omgevingsplannen gewijzigd moeten worden, wordt bij een eventuele aantasting van ganzenfoerageergebieden gekeken naar alternatieven en de aanwezigheid van groot openbaar belang (zoals een dijkversterking). Daarnaast zal compensatie noodzakelijk zijn. Bij aantasting van kernkwaliteiten BPL wordt gekeken naar alternatieven en de aanwezigheid van groot openbaar belang. Daarnaast zal compensatie noodzakelijk zijn.

Beschermde soorten

Binnenwaartse versterking leidt mogelijk tot aantasten van vaste rust- en verblijfplaatsen van rugstreeppad. Dit is relatief eenvoudig te compenseren in de nieuwe situatie en wordt daarmee vergunbaar geacht. Een geldig wettelijk belang is aanwezig bij de dijkversterking (volksgezondheid, openbare veiligheid of andere dwingende redenen van groot openbaar belang).

Ook aanwezig leefgebied van ringslang en de andere vermelde soorten is te mitigeren of compenseren.

Effect op biodiversiteit:

Dijkversterking binnenwaarts heeft mogelijk ruimtebeslag tot gevolg op biotopen waar ook soorten van de Rode lijsten voor kunnen komen. Dit zijn met name de (teen)sloot en de oeverzones hiervan.

De beschikbare natuurdata (voornamelijk NDFF) geven geen volledig beeld van het voorkomen van Rode lijst-soorten op en rond het dijktaalud. In de omgeving aanwezige soorten zijn soorten van zowel natte gebieden als drogere, schrale gebieden als blauw walstro. Het huidige dijktaalud vormt ook in potentie biotoop voor verschillende Rode lijst-soorten, waaronder bruin blauwtje. In de nieuwe situatie kunnen berm en talud ook weer worden ingericht en beheerd om een geschikt biotoop te vormen. Vooralsnog worden de effecten op biodiversiteit bepaald aan de hand van natuurlijke biotopen die verloren gaan.

- B: buitenwaarts

Natura 2000

Deze oplossingsrichting heeft een ruimtebeslag op Natura 2000-habitattypen van maximaal 2,0 ha. Gezien het huidige areaal boven de doelstelling ligt, zal ruimtebeslag door een buitenwaartse dijkversterking

niet leiden tot significante effecten op habitattypen. Wel geldt er een compensatieplicht waarmee verslechtering van het habitat wordt voorkomen.

Rivierdonderpad is nagenoeg afwezig door andere oorzaken. Met het verschuiven van de ondiepe oeverzone bij buitenwaartse versterking blijft het belangrijkste onderdeel van leefgebied van kleine modderkruiper in stand. Eventuele negatieve effecten op habitatsoorten zijn niet significant.

Buitenwaartse versterking heeft geen significante gevolgen voor broedvogels met instandhoudingsdoelen. Wel zijn er door een afname van rust- en foerageergebied in de Gouwzee (met maximaal 2 ha.) mogelijk significante effecten op niet-broedvogels waar in de huidige situatie de doelstelling niet wordt gehaald. Vanwege deze laatste genoemde effecten scoort de oplossingsrichting negatief.

Natuurnetwerk Nederland

Er is een beperkt ruimtebeslag op habitattypen binnen het NNN. Ingrepen die leiden tot een aantasting van de wezenlijke kenmerken en waarden mogen enkel plaatsvinden als sprake is van een zwaarwegend maatschappelijk belang en indien er geen reële alternatieven zijn. Verlies van kwaliteit en/of oppervlakte dient te worden gecompenseerd.

Overige provinciaal beschermde gebieden

Ruimtebeslag op BPL leidt mogelijk tot een beperkte aantasting van kernkwaliteiten, omdat de buitendijkse gronden tot de kernkwaliteiten behoren. Verder is de dijkversterking een ontwikkeling met relatief kleine impact op het landschap.

Ontwikkelingen die de kernkwaliteiten (het bijzondere landschap) aantasten mogen alleen uitgevoerd worden als het van groot openbaar belang is en als er kan worden aangetoond dat er geen andere mogelijkheden zijn. De schade aan het landschap moet worden gecompenseerd.

Indien bestemmings/omgevingsplannen gewijzigd moeten worden, wordt bij aantasting van kernkwaliteiten BPL gekeken naar alternatieven en de aanwezigheid van groot openbaar belang.

Beschermde soorten

Buitenwaartse versterking leidt mogelijk tot aantasten van leefgebied en rust- en verblijfplaatsen van ringslang, noordse woelmuis, waterspitsmuis, wezel en hermelijn. Dit is relatief eenvoudig te mitigeren en/of compenseren in de nieuwe situatie en wordt daarmee vergunbaar geacht. Een geldig wettelijk belang is aanwezig bij de dijkversterking (volksgezondheid, openbare veiligheid of andere dwingende redenen van groot openbaar belang).

Effect op biodiversiteit:

Dijkversterking buitenwaarts heeft mogelijk ruimtebeslag tot gevolg op biotopen waar ook soorten van de Rode Lijsten voor kunnen komen. Dit zijn het dijktaalud en de moeraszones in de oeverlanden.

- C: kruinverlaging

Natura 2000

Door verlaging van kruin treedt mogelijk meer visuele verstoring op van watervogels door op de dijk aanwezig verkeer. Dit zal echter zeer beperkt blijven en mogelijk verwaarloosbaar zijn, waardoor significante effecten worden uitgesloten.

Beschermde soorten

Er is bij deze oplossingsrichting geen extra ruimtebeslag t.o.v. de huidige dijk. Wel kunnen mogelijk leefgebieden en verblijfplaatsen van beschermde soorten op de huidige dijk worden aangetast. Dit is relatief eenvoudig te mitigeren en/of compenseren in de nieuwe situatie en wordt daarmee vergunbaar geacht. Een geldig wettelijk belang is aanwezig bij de dijkversterking (volksgezondheid, openbare veiligheid of andere dwingende redenen van groot openbaar belang).

- D: profielbehoud

Beschermde soorten

Er is bij deze oplossingsrichting geen extra ruimtebeslag t.a.v. de huidige dijk. Wel kunnen mogelijk leefgebieden en verblijfplaatsen van beschermde soorten op de huidige dijk worden aangetast. Dit is relatief eenvoudig te mitigeren en/of compenseren in de nieuwe situatie en wordt daarmee vergunbaar geacht. Een geldig wettelijk belang is aanwezig bij de dijkversterking (volksgezondheid, openbare veiligheid of andere dwingende redenen van groot openbaar belang).

Van de vier oplossingsrichtingen zijn er twee met grote risico's vanuit vergunbaarheid en haalbaarheid van compensatie. Oplossingsrichting B. Buitenwaarts heeft als enige ruimtebeslag op Natura 2000-gebied Markermeer & IJmeer. Er zal een Passende Beoordeling moeten worden uitgevoerd om te onderzoeken of dit tot significante effecten op vogels kan leiden. Gezien het niet halen van instandhoudingsdoelen van enkele soorten niet-broedvogels die in de Gouwzee aanwezig zijn, en de verwachting dat voor enkele van deze soorten in de toekomst onvoldoende rust en ruimte wordt voorzien (zoals benoemd in het Natura 2000-beheerplan), heeft deze oplossingsrichting vanuit vergunbaarheid een hoog risico. Dit geldt voor het deel van het tracé tussen dijkpaal 16 en 35. Het gedeelte tussen dijkpaal 35 en 54 ligt voornamelijk buiten Natura 2000-gebied. Eventuele compensatie van N05.03 Veenmoeras in het NNN bij buitenwaartse versterking is naar verwachting geen onoverkomelijk knelpunt.

Oplossingsrichting A. Binnenwaarts heeft ook ruimtebeslag buiten de huidige dijkzone, waarbij NNN wordt aangetast. De noodzakelijke compensatie voor beheertype N06.01 Veenmosrietland kan een risico vormen.

Voor de overige twee oplossingsrichtingen C. Kruinverlaging en D. Profielbehoud worden geen grote risico's voorzien vanuit vergunbaarheid en de haalbaarheid van compensatie.

Voor de aantasting van het NNN moet er rekening mee gehouden worden dat realistische alternatieven die deze effecten niet hebben in overweging genomen moeten worden. Aandachtspunten voor het vervolg zijn het beoordelen van de noodzaak van aantasting van NNN-natuurbeheertype N06.01 Veenmosrietland bij oplossingsrichting A. Vanwege het ruimtebeslag op NNN van de oplossingsrichtingen A en B is het raadzaam om in een vroege fase hierover in overleg te treden met het bevoegd gezag

2.4.3 Effectbeoordeling waterkwantiteit

- A: binnenwaarts

Invloed op grondwaterstanden in relatie tot bebouwd en agrarisch gebied (eventueel ook natuur indien gevoelig)

Doordat de binnenwaartse watergang wordt gedempt kan de grondwaterstand tijdens een natte periode in de waterkering en daaromheen stijgen. Op veel locaties mag er een extra opbolling ontstaan. Echter zijn er op enkele locaties woningen aanwezig, welke direct grenzen aan de gedempte watergang. Ook waar de teensloot wordt verplaatst (richting binnenland) kan extra opbolling ontstaan bij de woningen. Dit kan leiden tot grondwateroverlast in de kruipruimte en de oplossingsrichting scoort dus negatief.

Toename/afname van binnendijs waterbezwaar

Door de binnenwaartse verbreding wordt veel water gedempt langs de waterkering. Gedempte watergangen moeten 1 op 1 gecompenseerd worden in hetzelfde (of lager) oppervlaktewaterpeil. Op veel locaties wordt de teensloot terug aangebracht. Er zijn geen veranderingen in het waterbezwaar en de oplossingsrichting scoort neutraal.

Invloed op oppervlaktewater

Door de verbreding van de waterkering wordt binnendijs oppervlaktewater gedempt. Dit moet gecompenseerd worden qua oppervlakte binnen hetzelfde peilgebied. Door deze compensatie vinden dus geen verandering in het areaal plaats en scoort de richting neutraal.

- B: buitenwaarts

Invloed op grondwaterstanden in relatie tot bebouwd en agrarisch gebied (eventueel ook natuur indien gevoelig)

Door buitenwaartse asverschuiving kan de grondwaterstand zakken aan de binnenzijde. De grondwaterstand wordt voornamelijk beïnvloed door het Markermeer. Doordat er een wegzijgings situatie wordt verwacht in de waterkering kan er een verlaging in grondwaterstand (aan de binnenzijde van de waterkering) ontstaan door de buitenwaartse asverschuiving. Het verlagen van de grondwaterstand kan er toe leiden dat er zettingen optreden bij de bestaande weg. Ook zijn er mogelijk bestaande woningen die gefundeerd zijn op houten palen. Een langdurige grondwaterstandsverlaging kan in dat geval leiden tot eventuele paalrot. Of dit effect zal optreden hangt ook af van de huidige grondwaterstanden t.o.v. de funderingen.

Doordat de binnenberm van de waterkering wordt verlengd, is het mogelijk dat er uittrede van grondwater bij hevige neerslag kan ontstaan (meer opbolling door langer profiel).

Doordat de binnendijkse watergang behouden blijft worden er geen significante effecten verwacht bij agrarische percelen. Samenvattend scoort de oplossingsrichting negatief.

Toename/afname van binnendijs waterbezwaar

Er wordt geen toename/afname verwacht.

Invloed op oppervlaktewater

Er is weinig invloed op oppervlaktewater doordat er een asverschuiving buitenwaarts word gerealiseerd. In totaal neemt het bergend oppervlak

af met circa 6 ha, circa 0,008% van de totale berging van het Markermeer. Voor dijkversterkingen is een afname in waterberging toelaatbaar, ook volgens de structurerende keuze en (voorlopige) redeneerlijn in het kader van Water en Bodem Sturend. Desondanks is iedere aantasting van de zoetwaterberging een aandachtspunt. Daarom wordt er een negatieve score toegekend op de invloed op het oppervlaktewater.

- C: kruinverlaging
Invloed op grondwaterstanden in relatie tot bebouwd en agrarisch gebied (eventueel ook natuur indien gevoelig)
 Voor de optie kruinverlaging worden minimale verschillen verwacht ten opzichte van de huidige situatie in grondwaterstanden. De oplossingsrichting scoort neutraal.

Toename/afname van binnendijs waterbezwaar

In verband met mogelijk meer overslag kan er meer water de polder instromen. Dit moet in een later stadium (planuitwerking) verder onderzocht worden. Hierdoor scoort de oplossingsrichting negatief op basis van het waterbezwaar.

Invloed op oppervlaktewater

Geen effect op oppervlaktewater.

- D: profielbehoud
Invloed op grondwaterstanden in relatie tot bebouwd en agrarisch gebied (eventueel ook natuur indien gevoelig)
 Doordat er een wegzijsituatie wordt verwacht in de waterkering kan er een verlaging in grondwaterstand (aan de binnenzijde van de waterkering) ontstaan. Dit heeft gevolgen voor de grondwaterstand binnendijs. Omdat er op alle locaties een teensloot aanwezig is worden er minimale grondwaterstandsverlagingen verwacht. Omdat negatieve effecten niet uitgesloten kunnen worden scoort de oplossingsrichting negatief.

Toename/afname van binnendijs waterbezwaar

Er wordt geen toename/afname verwacht.

Invloed op oppervlaktewater

Geen effect op oppervlaktewater.

2.4.4 Effectbeoordeling bodem

- A: binnenwaarts
Verandering van aanwezige verontreinigingen
 Bij de realisatie van het binnenwaartse alternatief zal een neutraal effect optreden ten aanzien van de (water)bodemkwaliteit aangezien vrijwel geen bodemverontreinigingen gesaneerd zullen worden. Om het binnenwaartse alternatief te realiseren zal (lokaal) de toplaag en/of het slib uit de watergangen worden afgegraven om de ontvangende grond te kunnen toepassen. Hierbij worden echter geen significante saneringswerkzaamheden verwacht.

Aardkundige waarden

Vanwege de continue bewoningsgeschiedenis is Waterland een gebied dat belangwekkende aardkundige waarden herbergt. De zeedijk blijft bij een bermverbreding behouden. Er zijn lichte effecten op de natuurlijke veenwaterlopen en op de onregelmatige strookverkaveling en de regelmatige verkaveling van de symmetrische droogmakerijen. Het effect van deze oplossingsrichting is neutraal/geen significant effect.

- B: buitenwaarts

Verandering van aanwezige verontreinigingen

Bij de realisatie van het buitenwaartse alternatief zal een positief effect optreden ten aanzien van de bodemkwaliteit aangezien de (gebonden) slakhoudende en puinhoudende fundering onder het fietspad én de mogelijk verontreinigde onderliggende bodemlagen kunnen worden verwijderd. Aangezien de omvang van deze verontreinigingen vooralsnog niet bekend is wordt voor nu uitgegaan van een beperkt positief effect (+).

Aardkundige waarden

Vanwege de continue bewoningsgeschiedenis is Waterland een gebied dat belangwekkende aardkundige waarden herbergt. De zeedijk wordt bij buitenwaartse verschuiving in het geheel aangetast. Er zijn zware effecten op de natuurlijke oever van de voormalige Zuiderzee. Deze oplossingsrichting is sterk negatief.

- C: kruinverlaging

Verandering van aanwezige verontreinigingen

Bij de realisatie van een kruinverlaging zal tevens een positief effect optreden ten aanzien van de bodemkwaliteit. Ook met deze oplossingsrichting zullen de verontreinigingen onder het fietspad (in de kruin van de dijk) kunnen worden verwijderd. Aangezien de omvang van deze verontreinigingen vooralsnog niet bekend is wordt voor nu uitgegaan van een beperkt positief effect (+).

Aardkundige waarden

Vanwege de continue bewoningsgeschiedenis is Waterland een gebied dat belangwekkende aardkundige waarden herbergt. De zeedijk wordt bij kruinverlaging aangetast. De binnenberm en de buitenberm blijven behouden. Het effect van deze oplossingsrichting is neutraal/geen significant effect.

- D: profielbehoud

Verandering van aanwezige verontreinigingen

Indien voor de oplossingsrichting met het profielbehoud wordt gekozen zal ten aanzien van de (water)bodemkwaliteit een neutraal effect optreden aangezien in principe geen bodemverontreinigingen gesaneerd zullen worden omdat geen grondverzet zal plaatsvinden.

Aardkundige waarden

Vanwege de continue bewoningsgeschiedenis is Waterland een gebied dat belangwekkende aardkundige waarden herbergt. De zeedijk wordt afhankelijk van de toegepaste bouwsteen bij profielbehoud mogelijk aangetast. De binnenberm en de buitenberm blijven behouden. Het effect van deze oplossingsrichting is neutraal/geen significant effect.

Aandachtspunten voor vervolg:

De definitieve impact van eventuele binnen- of buitenwaartse verontreinigingen gerelateerd aan voormalig teerhoudend asfalt en/of funderingsmateriaal van (half)verharde wegen zal in een later stadium (voor realisatie) moeten worden vastgesteld. De huidige effectscores voor de verschillende alternatieven kunnen in het geval van een additionele bodemverontreiniging dus mogelijk positiever uitvallen. Dit geldt met name voor buitenwaarts en kruinverlaging, omdat daar dus potentieel meer verontreinigingen kunnen worden verwijderd.

Voor het onderzoeksgebied bestaan meerdere onzekerheden op het gebied van bodemkwaliteit. Deze onzekerheden bestaan voornamelijk uit incomplete of gedateerde bodeminformatie zoals gegevens over (lokale) bodemverontreinigingen in de bodem, (teerhoudend) asfalt en (puin)funderingen. Voor elk alternatief is de onzekerheid echter min of meer gelijk (en minimaal) waardoor de invloed van deze onzekerheid op de effectbeoordeling nihil is. Deze onzekerheden zijn daarom in deze fase niet relevant voor de besluitvorming.

2.4.5 Effectbeoordeling circulariteit en emissies

A: binnenwaarts

Oplossingsrichting A heeft een neutraal effect op circulariteit. De mogelijke negatieve impact van een negatieve grondbalans wordt vereffend doordat het materiaal van de dijk zijn waarde behoudt tijdens de levensduur. Daarmee bestaat de mogelijkheid om het materiaal hoogwaardig te hergebruiken in een volgende levenscyclus. Wat betreft emissies kan een negatief effect optreden bij oplossingsrichting A vanwege het grondverzet. Emissies uit overige materieelinzet scoren neutraal doordat de wegconstructie behouden blijft.

Bij verbreden van de binnenberm en/of het verflauwen van het

binnentalud is extra grond nodig. Mogelijk moet dit van ver aangevoerd worden, maar er wordt verkend of ook gebiedseigen materiaal gebruikt kan worden. De grond moet aangevoerd en verplaatst worden. Het dempen en opnieuw graven van de teensloot vergt extra grondverzet. Afhankelijk van het type in te zetten materieel, leidt het transport en het grondverzet tot broeikasgasemissies. Voordeel van een grondoplossing is dat hiermee materiaal wordt toegepast wat zijn waarde blijft behouden, ook na einde levensduur.

Aanvullend: Als wordt gekozen voor het verhogen van de binnenberm, moet de provinciale weg N518 worden verwijderd, inclusief de aanwezige kabels en leidingen, en opnieuw aangebracht. Het gaat hier om een geasfalteerde weg waar in 2017 nog groot onderhoud heeft plaatsgevonden (*Provinciaal Meerjarenprogramma Infrastructuur 2017-2021*). Als dat het geval is, dan worden extra materiaalvoorraden aangebroken en vinden er meer processen plaats die broeikasgassen emitteren. De beoordeling zal daarmee licht negatiever uitpakken.

B: buitenwaarts

Oplossingsrichting B heeft een neutraal effect op circulariteit. Dit heeft enerzijds te maken met de mate waarin materiaal van buiten het gebied moet komen. Daarentegen behoudt het materiaal van de dijk zijn waarde tijdens de levensduur en daarmee bestaat de mogelijkheid om het materiaal hoogwaardig te hergebruiken in een volgende levenscyclus.

Bij de buitenwaartse asverschuiving kan de grond van de originele kruin (mogelijk) hergebruikt worden om de verschoven kruin op te bouwen. Dit hangt af van de sterkte en de milieuhygiënische kwaliteit van de grond. Zelfs als alle afgegraven hergebruikt kan worden, moet er extra grond worden aangevoerd, vergelijkbaar met oplossingsrichting A.

Bij oplossingsrichting B kan een negatief effect plaatsvinden op emissies, omdat tijdens het grondverzet en bij het verleggen van het fietspad - afhankelijk van het ingezette materieel mogelijk - een flinke hoeveelheid broeikasgassen geëmitteerd wordt.

Bij de buitenwaartse asverschuiving worden het teenschot en het voet- en fietspad verwijderd en opnieuw aangelegd. In het geval van gebakken klinkers (voetpad, dijkvak 5) zijn de stenen opnieuw te leggen. Dan is een depot, waar deze materialen verblijven tot de verschoven as klaar is, vereist. In het geval van asfalt (fietspad, dijkvak 5 t/m 9) wordt het materiaal gebroken en als vulmateriaal gerecycled. Het Nederlandse asfalt bevat nu gemiddeld 50% gerecycled asfalt (*Circulair sturen op hoogwaardig hergebruik van toegepaste en toe te passen materialen, RWS, 13-04-2018*). Een hoogwaardigere of duurzamere toepassing van asfalt dan gemiddeld is mogelijk, maar sterk afhankelijk van de aannemer.

- C: kruinverlaging

Deze oplossingsrichting heeft een neutraal effect op de circulariteit. Kruinverlaging betekent dat er meer grond vrijkomt dan nodig is. In

contracten wordt vaak opgenomen dat deze grond vervalt aan de aannemer. In dat geval is het afhankelijk van de projecten van deze aannemer waar en hoe dit terecht komt. Als het waterschap hier meer regie op wil om te borgen dat de grond duurzaam hergebruikt wordt, dan kan worden gezocht naar mogelijke afnemers van het materiaal in de buurt en dient het contract daarop aangepast te worden.

Bij het verlagen van de kruin zal het wandelpad en het fietspad tijdelijk worden verwijderd en deze dient na voltooiing te worden teruggebracht. Hiervoor geldt hetzelfde als voor oplossingsrichting B: In het geval van gebakken klinkers (voetpad, dijkvak 5) zijn de stenen opnieuw te leggen. Dan is een depot, waar deze materialen verblijven tot de verschoven as klaar is, vereist. In het geval van asfalt (fietspad, dijkvak 5 t/m 9) wordt het materiaal gebroken en als vulmateriaal gerecycled. Het Nederlandse asfalt bevat nu gemiddeld 50% gerecycled asfalt (*Circulair sturen op hoogwaardig hergebruik van toegepaste en toe te passen materialen, RWS, 13-04-2018*). Een hoogwaardigere of duurzamere toepassing van asfalt dan gemiddeld is mogelijk, maar sterk afhankelijk van de aannemer.

De effecten op de circulariteit zijn verder sterk afhankelijk van de noodzaak tot het overslagbestendig maken van de dijkbekleding aan de binnenzijde van de dijk en het type maatregel dat nodig is. In het geval van klassieke dijkbekleding, zoals basaltzuilen, betekent dat een negatieve score op hoogwaardig hergebruik: in de praktijk blijkt dat het herzetten van deze stenen niet werkbaar is en dat breken de enige optie is. Het is daarom een kans om te kiezen voor een herbruikbare, hernieuwbaar of recyclebare optie, zoals een aangepaste grasmat.

Uitgaande van een niet hoogwaardig herbruikbare dijkbekleding (worst-case), heeft oplossingsrichting C een mogelijke negatieve impact op toekomstig hergebruik. De mogelijkheid om gebiedseigen materiaal te oogsten mitigeert dit effect op circulariteit.

Tot slot wordt tijdens het grondverzet en bij het verleggen van het fietspad een flinke hoeveelheid broeikasgassen geëmitteerd. Op basis hiervan kan oplossingsrichting C een negatief effect hebben op emissies.

D: profielbehoud

Vanwege beperkt gebruik van gebiedseigen materiaal en beperkte mogelijkheden voor hoogwaardig hergebruik, kan oplossingsrichting D een negatief effect hebben op circulariteit. Het behoud van het dijkprofiel betekent geen tot weinig grondverzet. Ook blijven de weg, voet- en fietspad behouden. Er worden wel broeikasgassen geëmitteerd bij het aanbrengen van de constructies, wat betekent dat oplossingsrichting D een negatief effect kan hebben op emissies.

In essentie gaan de constructieve oplossingen over het inbrengen van materiaal in de dijk, bestaande uit (een combinatie van) staal, basalt of cement. Ten eerste zijn deze materialen van niet-hernieuwbare oorsprong: eenmaal gewonnen betekent dit een impact op de materiaalvoorraden. Ten tweede komt het hergebruik of de recycling

van deze materialen erg nauw. Zo is sterk afhankelijk van corrosie of de materialen na einde levensduur hoogwaardig hergebruikt kunnen worden. Of er sprake is van recycling is sterk afhankelijk van de verwerker.

In sommige gevallen wordt het constructieve materiaal gemengd met de grond, waardoor een substantie ontstaat die niet meer te scheiden of te recyclen is. Daarmee worden producten geproduceerd voor de stort, de minst gewenste uitkomst van een materiaal na het einde van de levensduur. Daarnaast is het mogelijk dat er geen drijfveer is om het materiaal ooit uit de dijk te verwijderen, vanwege de beperkte opties voor afvalverwerking.

Aandachtspunten voor vervolg:

De oplossingsrichtingen liggen qua impact dicht bij elkaar. Voor sommige oplossingsrichtingen geldt dat het negatieve effect voortkomt uit de worst-case benadering en dat met het benutten van duurzame kansen het negatieve effect kan worden omgedraaid naar een neutraal of zelfs positief effect. Vanuit duurzaamheidsperspectief is het daarom belangrijk om te kijken naar de oplossingsrichting waarin de meeste verbeterpotentie zit.

Broeikasgassen worden in alle oplossingsrichtingen, allicht in verschillende mate, geëmitteerd. Het gebruik van transport en materieel is ook niet te voorkomen, hooguit te beperken. De effecten ervan zijn wel te mitigeren door zoveel mogelijk schoon en emissieloos te bouwen. Dit is een maatregel die met name in de aanbestedingsfase bekrachtigd kan worden.

2.5 Effectbeoordeling omgeving

In deze paragraaf wordt eerst een overzicht gegeven van de effectbeoordeling op dit thema. Daarna worden de verschillende onderliggende onderwerpen tekstueel toegelicht/onderbouwd. De thema's en onderwerpen volgen het beoordelingskader.

2.5.1 Overzicht resultaten effectbeoordeling omgeving

Aspect	Oplossingsrichting A Binnenwaarts	Oplossingsrichting B Buitenwaarts	Oplossingsrichting C Kruinverlaging	Oplossingsrichting D Profielbehoud
Landschap en ruimtelijke kwaliteit	0	--	--	0
Cultuurhistorie	0	--	-	-
Archeologie	0	--	--	--
Recreatie en medegebruik	-	+	+	0
Woon-, werk- en leefmilieu	-	-	0	0
Landbouw	-	0	0	0
Verkeer	--	+	+	-

2.5.2 Effectbeoordeling landschap en ruimtelijke kwaliteit

- **A: binnenwaarts**
 Het grillige tracé en herkenbare profiel met smalle kruin en afleesbare ontstaansgeschiedenis van de Waterlandse Zeedijk blijft behouden. Openheid, doorzichten en vergezichten blijven gelijk. Er zijn lichte effecten op verkavelingsstructuur, slotenpatroon en oevers met kansen om deze te verbeteren door scherpere en consequent doorgetrokken aansluitingen van kavelsloten op de bermsloot en betere inrichting van natuurlijke oevers. Het effect is neutraal/geen significant effect.
- **B: buitenwaarts**
 Het grillige tracé en herkenbare profiel met smalle kruin en afleesbare ontstaansgeschiedenis van de Waterlandse Zeedijk wijzigt. De intrinsieke waarde van het dijklichaam en het tracé waaraan in de eeuwen voortdurend is doorgebouwd verdwijnt en daarmee ook de nuances van het dijkverloop. Bovendien verdwijnt de nauwe relatie van de provinciale weg met het dijklichaam (afstand tussen weg en kruin neemt toe). Het open waterlandschap en de buitenlanden (buitendijkse voorlanden) worden aangetast. Openheid, doorzichten en vergezichten blijven vrijwel gelijk. Er zijn geen effecten op verkavelingsstructuur, slotenpatroon en oevers. Deze oplossingsrichting als toegepast op het hele tracé is sterk negatief. Toegepast als overwogen bouwsteen op kleine delen kan er een negatief effect optreden.
- **C: kruinverlaging**
 Het grillige tracé en de afleesbare ontstaansgeschiedenis van de Waterlandse Zeedijk blijft behouden. Het profiel wijzigt: er is geen smalle kruin meer en het binnentalud wordt mogelijk flauwer. Openheid, doorzichten en vergezichten worden minder goed beleefd door de lagere ligging van de kruin. Er zijn geen effecten op verkavelingsstructuur, slotenpatroon en oevers. Echter, bij een kruinverlaging die nodig zou zijn voor het volledig oplossen van het stabiliteitskort, neemt het verschil in hoogte tussen de berm en de kruin af van ca. 2 tot 2,5 m (huidig) tot ca. 1 tot 1,5. Dit is minder dan de richtlijn van minimaal 2 m verschil volgens het ruimtelijke kwaliteitskader. Afwijkingen van de richtlijn zijn bespreekbaar, zolang het karakteristieke profiel met smalle ranke kruin behouden blijft. Binnen deze oplossingsrichting wordt het karakteristieke profiel met smalle ranke kruin van de dijk aangetast. Daarom kan bij deze oplossingsrichting een sterk negatief effect optreden. Dit ontstaat met name als geen nadere inpassingsmaatregelen worden genomen. Bij handhaving van een verschil van ca. 2 m tussen berm en kruin, kan in een deel van de dijkvakken wel een deel van de kruinverlaging worden toegepast.
- **D: profielbehoud**
 Het grillige tracé en herkenbare profiel met smalle kruin en afleesbare ontstaansgeschiedenis van de Waterlandse Zeedijk blijft (deels) behouden en wordt (bij grondverbetering) deels gereconstrueerd. Op plaatsen zal het tracé en het profiel fysiek en intrinsiek geraakt worden, wat in de uiteindelijk situatie niet meer zichtbaar is. Openheid, doorzichten en vergezichten blijven gelijk. Er zijn geen effecten op

verkavelingsstructuur, slotenpatroon en oevers. Het effect is neutraal/geen significant effect.

2.5.3 Effectbeoordeling cultuurhistorie

- A: binnenwaarts
De Waterlandse Zeedijk met braken en buitenlanden (buitendijkse voorlanden) vormt een Provinciaal monument. Het tracéverloop en het profiel blijven bij binnenwaartse bermverbreding behouden en het dijklichaam (vrijwel) onaangeroerd. De braken worden licht geraakt. Er zijn mogelijkheden dit goed in te passen. Lichte effecten op binnendijkse waarden: onregelmatige strookverkaveling veenweidepolders, elektragemaal, molenkade, grenssloot Goudriaankanaal en stolp. Deze zijn oplosbaar en mogelijk te verbeteren. Er zijn geen effecten op buitenlanden. Het effect is neutraal/geen significant effect.
- B: buitenwaarts
De Waterlandse Zeedijk met braken en buitenlanden (buitendijkse voorlanden) zijn Provinciaal monument. Het monument wordt in het geheel aangetast. Het dijklichaam wordt afgegraven. Het dijklichaam met tracéverloop en profiel worden gereconstrueerd. De buitenlanden worden over een brede strook geraakt en zijn lastig te herstellen en te compenseren/reconstrueren. Er zijn geen effecten op braken en op binnendijkse waarden. Deze oplossingsrichting als toegepast op het hele tracé is sterk negatief. Toegepast als overwogen bouwsteen op kleine delen kan er een negatief effect optreden.
- C: kruinverlaging
De Waterlandse Zeedijk met braken en buitenlanden (buitendijkse voorlanden) zijn Provinciaal monument. Het tracéverloop blijft behouden. Het dijklichaam wordt deels weggegraven en het kenmerkende historische profiel wordt aangetast. Er zijn geen effecten op de braken, buitenlanden en binnendijkse waarden. Een negatief effect kan optreden.
- D: profielbehoud
De Waterlandse Zeedijk met braken en buitenlanden (buitendijkse voorlanden) zijn Provinciaal monument. Het tracéverloop blijft behouden. Het dijklichaam wordt aangetast en geroerd en afhankelijk van de uitvoeringsmethode mogelijk deels weggegraven en weer opgebouwd, waarbij de huidige profielopbouw teruggebracht wordt. Er zijn geen effecten op de braken, buitenlanden en binnendijkse waarden. Een negatief effect kan optreden.

Aandachtspunten voor vervolg:

Wijziging (aantasting) van het provinciaal monument is alleen mogelijk bij zwaarwegend openbaar belang én bij afwezigheid van alternatieven. Daarnaast is bij een Extern Ontwerpatelier informatie aangedragen dat er afspraken zijn gemaakt over de verhouding tussen het te behouden tracé (minimaal 60%) en buitenwaarts te verleggen tracé (maximaal 40%) van de gehele

Markermeerdijk. Deze staat bij de versterking die onder de 'Alliantie versterking Markermeerdijken' wordt uitgevoerd al onder druk.

2.5.4 Effectbeoordeling archeologie

- A: binnenwaarts
De Waterlandse Zeedijk is een monument van archeologische waarde. Het dijklichaam blijft (vrijwel) onaangeroerd. De ondergrond ter plaatste van de te verbreden binnenberm bestaat uit veen en klei en zal gevoelig zijn voor zettingen. De archeologische resten kunnen in verband met de grondophoging door de verbreding van de binnenberm worden verstoord door zettingen. Er worden geen bodem graafwerkzaamheden uitgevoerd en daardoor zal er geen vervolgonderzoek worden geadviseerd. De aanvraag van een archeologische vergunning is dan ook niet nodig. Het effect van deze oplossingsrichting is neutraal/geen significant effect.
- B: buitenwaarts
De Waterlandse Zeedijk is een monument van archeologische waarde. Het archeologische monument wordt in het geheel aangetast. Het dijklichaam wordt afgegraven. De kruin van de dijk heeft de dubbelstemming Waarde Archeologie 2. Volgens de bestemmingsregels geldt een onderzoek plicht bij graafwerkzaamheden groter dan 100 m² en dieper dan 0,35 m onder maaiveld. Indien deze vrijstellingsgrens wordt overschreden, zal vervolgonderzoek worden geadviseerd in de vorm van een verkennend booronderzoek. De aanvraag van een archeologische vergunning is dan nodig. Deze oplossingsrichting scoort sterk negatief.
- C: kruinverlaging
De Waterlandse Zeedijk is een monument van archeologische waarde. Het archeologische monument wordt deels aangetast. Het dijklichaam wordt deels weggegraven. De kruin van de dijk heeft de dubbelstemming Waarde Archeologie 2. Volgens de bestemmingsregels geldt een onderzoek plicht bij graafwerkzaamheden groter dan 100 m² en dieper dan 0,35 m onder maaiveld. Indien deze vrijstellingsgrens wordt overschreden, zal vervolgonderzoek worden geadviseerd in de vorm van een verkennend booronderzoek. De aanvraag van een archeologische vergunning is dan nodig. Deze oplossingsrichting scoort sterk negatief.
- D: profielbehoud
De Waterlandse Zeedijk is een monument van archeologische waarde. Het archeologische monument wordt aangetast. Het dijklichaam wordt aangetast en geroerd en afhankelijk van de uitvoeringsmethode deels weggegraven. Bij het plaatsen van een damwand bijvoorbeeld, kunnen archeologische resten worden verstoord. De kruin van de dijk heeft de dubbelstemming Waarde Archeologie 2. Volgens de bestemmingsregels geldt een onderzoek plicht bij graafwerkzaamheden groter dan 100 m² en dieper dan 0,35 m onder maaiveld. De binnenwaartse zijde van de voet van de dijk heeft de dubbelstemming Waarde Archeologie 3. Volgens de bestemmingsregels geldt een onderzoeksplicht bij graafwerkzaamheden groter dan 500 m² en dieper dan 0,40 m onder maaiveld. Indien deze vrijstellingsgrenzen worden

overschreden, zal vervolgonderzoek worden geadviseerd in de vorm van een verkennend booronderzoek. De aanvraag van een archeologische vergunning is dan nodig. Bij deze oplossingsrichting kan een sterk negatief effect optreden als er grondverbetering wordt toegepast waarbij de grond van de huidige dijk moet worden afgegraven. Het negatieve effect is veel kleiner als er alleen een damwand wordt geslagen. Deze oplossingsrichting scoort sterk negatief.

Aandachtspunten voor vervolg:

Indien de gemeentelijke vrijstellingsgrenzen worden overschreden, zal voor oplossingsrichtingen B, C en D vervolgonderzoek worden geadviseerd in de vorm van een verkennend booronderzoek. De bevoegde overheid (gemeente Waterland) zal dit advies beoordelen.

2.5.5 Effectbeoordeling recreatie en medegebruik

- A: binnenwaarts
Een negatief effect kan optreden door het raakvlak met sportvelden (dijkvak 5). Daarnaast is er een raakvlak met verschillende (particuliere) gronden binnendijs. Er zijn mogelijkheden tot het verbreden van het fietspad.
- B: buitenwaarts
Er is geen raakvlak met (particuliere) percelen aan de binnenzijde van de dijk. Er is wel een raakvlak met percelen van Staatsbosbeheer en RWS. Daarnaast is er ook een raakvlak met het Mirror Paviljoen. Mogelijke kansen zijn ruimte voor verbreding van het fietspad en het creëren van rustpunten op de dijk. Daarom is er een positief effect.
- C: kruinverlaging
Positief effect, doordat er een mogelijkheid is voor het verbreden van het fietspad en het creëren van rustpunten op de dijk.
- D: profielbehoud
Neutraal. Geen ruimtebeslag op (particuliere) percelen. Fietspad blijft behouden maar geen verbetering door bijvoorbeeld verbreden.

2.5.6 Effectbeoordeling woon, werk- en leefmilieu

A: binnenwaarts

Bij de binnenwaartse oplossingsrichting worden diverse typen percelen geraakt door de dijkversterking. Dit betreft percelen van de gemeente, HHNK, particulieren en Staatsbosbeheer. Bij de particuliere gronden betreft het voornamelijk agrarisch grasland, tuinen, een woning aan de Bereklaauw en een gedeelte van een pand (schuur) van een maatwerklocatie³. De oplossingsrichting raakt verder ook diverse natuurlijke percelen van o.a. Staatsbosbeheer. Dit heeft een nadelige invloed op het leefmilieu aan de binnenzijde van de dijk. Waar de oplossingsrichting (mogelijk) bedrijven of woningen raakt, worden

³ Bij maatwerklocaties wijkt de situatie sterk af in vergelijking met de rest van het dijkvak. Dit kan komen door bebouwing of andere objecten waardoor er lokaal andere maatregelen nodig zijn. Deze maatregelen worden in de Planuitwerkingsfase vastgesteld.

maatwerklocaties ingericht. Op deze locaties zal in een latere fase worden bepaald welk type oplossing (grond en/of ruimtebesparende constructie) hier wordt toegepast. Dit kan effecten hebben op het woongenot en in het ergste geval zelfs tot amoveren van panden leiden. Indien mogelijk binnen de randvoorwaarden van het project probeert het waterschap dit te voorkomen. Omdat een relatief groot areaal aan gronden zal veranderen van functie scoort de oplossingsrichting negatief.

- **B: buitenwaarts**
De buitenwaartse oplossingsrichting raakt langs circa 1/3 van het traject het water van de Gouwzee. Voor de overige delen worden de natuurlijke buitendijkse voorlanden geraakt door de buitenwaartse oplossingsrichting. Er bevindt zich één gebouw aan de buitenzijde welke geraakt kan worden en dit is aangemerkt als een maatwerklocatie. Verder zijn er geen woningen aan de buitenzijde gelegen. De invloed op het woon-, werk- en leefmilieu betreft dus één pand. De oplossingsrichting scoort daardoor negatief.
- **C: kruinverlaging**
Deze oplossingsrichting kent geen ruimtebeslag buiten het huidige profiel. Wel kunnen zichtlijnen in de omgeving veranderen. De effecten hiervan zijn van beperkte aard. Het woon-, werk- en leefmilieu wordt daarom niet significant beïnvloed door deze oplossingsrichting. De richting scoort neutraal.
- **D: profielbehoud**
Deze oplossingsrichting kent geen ruimtebeslag buiten het huidige profiel. Het woon-, werk- en leefmilieu wordt daarom beperkt beïnvloed door deze oplossingsrichting. Deze richting scoort neutraal in de uiteindelijke situatie.

2.5.7 Effectbeoordeling landbouw

- **A: binnenwaarts**
Deze oplossingsrichting raakt circa 0,9 ha agrarisch grasland (particulier, HHNK, Staatbosbeheer, Gemeente) en zorgt dus voor een verandering van het areaal. De percelen worden aan de randen doorgesneden en geen toegangs- of verbindingswegen worden geraakt door de oplossingsrichting. Naast een verminderd areaal kunnen er negatieve effecten optreden op de bedrijfsvoering. De richting scoort negatief.
- **B: buitenwaarts**
Deze oplossingsrichting kent alleen een ruimtebeslag naar de buitenzijde waar geen agrarische bedrijfsvoering plaatsvindt. Er wordt daarom geen significant effect op de agrarische bedrijfsvoering verwacht.
- **C: kruinverlaging**
Deze oplossingsrichting kent geen ruimtebeslag buiten het huidige profiel. Er wordt daarom geen significant effect op de agrarische bedrijfsvoering verwacht.

- D: profielbehoud
Deze oplossingsrichting kent geen ruimtebeslag buiten het huidige profiel. Er wordt daarom geen significant effect op de agrarische bedrijfsvoering verwacht.

2.5.8 Effectbeoordeling verkeer

- A: binnenwaarts
Bij de binnenwaartse oplossingsrichting wordt de berm naar de binnenzijde verbreed, terwijl de weg op zijn plaats blijft liggen. Hierdoor komt de weg verder van het ondertalud af te liggen. In de huidige situatie is de berm naast de weg erg smal. Bij het in de berm raken van een voertuig kan dit snel tot onveilige situatie leiden. Een verbreding aan de binnenzijde biedt mogelijkheden om verharding langs de weg in de berm aan te brengen. Dit zorgt er voor dat verkeersdeelnemers bij het naast de weg raken een betere mogelijkheid hebben om te corrigeren en minder snel van het talud afrijden. De verbreding biedt dus de mogelijkheid tot een positief effect. Ook kan het fietspad (breder) op de binnenberm aangelegd worden met een positief effect op de verkeersveiligheid.

Tijdens de uitvoering van de bermverbreding treden echter verticale en horizontale vervormingen op die tot schade aan de weg kunnen leiden. Met de bermbreedte van de oplossingsrichting die alleen in combinatie met het tijdelijk toepassen van overhoogte voldoende breed is, zal naar verwachting zo veel schade optreden dat de weg niet kan blijven functioneren. Er zijn echter geen omrijroutes voor zwaar verkeer mogelijk en een tijdelijk weg aan de binnenzijde van de dijk is niet in te passen i.v.m. braken en bebouwing. Ook is er aan de buitenzijde geen ruimte i.v.m. de Gouwzee. Om de vervormingen te beperken en de weg open te kunnen houden is naar verwachting een bredere berm nodig. Daarom scoort de huidige oplossingsrichting met smalle berm zeer negatief. Ook zullen maatregelen nodig zijn voor monitoring, herstel van schade tijdens de uitvoering en renovatie van de weg na realisatie. De kosten van deze maatregelen zijn al aan de raming van de mogelijke oplossingsrichting toegevoegd. Ook bij de optie van het ophogen van de berm, kan de weg tijdens de uitvoering niet functioneren en treden zeer negatieve effecten op.

- B: buitenwaarts
Bij de buitenwaartse asverschuiving komt het dijklichaam verder van de weg af te liggen. Dit verbetert de zichtlijnen in de bochtige gedeelten van het tracé, wat positief is voor de verkeersveiligheid. De afstand van de weg tot aan het ondertalud blijft gelijk, dus hier zijn geen verdere verbeterpunten mogelijk. Bermverbetering is wel tussen de weg en kruin mogelijk. Ook kan het fietspad (breder) op de binnenberm aangelegd worden met een positief effect op de verkeersveiligheid. De oplossingsrichting scoort positief.

- C: kruinverlaging
Er treden binnen deze oplosrichting geen veranderingen op aan de weg. Hier is dus geen significant effect te verwachten. Het fietspad kan mogelijk verbreed worden (dit is een meekoppelkans), hetgeen de verkeersveiligheid voor fietsers verbetert. Zij kunnen elkaar makkelijker passeren en raken minder snel van de dijk af. De oplossingsrichting scoort positief.
- D: profielbehoud
Er treden binnen deze oplosrichting geen veranderingen op aan de weg. Hier is dus geen significant effect te verwachten in de eindsituatie. In de uitvoeringsfase is het wel noodzakelijk om de weg bij bepaalde werkzaamheden af te sluiten, wat tot een grote tijdelijke impact op de verkeersafwikkeling en bereikbaarheid van o.a. Marken leidt. In het totaalbeeld scoort deze richting dus negatief.

Aandachtspunten voor vervolg:

Ook voor oplossingsrichtingen A, B en C geldt dat het werken vanaf de weg een nadelige invloed heeft op de verkeersveiligheid en verkeersafwikkeling. Een rijbaan kan soms alleen om en om gebruikt worden en ook zal de snelheid lager liggen tijdens de werkzaamheden. Omdat dit aandachtspunt voor alle drie de oplossingsrichtingen geldt is het in deze fase van de beoordeling nog geen onderscheidend criterium. Zodra meer over de uitvoeringsmethode bekend is kan hier een meer gedetailleerde afweging in worden gemaakt.

2.6 Effectbeoordeling kosten

2.6.1 Overzicht resultaten effectbeoordeling kosten

Aspect	Oplossingsrichting A Binnenwaarts	Oplossingsrichting B Buitenwaarts	Oplossingsrichting C Kruinverlaging	Oplossingsrichting D Profielbehoud
Investeringskosten	0	0	++	--
Subsidiabel	0	0	+	-

Voor alle oplossingsrichtingen is een SSK-raming opgesteld. De uitkomsten worden in deze notitie kwalitatief beschouwd ten behoeve van de effectbeoordeling. Om onderscheidende scores toe te kennen zijn de investeringskosten relatief aan elkaar gescoord. Hiervoor zijn de gemiddelde kosten van de vier oplossingsrichtingen berekend en is bepaald of een oplossingsrichting boven of onder het gemiddelde ligt volgens de volgende verhouding:

- 0 – 20 % afwijking van gemiddelde: 0
- 20 – 50 % afwijking van gemiddelde: - / +
- > 50 % afwijking van gemiddelde: - - / ++

De levensduurkosten zijn in deze fase nog niet als onderscheidend criterium beoordeeld. Op basis van het huidige detailniveau lijken de onderhoudskosten

bij alle oplossingsrichtingen vergelijkbaar, o.a. omdat alleen het te maaien oppervlak verschilt.

2.6.2 Effectbeoordeling investeringskosten

- **A: binnenwaarts**
In deze oplossingsrichting worden de kosten verhoogd doordat er maatregelen genomen moeten worden om schade aan de weg te voorkomen en kabels & leidingen worden verlegd. Ten opzichte van de andere oplossingsrichtingen zijn de totale kosten gemiddeld.
- **B: buitenwaarts**
Deze oplossingsrichting heeft volgens de onderbouwende SSK-raming relatief gemiddelde kosten. Echter bestaat er een risico op onderschatting doordat er mogelijk sprake is van een brede uitvoeringstrook met tijdelijke waterkering aan de buitenzijde. Eventuele compenserende maatregelen op Natura-2000 gebied zijn nog niet geraamd.
- **C: kruinverlaging**
De investeringskosten van de oplossingsrichting liggen ver onder de gemiddelde kosten. Er is in de raming rekening gehouden met het erosiebestendig maken van de dijk en het terugbrengen van het fietspad of wandelpad.
- **D: profielbehoud**
Binnen deze oplossingsrichting is uitgegaan van een scenario door de investeringskosten van damwanden uit te rekenen. Het betreft een kostbare oplossing met investeringskosten ver boven het gemiddelde.

2.6.3 Effectbeoordeling subsidiabel

Gelet op de gemiddelde investeringskosten worden geen beperkingen vanuit subsidiabiliteit verwacht voor oplossingsrichting A en B. In verband met de relatief lage investeringskosten geldt dit ook voor richting C. Gelet op de relatief hoge investeringskosten van oplossingsrichting D worden beperkingen vanuit subsidiabiliteit verwacht en zullen zwaarwegende redenen moeten worden aangedragen die de noodzaak van deze oplossingsrichting aantonen.

3 Afweging en selectie kansrijke alternatieven

3.1 Methode afweging

In aanvulling op het beoordelingskader is een afwegingskader opgesteld ter ondersteuning van de besluitvorming over de kansrijkheid van de oplossingsrichtingen. Het afwegingskader bevat de belangrijkste (bestuurlijke) afwegingscriteria, die direct zijn afgeleid van de projectdoelen. Het belangrijkste doel van het kader is om een onderling onderscheidend beeld van de oplossingsrichtingen te verkrijgen. Dit in tegenstelling tot het beoordelingskader waarin de focus ligt op feitelijke beslisinformatie waarbij de oplossingsrichtingen op zichzelf ten opzichte van de referentiesituatie getoetst worden. Het afwegingskader is weergegeven in bijlage A.

Tijdens het doorlopen van Zeef 1 is geconstateerd dat het initieel opgestelde afwegingskader op basis van de projectdoelen te beperkt is om een complete afweging te maken. Om een zorgvuldige en complete afweging te maken worden bepaalde afwegingscriteria breder geïnterpreteerd en wordt een extra afwegingscriterium Vergunbaarheid toegevoegd. Tijdens Zeef 1 is gebleken dat er voor alle oplossingsrichtingen risico's bestaan op dit vlak die niet goed ondervangen zijn in het criterium 'maatschappelijk draagvlak'.

De afweging wordt weergegeven in een tabel met kleurenindicatie. De kleuren zijn gericht op het verkrijgen van een onderscheidend beeld van de oplossingsrichtingen relatief aan elkaar, met een focus op zwaarwegende aandachtspunten en/of beperkingen. De classificering is aangegeven in Tabel 3.

Tabel 3. Classificering resultaten afwegingskader

Kleur	Toelichting
	Geen zwaarwegende aandachtspunten en/of beperkingen
	Zwaarwegende aandachtspunten en/of beperkingen.
	Aandachtspunten en/of beperkingen die tot een 'no-go' van de oplossingsrichting kunnen leiden.

3.2 Afweging kansrijke alternatieven

Op basis van de inzichten uit de effectbeoordeling zijn de belangrijkste aandachtspunten per oplossingsrichting en per afwegingscriterium bepaald. Deze zijn gecombineerd weergegeven in Tabel 4. Voor iedere oplossingsrichting is in de volgende paragrafen een toelichting gegeven op de afweging.

Tabel 4. Overzicht resultaten afwegingskader.

	Waterveiligheid	Duurzaamheid	Maatschappelijk Draagvlak	Vergunbaarheid	Kosten / subsidie
A Binnen-waarts		Gebiedseigen grond kan worden toegepast	Bereikbaarheid via N518. K&L, Ruimtebeslag sportvelden + woon / bedrijfsperven	Aantasting NNN binnenzijde	Kosten gemiddeld
B Buiten-waarts		Relatief veel grondverzet + risico circulariteit	Geen ruimtebeslag op binnendijkse percelen.	Aantasting LCA Aantasting N2000 en NNN Afname waterberging	Kosten gemiddeld
C Kruin-verlaging		Positieve grondbalans	Geen ruimtebeslag buiten het profiel. Dijkvak 8 K&L en N518.	Aantasting LCA (afstand berm-kruin < 2m + archeologie)	Kosten laag
D Profiel-behoud		Scoort minst op circulariteit en emissies	Alleen tijdelijke effecten / geen ruimtebeslag buiten het profiel	Aantasting cultuurhistorie en archeologie (alleen mogelijke 'no go' bij grondverbetering)	Kosten hoog (mogelijk niet subsidiabel)

3.2.1 Oplossingsrichting A: Binnenwaarts

Er is geconstateerd dat de uitvoering kan leiden tot schade aan kabels & leidingen (K&L) en de provinciale weg (N518) (zie bijlage C). Dit wordt veroorzaakt door de zettingen die optreden na een bermverbreeding. Deze zijn groter als een tijdelijke overhoogte wordt toegepast om de bermbreedte te beperken. Er zijn berekeningen gemaakt om deze zettingen te bepalen. Hieruit is geconcludeerd dat K&L in alle gevallen verlegd moeten worden in verband met grote zettingen. Verder is berekend dat het toepassen van een berm met tijdelijke overhoogte naar verwachting leidt tot onacceptabele zettingen ter plekke van de weg, waardoor de weg niet open kan blijven tijdens de uitvoering, en de bereikbaarheid van Marken niet kan worden gegarandeerd. Daarom scoort de oplossingsrichting in de huidige vorm zeer negatief op maatschappelijk draagvlak. Echter, als de berm breder wordt uitgevoerd en zonder overhoogte wordt aangelegd, dan zijn de zettingen naar verwachting acceptabel en zijn de effecten op de weg te mitigeren met noodreparaties tijdens de uitvoering en volledig herstel van de weg na uitvoering. Doordat de weg dan open kan blijven, is de binnenwaartse oplossing met brede berm wel kansrijk.

Ook bij een bredere berm is de uitvoerbaarheid vanwege de mogelijke effecten op de weg (met mogelijke tussentijdse herstelmaatregelen) en verlegging van kabels en leidingen nog een belangrijk aandachtspunt. Een ander belangrijk aandachtspunt is het ruimtebeslag op de sportvelden, bedrijfsperven en

woonpercelen. Daarnaast raakt de dijkversterking NNN-gebied aan de binnenzijde van de dijk, hetgeen goede argumentatie vereist om de vereiste vergunningen te verkrijgen.

Positieve eigenschappen van de oplossingsrichting zijn de geringe aantasting van de landschappelijke, monumentale en archeologische waarden. Er zijn mogelijkheden voor een circulaire uitvoering met gebiedseigen grond. Daarnaast zijn er mogelijkheden om de verkeersveiligheid te verbeteren voor automobilisten en fietsers door het verleggen en verbreden van het fietspad. Tot slot liggen de kosten dicht bij de gemiddelde kosten van de mogelijke oplossingsrichtingen.

3.2.2 Oplossingsrichting B: Buitenwaarts

Door het volledig afgraven van het dijklichaam is er een aanzienlijke aantasting van landschappelijke, cultuurhistorische en archeologische waarden. Het aantasten van de dijk als provinciaal monument is zeer ongewenst. Daarnaast zijn er mogelijk negatieve effecten op Natura-2000 gebied en NNN-gebied en zorgt een buitenwaartse oplossing voor een (geringe) afname van de zoetwaterbuffer in het Markermeer. Deze effecten zorgen voor risico's op het gebied van vergunbaarheid. De oplossingsrichting mag alleen worden toegepast als er een zwaarwegend maatschappelijk belang is (en dat is waterveiligheid) en als er geen reëel alternatief voorhanden is.

De uitvoerbaarheid is ook een belangrijk aandachtspunt. Het dijklichaam zal deels op de slappe en nog niet eerder belaste bodem van de Gouwzee worden aangelegd. Dit kan voor zettingen en een complexe uitvoering zorgen. Er is zeer waarschijnlijk een tijdelijke bouwweg en kering nodig aan de buitenzijde van de dijk. De effecten en kosten hiervan zijn nog niet meegenomen in Zeef 1.

Van alle oplossingsrichtingen vereist deze het meeste grondverzet. Ook het fietspad moet afgebroken en verlegd moet worden. Afhankelijk van het ingezette materieel kunnen de werkzaamheden hierdoor zorgen voor een relatief grote broeikasgasemissie. Hierdoor is het een relatief grote uitdaging om de duurzaamheidsdoelstellingen te halen.

De oplossingsrichting heeft minder invloed op bedrijven en bewoners gelegen aan de binnenzijde. Daarnaast zijn er mogelijkheden tot het verbreden van het fietspad en het aanleggen van rustpunten die de recreatieve functie van de dijk versterken.

3.2.3 Oplossingsrichting C: Kruinverlaging

Tijdens het doorlopen van zeef 1 zijn op basis van extra en gedetailleerde berekeningen nieuwe inzichten ontstaan m.b.t. de mogelijkheden en beperkingen van kruinverlaging. De laatste inzichten zijn verwerkt in de Technische Ontwerpnota (bijlage C) en zijn in het volgende tekstvak samengevat.

Om de mogelijkheden van kruinverlaging te bepalen zijn berekeningen uitgevoerd waarbij vier aspecten van belang zijn:

- Verwachte autonome kruindaling en de onzekerheden hierin;
- Toegestane kruinverlaging, in relatie tot waterveiligheid;
- Stabiliteitswinst bij kruinverlaging;
- Mogelijke kruinverlaging, in relatie tot kader ruimtelijke kwaliteit.

Door autonome processen, zoals krimp bij uitdroging en oxidatie van organische bestandsdelen in de ondergrond, treedt kruindaling op. Ook zakt de dijk onder zijn eigen gewicht verder de ondergrond in en zakt deze in de breedte uit. In de toekomst zorgt dit voor een relatieve verhoging van de buitenwaterstand ten opzichte van de kruinhoogte van de kering. Voor de kruindaling zijn predicties (voorspellingen op basis van modelberekeningen) opgesteld. Door het afgraven van de kruin zal het gewicht afnemen en wordt de autonome kruindaling beïnvloed. Hoe de autonome kruindaling dan precies zal verlopen is onzeker. Daarom is er gerekend met een ondergrens, waarbij geen kruindaling meer optreedt na afgraven, en een bovengrens op basis van de predicties.

Met betrekking tot de waterveiligheid is de kruinhoogte in relatie tot de buitenwaterstand van belang. Deze moet zodanig ontworpen zijn dat er niet te veel overslag optreedt. Het maximum toelaatbare overslagdebiet bedraagt 10 l/s/m, op voorwaarde dat maatregelen m.b.t. de erosiebestendigheid van het binnentalud getroffen worden. Voor het zichtjaar 2072 (de planperiode) is vastgesteld wat onder deze voorwaarden de resthoogte per dijkvak is. Deze hoogte is voor zowel de ondergrens als bovengrens voor de eerder genoemde kruindaling bepaald. Voor het zichtjaar 2072 bedraagt dit ongeveer 0,5 – 1,3 meter, afhankelijk van het dijkvak en de kruindaling.

Om de kruin te verlagen zijn verschillende varianten mogelijk. De kruin kan over de volledige breedte 'afgetopt' worden, verlaagd worden waarbij ook het profiel tot het minimale profiel wordt teruggebracht en varianten hier tussenin zijn mogelijk. De eerder genoemde resthoogte bepaalt hoeveel van de kruin kan worden afgegraven met het oog op waterveiligheid. De optie 'alleen aftoppen' biedt voor de onderzochte dijkvakken onvoldoende stabiliteitswinst, ongeacht het uitgangspunt voor toekomstige kruindaling. Om te voldoen aan de resthoogte kan onvoldoende gewicht worden weggenomen, waardoor als gevolg van het gewicht het stabiliteitsprobleem blijft bestaan. De optie waarbij ook het profiel tot het minimum wordt teruggebracht, levert voor dijkvak 5 en 7 tot het zichtjaar 2072 voldoende stabiliteitswinst op. Uitgangspunt daarbij is dat er geen kruindaling meer optreedt na het verlagen van de kruin. Op basis van gelijkenissen tussen de dijkvakken is kwalitatief beoordeeld dat dijkvak 6 en 9 ook voldoende stabiliteitswinst kunnen behalen. Voor dijkvak 8 volstaat kruinverlaging ook met een minimum profiel niet voor zowel de huidige als toekomstige situatie. Daarom is er in dijkvak 8 een optimalisatie nodig door middel van een bermverbreeding van 3 meter.

Hoewel kruinverlaging in combinatie met het aanpassen van het profiel voor enkele dijkvakken een oplossing zou kunnen bieden, wordt daarmee niet voldaan aan het Kader Ruimtelijke Kwaliteit. Hierin is de richtlijn opgenomen dat de verticale afstand tussen kruin en berm minimaal 2 meter moet bedragen. Afwijkingen van deze richtlijn zijn bespreekbaar, zolang het karakteristieke profiel met smalle ranke kruin behouden blijft. Indien vastgehouden wordt aan het ruimtelijk kader, kan de kruin slechts deels verlaagd worden en zal niet voldaan worden aan de stabiliteitseisen.

Dijkvak	Huidige kruinhoogte	Resthoogte 2072	Stabiliteit minimaal ontwerpprofiel excl. kruindaling (2072)	Stabiliteit minimaal ontwerpprofiel incl. kruindaling (2072)
5	NAP +3,3 m	1,1 – 1,3 m	Voldoende	Onvoldoende
6	NAP +3,1 m	0,8 – 1,0 m	Voldoende	Onvoldoende
7	NAP +2,8 m	0,5 – 0,7 m	Voldoende	Voldoende
8	NAP +3,2 m	0,6 – 1,1 m	Onvoldoende	Onvoldoende
9	NAP +3,2 m	0,6 – 1,1 m	Voldoende	Voldoende

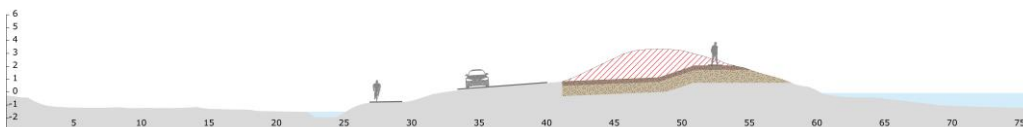
De dijk wordt ontworpen voor een levensduur van 50 jaar. Bij kruinverlaging is het belangrijk dat de dijk voldoende kerende hoogte houdt. Of de dijk hoog genoeg blijft gedurende de levensduur (en daarna) is afhankelijk van de mate van bodemdaling ter plekke van de (afgegraven) kruin van de dijk. De snelheid van bodemdaling is echter onzeker. Er zijn wel voorspellingen van hoeveel de kruin daalt in de huidige situatie, maar door afgraven zal de snelheid van de daling naar verwachting kleiner worden.

Als er vanuit gegaan wordt dat er na afgraven helemaal geen kruindaling meer optreedt, kan kruinverlaging in dijkvak 5, 6, 7 en 9 als zelfstandige oplossing worden ingezet. In verband met de eisen om erosie van de dijk te voorkomen, kan in dijkvak 8 de dijk sowieso niet voldoende worden verlaagd om de stabiliteitsopgave met alleen kruinverlaging op te lossen. In dijkvak 8 is in aanvulling op kruinverlaging een binnenbermverbreding nodig van ca. 3 meter om de stabiliteit te garanderen. Net als bij de binnenwaartse oplossingsrichting, kan ook deze beperkte bermverbreding leiden tot schade aan kabels & leidingen (K&L) en de provinciale weg.

Als er vanuit gegaan wordt dat er na afgraven wel kruindaling optreedt en deze moet worden opgevangen in het ontwerp, kan de kruinverlaging alleen in dijkvak 7, en naar verwachting dijkvak 9, een zelfstandige oplossing zijn. Hierbij wordt uitgegaan van een kruindaling die gelijk is aan de voorspelling van de kruindaling op basis van de huidige kruinhoogte. Dit kan dus worden gezien als een bovengrens van de kruindaling.

De kans dat er helemaal geen kruindaling optreedt is onwaarschijnlijk. Dat betekent dat er een reële kans is dat de dijk met verlaagde kruin in sommige dijkvakken niet gedurende de planperiode van 50 jaar aan de veiligheidseisen zal voldoen. Ook andere onzekerheden rondom klimaat en extra meerpeilstijgingen kunnen niet opgevangen worden.

In bijlage C is beschreven dat door een kruinverlaging de verticale afstand tussen kruin en berm sterk verminderd wordt en circa 0,8 – 1,2 meter bedraagt. Daarnaast zal de dijk moeten worden teruggebracht tot een minimaal profiel. Ook moet voor het erosiebestendig maken op de kruin en buitentalud een grondlaag van circa 1,3 meter extra worden afgegraven en worden vervangen door erosiebestendige klei en teelaarde. Ook het binnentalud en een deel van de binnenberm moeten erosiebestendig worden gemaakt door een grondlaag van ca 1,1 m af te graven en te vervangen. In Figuur 8 is een dwarsdoorsnede gegeven van het ontwerp bij kruinverlaging. Hieruit is af te leiden dat het benodigde ontwerp een ernstige aantasting van het provinciaal monument veroorzaakt. Landschappelijke, cultuurhistorische en archeologische waarden worden aanzienlijk aangetast.



Figuur 8 Kruinverlaging met minimaal profiel en erosiebestendige kleilaag. In het rood gearceerd is het af te graven deel weergegeven. Het bruin gearceerde gedeelte betreft de erosiebestendige kleilaag.

Positieve eigenschappen van de oplossingsrichting hebben betrekking op het ruimtebeslag dat binnen het huidige profiel blijft. Hierdoor worden natuurwaarden aan de binnen- en buitenzijde niet aangetast. Ook ontstaat er een positieve grondbalans en zijn de kosten op korte termijn relatief laag. Een verbreding van het fietspad als meekoppelkans is in de effectbeoordeling beschreven, maar het verbreden van de kruin is binnen het herziene ontwerp op veel plekken niet meer mogelijk. Het fietspad kan wel breder worden aangelegd tussen de nieuwe kruin en N518.

3.2.4 Oplossingsrichting D: Profielbehoud

Binnen deze oplossingsrichting vallen meerdere bouwstenen en uitvoeringstechnieken (damwand en innovatieve grondoplossingen, etc. Zie Tabel 1) en in de effectbeoordeling is het 'worst-case scenario' getoetst.

De oplossingsrichting is beoordeeld als meest dure oplossing, waardoor er mogelijk obstakels in de subsidieverlening ontstaan. Vanuit archeologie kunnen sterk negatieve effecten optreden als het huidige dijklichaam wordt afgegraven ten behoeve van een grondverbetering. Dat wordt daarom niet gezien als kansrijke oplossing (ook omdat dan de provinciale weg en kabels en leidingen niet behouden kunnen blijven). Bij het plaatsen van een damwand of andere constructie waarbij geen grond wordt afgegraven zijn de negatieve effecten op archeologie minder sterk. Aandachtspunt is dat complicaties in de beheerfase kunnen optreden door het plaatsen van starre constructies in slappe grond. Daarnaast is de oplossingsrichting slecht aanpasbaar in de toekomst en kan afhankelijk van materiaalgebruik slecht scoren op duurzaamheid. Positief aan deze oplossingsrichting is dat de meeste permanente negatieve omgevingseffecten worden voorkomen, omdat vooral in de uitvoeringsfase hinder wordt verwacht.

3.3 Selectie kansrijke alternatieven

- **Binnenwaarts:**
De oplossingsrichting wordt beoordeeld als kansrijk, mits maatregelen worden getroffen zodat K&L en de N518 blijven functioneren en de oplossing daarmee vergunbaar is. Dat betekent o.a. dat de berm naar verwachting breed moet worden uitgevoerd (zonder tijdelijke overhoogte), kabels en leidingen moeten worden verlegd, en de weg bij beschadigingen (tussentijds) moet worden hersteld. Het ophogen van de berm valt af als mogelijkheid binnen deze oplossingsrichting, omdat daarbij de continue bereikbaarheid van Marken niet kan worden gerealiseerd.
- **Buitenwaarts:**
De oplossingsrichting wordt beoordeeld als kansrijk, mits deze vergunbaar is op gebied van N2000, NNN en cultuurhistorie/archeologie. Dat hangt onder andere af van de significantie van de effecten en van de aanwezigheid van andere reële alternatieven. De oplossingsrichting wordt meegenomen naar de volgende onderzoeksrunde zodat de effecten beter in beeld kunnen worden gebracht.
- **Kruinverlaging:**
De oplossingsrichting wordt beoordeeld als kansrijk, mits deze vergunbaar is op gebied van cultuurhistorie en archeologie. Daarnaast

moet er rekening mee gehouden worden dat deze oplossingsrichting mogelijk niet voor de volledige planperiode de opgave oplost, afhankelijk van de werkelijk optredende kruindaling. De oplossingsrichting wordt in lijn met het advies van de Commissie voor de m.e.r. meegenomen naar de volgende onderzoeksronde zodat de effecten van het aangescherpte ontwerp verder in beeld kunnen worden gebracht.

- **Profielbehoud:**

De oplossingsrichting wordt beoordeeld als kansrijk, maar alleen als terugvaloptie als andere alternatieven niet kansrijk blijken en/of het verschil in kosten minimaal is. Grondverbetering waarbij de huidige berm wordt afgegraven, wordt ook niet als kansrijk gezien, omdat daarbij de functie van de weg niet kan worden gehandhaafd en vanwege de sterk negatieve effecten op de monumentale status en archeologische waarde van de dijk. Een zelfstandig kerende constructie is niet nodig om het stabiliteitsprobleem op te lossen. Een voorbeeld hiervan is een zwaar uitgevoerde constructie waarbij het grondlichaam geen functie meer heeft. Deze is duurder en daarmee niet kansrijk.

4 Kansrijke alternatieven

4.1 Kansrijk alternatief: A. Binnenwaarts

4.1.1 Beschrijving kansrijk alternatief

In dit alternatief wordt over het gehele traject gekozen voor een bermverbreeding aan de binnenzijde. De uitkomsten van stabiliteitsberekeningen wijzen uit dat de berm aanzienlijk verbreed moet worden. De benodigde verbreding kan worden beperkt door het ontwerp te optimaliseren met nader onderzoek of door andere uitvoeringstechnieken. Dit kan o.a. bereikt worden door taludverflauwing van het binnenbermtalud richting maaiveld en grondverbetering onder de nieuw aan te leggen berm. Deze optimalisaties worden eventueel in de Planuitwerkingsfase verder onderzocht.

Bij de uitvoering van dit alternatief zijn maatregelen nodig om schade aan de weg te beperken. Daarnaast zullen ook noodreparaties nodig zijn om scheuren te herstellen. Als het merendeel van de zettingen heeft plaatsgevonden, wordt de N518 volledig hersteld door deze opnieuw te asfalteren. Mogelijk is ook herstel van de wegfundering nodig. Ook zullen kabels en leidingen verlegd moeten worden om de uitvoering mogelijk te maken. Verder kan de bermverbreeding zodanig uitkomen dat de teensloot gedempt wordt. In verband met de waterhuishouding moet de sloot worden teruggebracht langs de teen van de verbrede berm.

Vanuit de bouwstenen voor andere functies¹ hebben enkele de meeste synergie. Dit zijn: natuurvriendelijke oevers binnendijs, bloemrijke taluds, horizontale of verticale warmtewisselaar en het creëren van rustpunten t.b.v. recreatie/cultuurhistorie. Ook zijn er mogelijkheden om het fietspad te verleggen en verbreden op de brede binnenberm. Daarnaast is er vanuit de duurzaamheidsambitie de mogelijkheid om overtollige gebiedseigen grond te hergebruiken indien beschikbaar.

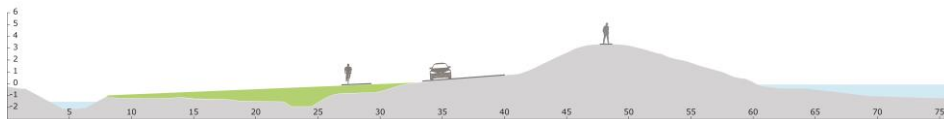
4.1.2 Uitwerking ruimtebeslag en dwarsprofielen

Het ruimtebeslag van dit alternatief uit zich in het benodigde landgebruik aan de binnenzijde. Bij het verbreden van de binnenberm zal ook de teensloot moeten worden verplaatst (gecompenseerd) indien aanwezig. In dijkvak 7 moet hierbij ook rekening worden gehouden met de doorvoerfunctie van de watergang welke hier een primaire watergang is. Als een maatregel ten koste gaat van het beschikbare wateroppervlak, moet deze ruimte worden gecompenseerd met het oog op waterberging in het peilgebied.

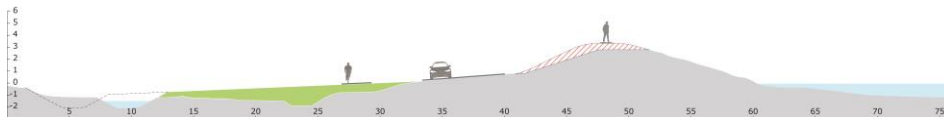
In het achterland is voornamelijk agrarisch land en NNN-gebied aanwezig. Een goede afstemming met lokale stakeholders is dus belangrijk. Ook zijn er diverse maatwerklocaties in beeld. Dit zijn o.a. de twee woonhuizen langs de Zeedijk, de woonhuizen in de straat Bereklaauw, het oude gemaal inclusief de oude uitwateringssluizen en gemaal De Poel. Hier kan lokaal voor een andere versterkingsmaatregel gekozen worden. Ook moet rekening gehouden worden met de aansluitende wegen op de N518 en dit zijn daarmee

inpassingslocaties⁴. Ook de overgangszones aan het einde van het te versterken dijktraject gelden als inpassingslocatie.

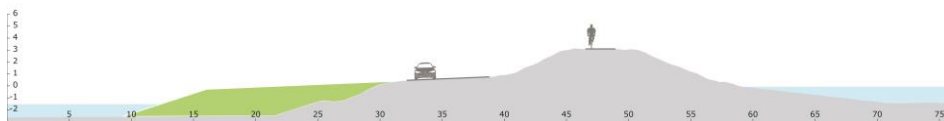
In de volgende figuren zijn eerst de dwarsprofielen met een bermverbreding weergegeven. Vervolgens is het ruimtebeslag van het kansrijke alternatief aangegeven op de kaart. Hierop is te zien hoe het alternatief in het gebied ingepast kan worden. De maatwerk- en inpassingslocaties zijn ook weergegeven.



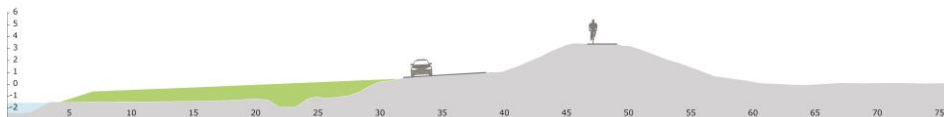
Figuur 9. Bermverbreding dijkvak 5.



Figuur 10. Bermverbreding in combinatie met kruinverlaging dijkvak 5.



Figuur 11. Bermverbreding dijkvak 6.



Figuur 12. Bermverbreding dijkvak 8.

⁴ Op inpassingslocaties is aandacht nodig hoe het te versterken tracé aansluit op de omgeving.



Figuur 13. Ruimtebeslag kansrijk alternatief A. Gele cirkels geven maatwerklocaties aan, paarse cirkels inpassingslocaties. Grotere versie beschikbaar in bijlage E.

4.1.3 Uitvoeringswijze

Ten behoeve van de uitvoering wordt naar verwachting een werkbaan aangelegd aan de binnenzijde van de dijk. Een overzicht is weergegeven in Figuur 14 en een globale beschrijving van de uitvoering is beschreven in bijlage D. De totale uitvoeringsduur wordt geschat op 2-4 jaar.



Figuur 14. Globale fasering Binnenwaarts. 1: voorbereiden werkbaan. 2 realiseren bermverbreding. 3: Herstellen N518. N.B.: dimensionering bermverbreding is niet op schaal.

4.2 Kansrijk alternatief: B. Buitenwaarts

4.2.1 Beschrijving kansrijk alternatief

In dit alternatief wordt over het gehele traject gekozen voor een oplossingsrichting met een ruimtebeslag naar de buitenzijde gericht. Dit wordt bereikt door middel van een buitenwaartse asverschuiving. Dit betekent dat de binnenberm naar buiten toe wordt verbreed, waarbij de N518 op de huidige plek kan blijven liggen. De huidige kruin van de dijk wordt (deels) afgegraven en aan de buitenzijde van de dijk opnieuw aangelegd.

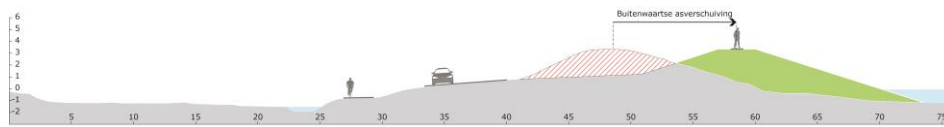
Vanuit de bouwstenen uit andere functies¹ hebben de meeste synergie: bloemrijke taluds, verbreden fietspad (op nieuw ontstane brede binnenberm), geleidelijke land/water overgangen buitendijks, trap naar het water nabij de straat Bereklaauw en het creëren van rustpunten t.b.v. recreatie en mede ter beleving van de cultuurhistorie. Een andere meekoppelkans bij een buitenwaartse asverschuiving is het uitvoeren van groot onderhoud aan de teenschotten. Ook bij dit alternatief kan vanuit de duurzaamheidsambities gewerkt worden met overvloedige gebiedseigen grond indien beschikbaar.

4.2.2 Uitwerking ruimtebeslag en dwarsprofielen

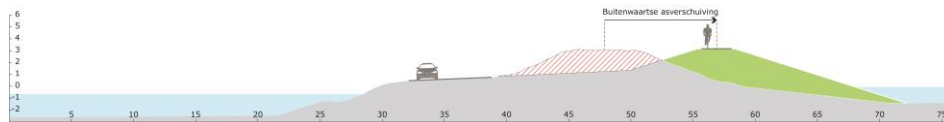
Het ruimtebeslag van dit alternatief heeft vooral invloed op de buitendijks gelegen natuurwaarden. Op de plekken met een voorland gaat dit om land in beheer van Staatsbosbeheer dat is aangewezen als NNN-gebied. Op de tussenliggende gedeeltes waar geen voorland aanwezig is betreft het N2000-gebied de Gouwzee. Het fiets- en voetpad dat zich op de kruin bevindt wordt eerst verwijderd en na de realisatie van de asverschuiving teruggebracht op de nieuwe kruin. Aan de buitenzijde van de dijk ligt een steenbekleding. Deze wordt bij de werkzaamheden verwijderd en moet weer aangebracht worden op het nieuwe buitentalud.

Buitendijks aan het begin van dijkvak 5 ligt het Mirror Paviljoen en deze is in beeld als maatwerklocatie. Ook het oude gemaal inclusief de oude uitwateringssluus en gemaal De Poel zijn een maatwerklocatie. Daarnaast gelden de overgangen op de randen van het plangebied en de scherpe knikken in het verloop van de dijk (waar al een brede berm aanwezig is in de huidige situatie) als inpassingslocaties.

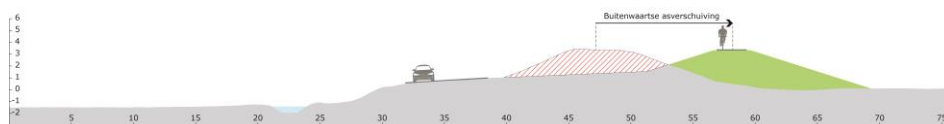
In de volgende figuren zijn eerst de dwarsprofielen met een buitenwaartse asverschuiving weergegeven. Vervolgens is het ruimtebeslag van het kansrijke alternatief aangegeven op de kaart. Hierop is te zien hoe het alternatief in het gebied ingepast kan worden. De maatwerk- en inpassingslocaties zijn ook weergegeven.



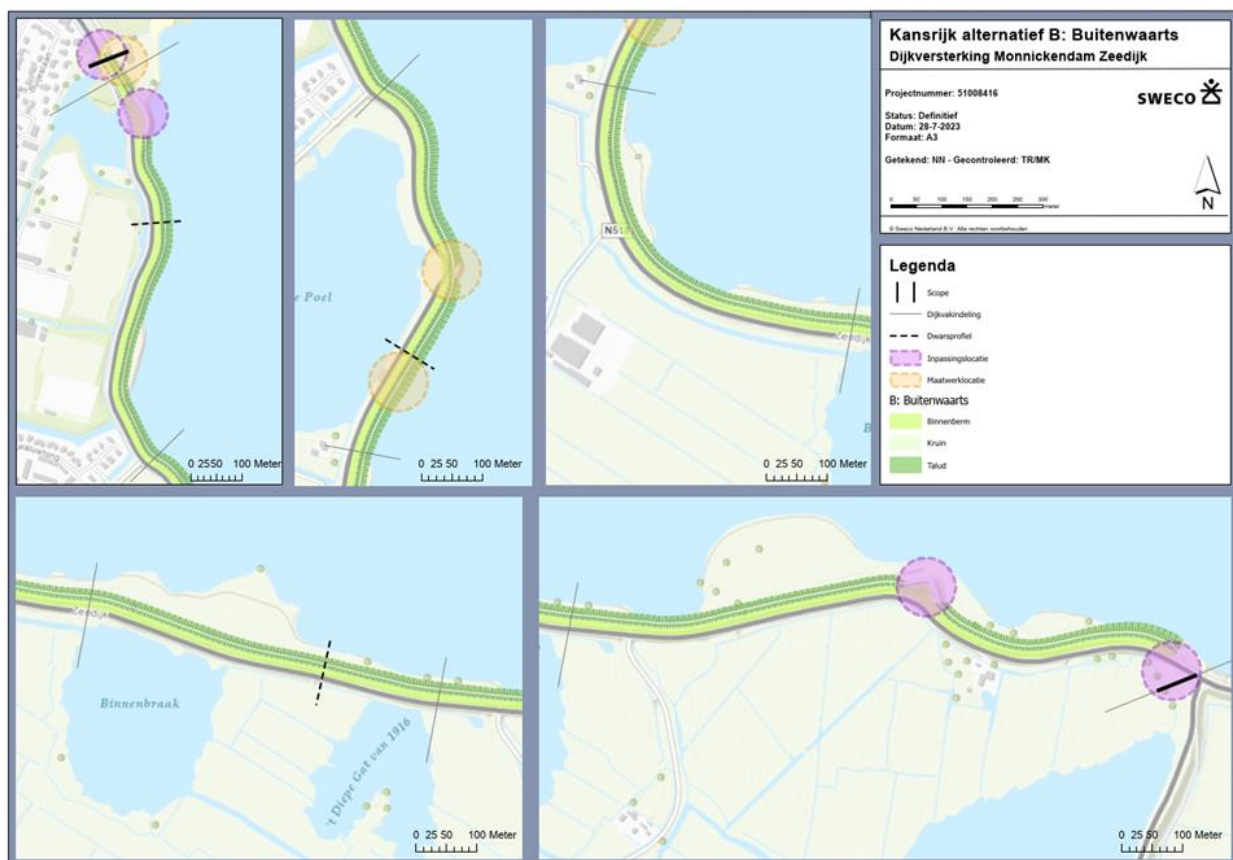
Figuur 15. Buitenwaartse asverschuiving dijkvak 5.



Figuur 16. Buitenwaartse asverschuiving dijkvak 6.



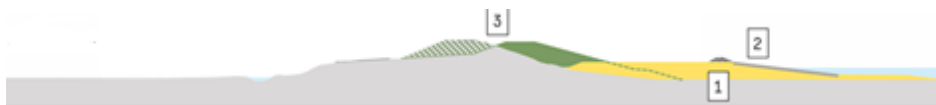
Figuur 17. Buitenwaartse asverschuiving dijkvak 8.



Figuur 18. Ruimtebeslag kansrijk alternatief B. Gele cirkels geven maatwerklocaties aan, paarse cirkels inpassingslocaties. Grotere versie beschikbaar in bijlage E.

4.2.3 Uitvoeringswijze

Ten behoeve van de uitvoering wordt naar verwachting een werkbaan aangelegd aan de buitenzijde van de dijk. Om vrij te kunnen werken aan de bestaande waterkering, wordt mogelijk een tijdelijke kering aangebracht aan de rand van de werkbaan. Hierna kan de buitenwaartse asverschuiving worden gerealiseerd. Een overzicht is weergegeven in Figuur 19 en een globale beschrijving van de uitvoering is beschreven in bijlage D. De totale uitvoeringsduur wordt geschat op 3-5 jaar.



Figuur 19. Globale fasering Buitenwaarts. 1: voorbereiden werkbaan. 2: aanleggen tijdelijke kering. 3: realiseren asverschuiving. N.B.: dimensionering is niet op schaal.

4.3 Kansrijk alternatief: C. Kruinverlaging

4.3.1 Beschrijving kansrijk alternatief

In dit alternatief wordt over het gehele traject gekozen voor een verlaging van de kruin, om de stabiliteitsopgave op te lossen. In dijkvak 5, 6, 7 en 9 kan met kruinverlaging de volledige opgave worden opgelost, zonder dat de dijk te laag wordt, onder de aanname dat er geen bodemdaling meer optreedt na het afgraven van de kruin. Als de dijk te laag wordt voldoet hij niet meer aan de eisen voor het voorkomen van erosie ten gevolge van overloop en overslag. In verband met de eisen, kan in dijkvak 8 de dijk niet voldoende worden verlaagd om de stabiliteitsopgave met alleen kruinverlaging op te lossen. Hier is aanvullend een bermverbreiding aan de binnenzijde nodig om de stabiliteit te garanderen. Om erosie van de dijk ten gevolge van overloop en overslag te voorkomen moet bij het alternatief kruinverlaging de dijk overslagbestendig worden gemaakt.

Het fiets- en voetpad dat zich op de kruin bevindt wordt eerst verwijderd en na het verlagen van de kruin en aanbrengen van erosiebestendige lagen weer teruggebracht. Een verbreding van het fietspad op de kruin is op veel plekken niet mogelijk, omdat de kruin smal moet worden uitgevoerd om de benodigde stabiliteitswinst te behalen. Het fietspad kan wel breder worden aangelegd tussen de nieuwe kruin en N518.

Naast het verbreden van het fietspad, heeft kruinverlaging ook mogelijk synergie met de bouwsteen van het creëren van rustpunten t.b.v. recreatie/cultuurhistorie. Hier ontstaat mogelijk ruimte voor tussen de nieuwe kruin en N518. Daarnaast biedt het alternatief de mogelijkheid om afgegraven grond lokaal te hergebruiken, eventueel bij toepassing van een andere maatregel (zoals het verbreden van de binnenberm in dijkvak 8).

4.3.2 Uitwerking ruimtebeslag en dwarsprofielen

Dit alternatief kent in het basisontwerp (voor de uiteindelijke situatie na oplevering) geen ruimtebeslag buiten het huidige profiel. Alleen in dijkvak 8 zal een bermverbreeding van circa 3 meter de binnendijs gelegen braken raken en de percelen daartussen. Ook zal op deze locatie de bermsloot worden verplaatst om de waterhuishouding in stand te houden, zullen de kabels en leidingen moeten worden verlegd en zullen maatregelen ten behoeve van herstel van de provinciale weg moeten worden getroffen.

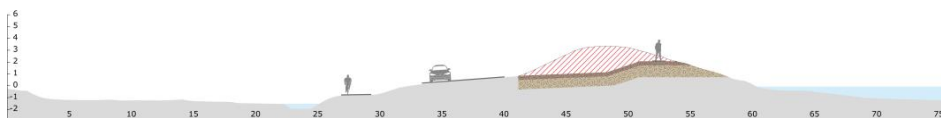
De hoogte van de dijk wordt voor alle dijkvakken teruggebracht tot NAP +2,1 meter. Dit is 0,7 tot 1,2 meter (afhankelijk van het dijkvak) lager dan de huidige kruin. De breedte van de nieuwe kruin is in het basisontwerp 3 meter.

Er moeten maatregelen worden getroffen om een overslagdebiet van 10 l/s/m veilig te kunnen opvangen. Dit betekent dat de kleilaag op het buitentalud en de kruin 1,0 meter dik moet zijn en op het binnentalud en een deel van de binnenberm 0,8 meter. Daarbovenop komt nog circa 0,3 meter teelaarde waarop de grasmat groeit. Dit betekent dat er nog circa 1,1 tot 1,3 meter extra grond moet worden afgegraven, zodat de erosiebestendige lagen daarop kunnen worden aangebracht.

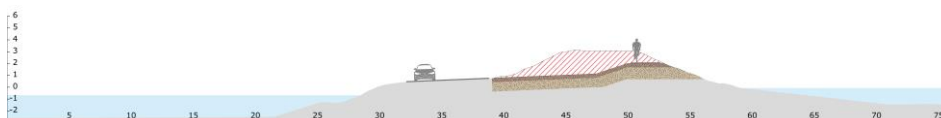
Aan de buitenzijde van de dijk ligt een steenbekleding. Deze wordt bij de werkzaamheden zo veel mogelijk intact gelaten. Na het afgraven van de kruin moet deze mogelijk hersteld worden.

Gemaal De Poel en de oude locatie van het gemaal inclusief oude uitwateringssluits zijn in beeld als maatwerklocatie. Verder zijn er drie locaties als inpassingslocatie aangemerkt. Hier is de binnenberm relatief lang, waardoor het binnentalud niet 1:3 aangelegd kan worden.

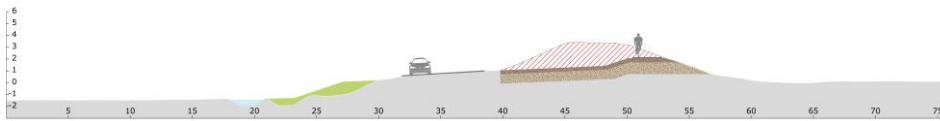
In de volgende figuren zijn eerst de dwarsprofielen met een kruinverlaging weergegeven. Vervolgens is het ruimtebeslag van het kansrijke alternatief aangegeven op de kaart. Hierop is te zien hoe het alternatief in het gebied ingepast kan worden. De maatwerk- en inpassingslocaties zijn ook weergegeven.



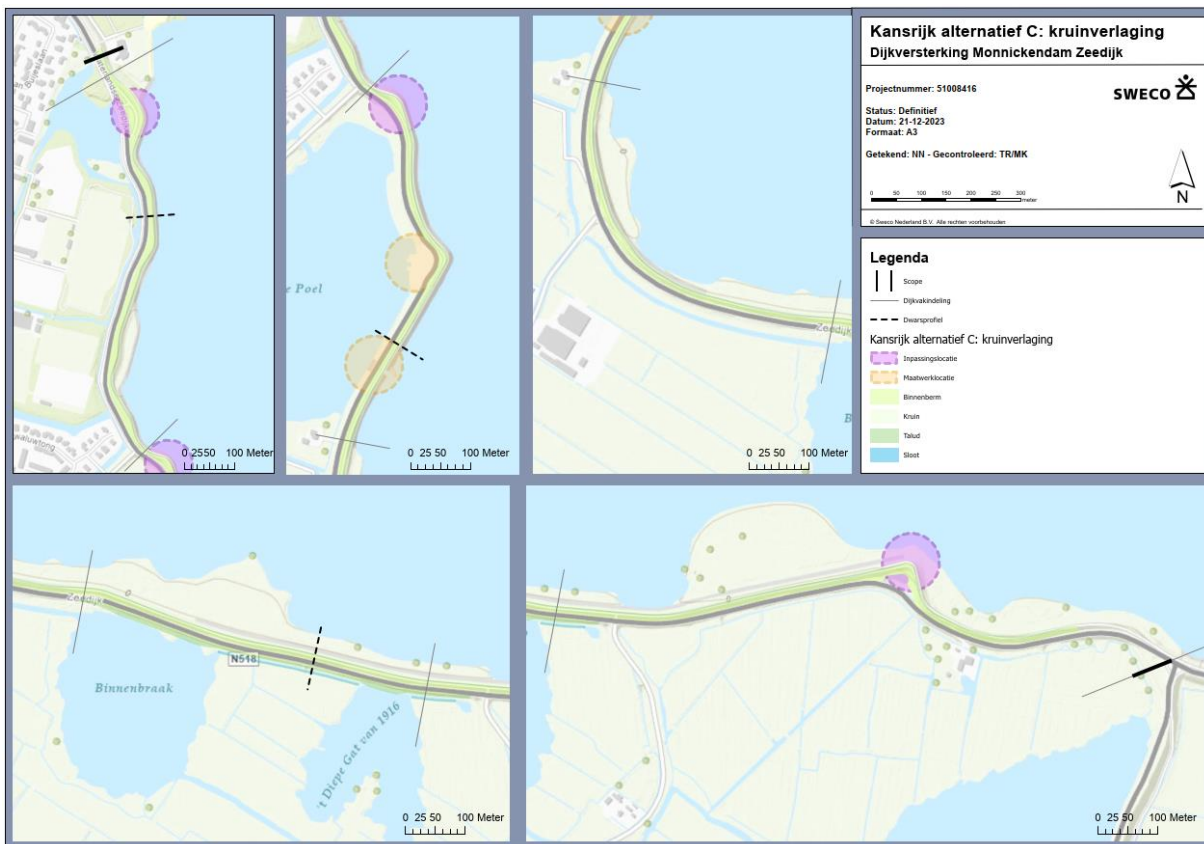
Figuur 20. Buitenwaartse asverschuiving dijkvak 5. Rood gearceerd: het weg te graven dijklichaam. Ook bruine delen moeten eerst worden afgegraven en dan het vereiste materiaal aangebracht. Donkerbruin: teelaarde. Lichtbruin: kleilaag.



Figuur 21. Buitenwaartse asverschuiving dijkvak 6. Rood gearceerd: het weg te graven dijklichaam. Ook bruine delen moeten eerst worden afgegraven en dan het vereiste materiaal aangebracht. Donkerbruin: teelaarde. Lichtbruin: kleilaag.



Figuur 22. Buitenwaartse asverschuiving dijkvak 8. Rood gearceerd: het weg te graven dijklichaam. Ook bruine delen moeten eerst worden afgegraven en dan het vereiste materiaal aangebracht. Donkerbruin: teelaarde. Lichtbruin: kleilaag. Groen: bermverbreding.



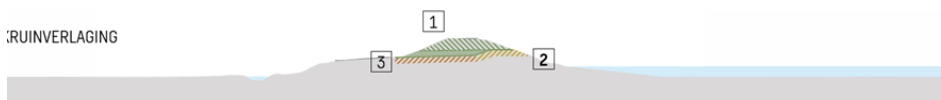
Figuur 23. Ruimtebeslag kansrijk alternatief C. Gele cirkels geven maatwerklocaties aan, paarse cirkels inpassingslocaties. Grotere versie beschikbaar in bijlage E.

4.3.3 Uitvoeringswijze

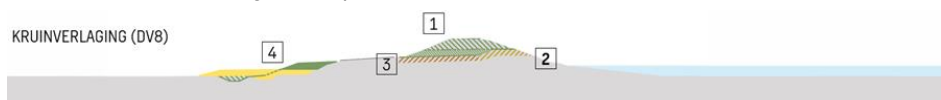
Om de kruin te verlagen wordt zoveel mogelijk gewerkt vanaf de dijk zelf. Eerst wordt het fietspad verwijderd en de kruin afgegraven (afgetopt) tot een minimaal vereiste hoogte. Daardoor wordt een werkplateau gecreëerd, voor aan- en afvoer van materiaal en materieel, maar blijft de waterveiligheid nog gegarandeerd. Op een aantal locaties moeten keer- en passeervoorzieningen gerealiseerd worden. In de volgende stap wordt vanaf het werkplateau het buitenste deel van het huidige dijklichaam verder afgegraven om de erosiebestendige kleilaag aan te brengen ter plaatse van de nieuwe kruin. Zodra de buitenzijde van de kruin gereed is, wordt in de laatste stap de binnenzijde verder afgegraven en wordt de erosiebestendige laag ook daar

aangebracht. Vervolgens worden dijk afgewerkt en ingezaaid en wordt het fietspad teruggebracht. Door de kruinverlaging, met name de werkzaamheden aan de buitenzijde, gefaseerd uit te voeren en te werken in het open seizoen, kan voorkomen worden dat een tijdelijke kering noodzakelijk is.

Voor het verbreden van de berm in dijkvak 8 moet een tijdelijke werkbaan worden aangebracht aan de binnenzijde van de berm. Deze is breder dan de uiteindelijke berm, om voldoende werkruimte te hebben. Daarvoor wordt de huidige teensloot gedempt. Aan- en afvoer van materieel en materiaal naar deze werkbaan kan plaatsvinden via provinciale weg en de straat Dijkeinde. Na aanbrengen van de werkbaan worden de kabels en leidingen (tijdelijk) verplaatst en daarna wordt de bermverbreding aangebracht. Tot slot wordt de werkbaan verwijderd en de eindsituatie vormgegeven (inclusief teensloot en kabels en leidingen). Eventuele schade aan de provinciale weg wordt hersteld. Een overzicht is weergegeven in Figuur 19 en een globale beschrijving van de uitvoering is beschreven in bijlage D. De totale uitvoeringsduur wordt geschat op 1-3 jaar.



Figuur 24. Globale fasering kruinverlaging. 1: afgraven binnenzijde kruin 2: afgraven en erosiebestendig maken buitenzijde kruin 3: verder afgraven en erosiebestendig maken binnenzijde kruin. N.B.: dimensionering is niet op schaal.



Figuur 25. Globale fasering kruinverlaging dijkvak 8. 1: afgraven binnenzijde kruin 2: afgraven en erosiebestendig maken buitenzijde kruin 3: verder afgraven en erosiebestendig maken binnenzijde kruin. 4: verbreden berm. N.B.: dimensionering is niet op schaal.

4.4 Kansrijk alternatief: D. Profielbehoud

4.4.1 Beschrijving kansrijk alternatief

In dit alternatief is het uitgangspunt om het huidige profiel van de dijk te behouden en zorg te dragen voor een minimaal ruimtebeslag. Daarnaast blijven de weg en het fietspad behouden in deze oplossingsrichting.

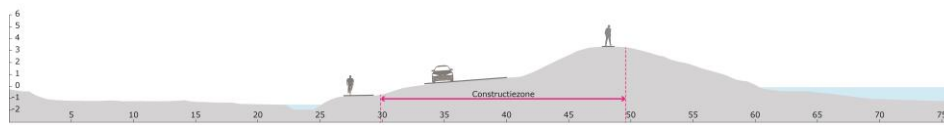
De meest voor de hand liggende maatregel is een verticale langsconstructie (damwand) in de binnenberm of teen van de dijk. Andere mogelijk kansrijke (innovatieve) technieken zijn Mixed in Place (de toepasbaarheid en effectiviteit op slappe grond moet dan nog wel worden onderbouwd), dijkvernageling en dijkdeuvels.

4.4.2 Uitwerking ruimtebeslag en dwarsprofielen

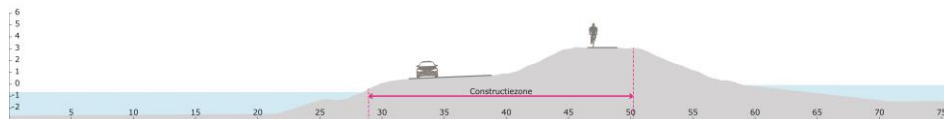
Dit alternatief kent geen ruimtebeslag buiten het huidige profiel van de dijk. De constructiezone bevindt zich tussen de buitenkruinlijn en de binnenteen van de dijk. Als inpassingslocaties zijn hier de overgangen met de wegen en randen

van het plangebied in beeld. Het oude gemaal inclusief oude uitwateringssluis en gemaal De Poel gelden als maatwerklocatie.

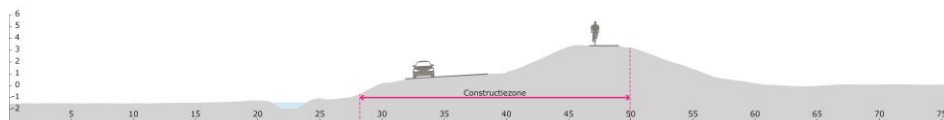
In de volgende figuren zijn eerst de dwarsprofielen van het kansrijke alternatief aangegeven. Vervolgens zijn op de kaart de maatwerk- en inpassingslocaties weergegeven en is te zien dat er geen ruimtebeslag op de omgeving is.



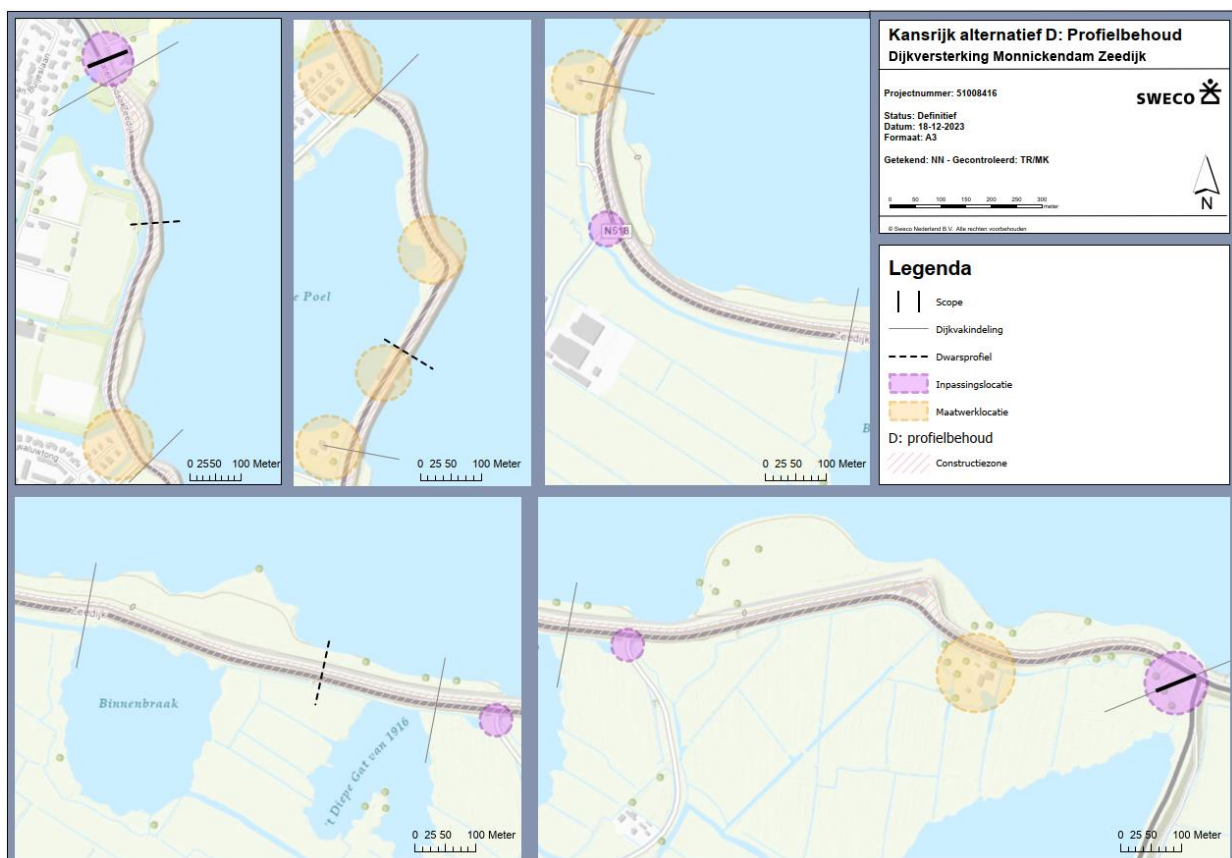
Figuur 26. Profielbehoud dijkvak 5.



Figuur 27. Profielbehoud dijkvak 6.



Figuur 28. Profielbehoud dijkvak 8.



Figuur 29. Ruimtebeslag kansrijk alternatief D. Gele cirkels geven maatwerklocaties aan, paarse cirkels inpassingslocaties. Grotere versie beschikbaar in bijlage D.

4.4.3 Uitvoeringswijze

Ten behoeve van de uitvoering wordt naar verwachting een werkbaan aangelegd aan de binnenzijde van de dijk. Dit is tevens de opstelplaats voor het materieel. De constructie kan worden aangebracht onderaan de bestaande berm. Tijdens het inhijzen van een damwand is kortdurende afsluiting van de N518 noodzakelijk. Een overzicht is weergegeven in Figuur 30 en een globale beschrijving van de uitvoering is beschreven in bijlage D. De totale uitvoering wordt geschat op 1-3 jaar.



Figuur 30. Globale fasering Profielbehoud met damwand. 1: voorbereiden werkbaan. 2: realiseren constructie. N.B.: dimensionering is niet op schaal

Bijlage A: Beoordeling- en afwegingskader

Beoordelingskader

Dijkversterking Monnickendam Zeedijk



Lijst met aanpassingen

Versie	Datum	Beschrijving van de wijziging
10%	09-01-2023	Opzet van de kaders
50%	13-01-2023	Verwerking sleutelsessie
90%	09-02-2023	Definitieve versie
100%	09-03-2023	Verwerking review HHNK

Sweco Nederland B.V.
Onderwerp Monnickendam Zeedijk
Projectnummer 51008416

Klant Hoogheemraadschap Hollands
Noorderkwartier

Versie D2.0

Datum 09-03-2023
Auteur Sven Suijkens

Gecontroleerd door

Tom Raadgever



Vrijgegeven door

Alex Hekman

Categorie	Aspect	Criteria	Detailniveau wijze van beoordelen				
			Verkenningsfase: Zeef 0: Bouwstenen (t.b.v. samenstellen mogelijke oplossingsrichtingen)	Verkenningsfase: Zeef 1: Mogelijke oplossingsrichtingen (naar kansrijke alternatieven)	Verkenningsfase: Zeef 2: kansrijke alternatieven (naar Voorkeursalternatief), opgenomen in MER deel 1	Planuitwerkingsfase: uitwerking Voorkeursalternatief in ontwerp tbv Projectbesluit, opgenomen in MER Deel 2	
Techniek							
	Waterveiligheidswinst	De toegevoegde veiligheid als gevolg van de versterkingsmaatregel	Kwalitatief (gericht op evt onoverkomelijke obstakels in (zelfstandig) probleem oplossend vermogen, technische haalbaarheid en beheerbaarheid / onderhoud)	Kwantitatief	Kwantitatief	Kwantitatief	
	Uitvoerbaarheid	Ervaring met de toegepaste techniek(en), complexiteit (logistiek) van de uitvoering en planning		-	Kwalitatief (techniek)	Kwalitatief (techniek)	
	Beheerbaarheid	Gevolgen voor het beheer en onderhoud (inspanning en frequentie) en het beheer tijdens hoogwater.		Kwalitatief van beheerder	Kwalitatief van beheerder	Kwalitatief van beheerder	
	Aanpasbaarheid	Mate waarin toekomstige dijkversterking mogelijk is in hoogte, breedte en sterkte.		Kwalitatief	Kwalitatief	Kwalitatief	
Milieu *							
	Natuur	Effect op N2000-gebieden Effect op NNN-gebieden Effect op overige beschermde gebieden (inclusief KRW) Effect op soorten in N2000 gebieden Effecten op overige beschermde flora en fauna Effecten op biodiversiteit (versterking/afname)	Kwalitatief (gericht op evt onoverkomelijke obstakels in vergunbaarheid van bouwstenen)	Kwalitatief (gericht op vergunbaarheid van oplossingen), deels kwantitatief (effecten op wijzigingen in areaal)	- Kwantitatief (effecten op of wijzigingen in areaal of soorten, waaronder stikstofdepositie in N2000) en kwalitatief (verstoring tijdens uitvoering)	- Kwantitatief (effecten op of wijzigingen in areaal of soorten, waaronder stikstofdepositie in N2000) en kwalitatief (verstoring tijdens uitvoering)	
	Waterkwantiteit	Invloed op grondwaterstanden in relatie tot bebouwd en agrarisch gebied (eventueel ook natuur indien gevoelig) Toename/afname van binnendijsk waterbezwaar. Invloed op oppervlaktewater		Kwalitatief	Kwalitatief	Kwalitatief en kwantitatief	
	Waterkwaliteit	Effect op (grond)waterkwaliteit Effect op KRW doelen (ecologische toestand) Effect op KRW doelen (chemische toestand)		-	Kwalitatief	Kwalitatief en kwantitatief	
	Bodem	Verandering van aanwezige verontreinigingen door het geheel of gedeeltelijk verwijderen van deze verontreinigingen Effect op aardkundige waarden (geografische waarden)		-	Kwantitatief (verontreinigingen, mate van vrijkomende grond) en kwalitatief	Kwantitatief (verontreinigingen, mate van vrijkomende grond) en kwalitatief	
	Circulariteit en emissies	Mate waarin met gebiedseigen materiaal kan worden gewerkt (circulaire materiaalbalans) en materialen herbruikbaar zijn in een volgende levenscyclus.		Kwalitatief	Kwantitatief obv MKI (Dubocalc) + globaal materiaalstromenplan	Kwantitatief obv MKI (Dubocalc) + materiaalstromenplan	
		Mate waarin broeikasgasemissies worden beperkt (en/of ingevangen) t.b.v. een klimaatneutraal project		Kwalitatief	Kwantitatief obv MKI (Dubocalc)	Kwantitatief obv MKI (Dubocalc)	
Omgeving*							
	Landschap en ruimtelijke kwaliteit	Effect op ruimtelijk-visuele waarden van het landschap (belevingswaarde, toekomstwaarde, zichtlijnen, open- of beslotenheid, karakteristieke elementen) en inpassing in relatie tot andere deeltracés.		Kwalitatief (gericht op evt onoverkomelijke obstakels in vergunbaarheid van bouwstenen)	Kwalitatief	Kwalitatief	Kwalitatief
	Cultuurhistorie	Invloed op de aanwezige waarden (gewaardeerde cultuurlandschappen, dijklandschappen, beschermde gebouwen)			Kwalitatief	Kwalitatief	Kwalitatief
	Archeologie	Effect op archeologische verwachtingswaarde en beschermde waarden			Kwalitatief (gericht op vergunbaarheid van oplossingen)	Deels kwantitatief (mate waarin gebieden / areaal wordt geraakt)	Deels kwantitatief (mate waarin gebieden / areaal wordt geraakt)
	Woon-, werk- en leefmilieu	Invloed op woongenot en bedrijfsfunctie (bebouwing en percelen)	Kwalitatief, deels kwantitatief (aantal te amoveren bedrijven of woningen, areaal)		Deels kwantitatief (amoveren woningen of bedrijven, aantasting percelen, effect op bedrijfsvoering, areaal), deels kwalitatief	Deels kwantitatief (amoveren woningen of bedrijven, aantasting percelen, effect op bedrijfsvoering, areaal), deels kwalitatief	
		Effect op in bestaande functies van percelen (functionaliteit)	Kwalitatief		Kwalitatief	Kwalitatief	
	Landbouw	Verandering areaal Mate van doorsnijding van percelen Effect op agrarische bedrijfsvoering	Kwalitatief		Kwalitatief	Kwalitatief	
	Recreatie en medegebruik	invloed op recreatieve routes en recreatief gebruik van de dijk (wandelen, fietsen), invloed op bestaande horeca en verblijfsfuncties	Kwalitatief		Kwalitatief	Kwalitatief	
	Verkeer	Effect op verkeersveiligheid	Kwalitatief		Kwalitatief (bij bereikbaarheid aandacht voor tijdelijke effecten gedurende uitvoering)	Kwalitatief (bij bereikbaarheid aandacht voor tijdelijke effecten gedurende uitvoering)	
		Effect op verkeersafwikkeling					
		Effect op bereikbaarheid bewoners, bedrijven en hulpdiensten					
	Kabels & leidingen	Effect op kabels & leidingen	-	Kwalitatief	Kwalitatief		
	Hinder tijdens aanleg	Mate waarin hinder tijdens aanleg optreedt, o.a. geluid en stofhinder, trillingen. NB. Verkeersoverlast en bereikbaarheid en effecten op natuur zijn onder ander criteria opgenomen.	-	-	Kwalitatief en waar relevant kwantitatief (obv risicoanalyse)		
Kosten							
	Investeringskosten	Realisatiekosten inclusief vastgoed	Kwalitatief (gericht op evt onoverkomelijke obstakels in kosten en subsidiabiliteit van bouwstenen)	Kwantitatief (berekening met kostenkengetallen)	Kwantitatief (met SSK) op basis van LCC-benadering	Kwantitatief (met SSK) op basis van LCC-benadering	
	Levensduurkosten	Combinatie van investeringskosten, beheer- en onderhoudskosten en vervangingskosten		Kwantitatief (berekening met kostenkengetallen)	Kwantitatief (met SSK) op basis van LCC-benadering	Kwantitatief (met SSK) op basis van LCC-benadering	
	Subsidiabel	In hoeverre voldoen de oplossingen aan de voorwaarden voor subsidie vanuit het Hoogwaterbeschermingsprogramma (HWBP)		Kwalitatief	Kwalitatief	Kwalitatief	

*In Zeef 0 en 1 worden enkel permanente effecten meegenomen. In Zeef 2 en Planuitwerkingsfase worden voor alle milieuaspecten ook 'effecten/hinder tijdens aanleg' kwalitatief meegenomen.

Het beoordelingskader is een compleet kader met feitelijke beslisinformatie over alle mogelijk relevante (milieu)effecten en aspecten waarop we mogelijke oplossingsrichtingen en kansrijke alternatieven beoordelen. Het geeft aan <i>hoe</i> we deze effecten in beeld brengen in de verschillende zeefstappen.
*Dit doen we in elke opeenvolgende ontwerp- en zeefstap in meer detail. Samenhang in de per stap gehanteerde kader is nodig.
*Het beoordelingskader voor zeef 2 wordt beschreven in de NRD en de effectbeoordeling wordt opgenomen in de MER Deel 1 (en de MER Deel 2 in de PUF).
*De effectbeoordeling volgend het kader wordt gebruikt als <i>input</i> voor de afweging in de Nota VKA.

Afwegingskader MZD

Aspect	Criteria
Waterveiligheid	Hoofddoel (minder onderscheidend i.v.m. norm als harde randvoorwaarde)
Duurzaamheid	o.a. circulariteit, broeikasgasemissies en biodiversiteit
Maatschappelijk draagvlak	Breed maatschappelijk draagvlak voor VKA, o.a. door meekoppelkansen
Sober en doelmatig	Spaarzaam omgaan met maatschappelijke middelen

Het **Afwegingskader** bevat de **belangrijkste (bestuurlijke) afwegingscriteria** voor de zeef. Deze worden afgeleid van **projectdoelen en ambities**. Dit compactere kader waarin verschillende beoordelingscriteria in samenhang worden bekeken, helpt om keuzes te maken.

Bijlage B: Effectbeoordeling natuur

1.1 Beoordelingsmethodiek

Bij de effectbeoordeling worden van verschillende criteria de mogelijke effecten onderzocht. De criteria zijn voor het aspect natuur de volgende:

- Natura 2000-gebieden
- Natuurnetwerk Nederland
- Ander provinciaal beleid Noord-Holland
- Soortenbescherming
- Biodiversiteit (Rode lijst-soorten)

In de navolgende paragrafen wordt voor deze criteria beschreven hoe de effectscore zijn bepaald. Bij het bepalen van de scores is het verwachte ruimtebeslag van de oplossingsrichtingen bekeken ten opzichte van de referentiesituatie. Dit is de huidige situatie zoals deze is beschreven in het achtergrondrapport natuur¹.

1.1.1 Natura 2000-gebieden

Effecten op Natura 2000-gebieden worden beoordeeld aan de hand van de gevolgen voor het behalen van de instandhoudingsdoelen in het gebied. Deze doelen hebben betrekking op zowel habitattypen als habitat- en vogelrichtlijnsoorten. Effecten op habitattypen en leefgebied van Habitat- of Vogelrichtlijnsoorten worden kwalitatief bepaald omdat de omvang en reikwijdte van de effecten in dit stadium nog niet precies bekend is.

In de effectbeoordeling wordt onderscheid gemaakt tussen de aanlegfase en de gebruiksfase. De aanlegfase betreft de tijdelijke werkzaamheden ten behoeve van de dijkversterking, voor de gebruiksfase worden de permanente effecten beschouwd, waarbij de nieuwe situatie t.a.v. de oude wordt beoordeeld.

Een positief effect (+) wordt toegekend als een toename van het areaal met 0-1 ha. of verbetering van de kwaliteit van habitattypen of leefgebieden optreedt door het planvoornemen. Bij een toename van het areaal van >1 ha. is het effect sterk positief (++). Als per saldo geen sprake is van toe- of afname van het areaal, en ook geen verslechtering of verbetering van de kwaliteit op zal treden, dan wordt de score neutraal (0) toegekend.

Bij een areaalverlies van habitattypen of leefgebieden van 0-1 ha. waarbij instandhoudingsdoelen niet in het geding zijn is er een licht negatieve score. Ook tijdelijke verstoring van soorten met instandhoudingsdoelen leidt tot een licht negatieve score. Als dit effect een groter areaal betreft dan 1 ha. en/of instandhoudingsdoelen kunnen in het geding zijn, of tijdelijke verstoring van soorten kan tot effecten op instandhoudingsdoelen leiden, leidt dit tot een sterk negatieve score (- -).

¹ Achtergrondrapport Natuur Dijkversterking Monnickendam Zeedijk, Sweco 2023 (concept).

Tabel 1. Scoretabel Natura 2000.

score	Beoordeling ten opzichte van de referentiesituatie	toelichting
- -	Sterk negatief effect kan optreden	Areaalverlies >1ha. en/of instandhoudingsdoelen kunnen in geding zijn
-	Negatief effect kan optreden	Areaalverlies ≤1ha.
0	Neutraal effect / geen significant effect	Geen areaalverlies
+	Positief / gunstig effect kan optreden	Areaaltoename ≤1ha of lichte verbetering kwaliteit.
++	Sterk positief / gunstig effect kan optreden	Areaaltoename >1ha of grote verbetering kwaliteit

1.1.2 Natuurnetwerk Nederland

Om de effecten op het NNN te kwantificeren en te beoordelen of sprake is van onderscheidende effecten tussen de verschillende oplossingsrichtingen, wordt de beoordeling gemaakt op basis van de wezenlijke kenmerken en waarden of aanwezige waarden van de overige gebieden. De wezenlijke kenmerken en waarden van het Natuurnetwerk kunnen worden beschreven aan de hand van de volgende vier aspecten:

1. Bestaande en potentiële waarden van het ecosysteem;
2. De robuustheid en aaneengeslotenheid van het Natuurnetwerk;
3. De aanwezigheid van bijzondere soorten;
4. De verbindingfunctie van het gebied voor soorten en ecosystemen.

Bestaande en potentiële natuurwaarden worden onder andere afgeleid van de natuurbeheertypenkaart bij het Natuurbeheerplan van de provincie Noord-Holland.

In de effectbeoordeling wordt onderscheid gemaakt tussen de aanlegfase en gebruiksfase. Een positieve score is toegekend als het planvoornemen een positieve invloed heeft op de kwaliteit van het Natuurnetwerk door versterking van wezenlijke waarden en kenmerken door bijvoorbeeld uitbreiding van areaal met waardevolle(re) beheertypen.

Als per saldo geen sprake is van toe- of afname van de kwaliteit of verstoring, dan is de score neutraal (0) toegekend. Een negatieve score geldt voor een areaalverlies en bij een verstoring van een gebied of andere aantasting van wezenlijke kenmerken en waarden.

Tabel 2. Scoretabel Natuurnetwerk Nederland.

score	Beoordeling ten opzichte van de referentiesituatie	toelichting
- -	Sterk negatief effect kan optreden	Areaalverlies >5ha.
-	Negatief effect kan optreden	Areaalverlies ≤5 ha. of lokale of lichte aantasting van wezenlijke kenmerken en waarden van een groter gebied.
0	Neutraal effect / geen significant effect	Per saldo geen toe- of afname van de kwaliteit of verstoring.
+	Positief / gunstig effect kan optreden	Beperkte positieve invloed op kwaliteit van NNN. Er is een beperkte versterking van wezenlijke kenmerken en waarden (≤5 ha).
++	Sterk positief / gunstig effect kan optreden	Grote positieve invloed op kwaliteit van NNN. Er is een grote versterking van wezenlijke kenmerken en waarden (>5 ha).

1.1.3 Provinciaal beschermde gebieden

In de effectbeoordeling wordt onderscheid gemaakt tussen de aanlegfase en gebruiksfase. Een positieve score is toegekend als het planvoornemen een positieve invloed heeft op de kwaliteit of areaal van het Bijzonder Provinciaal Landschap of ganzenfoerageergebieden.

Als per saldo geen sprake is van toe- of afname van de kwaliteit en areaal en geen verstoring optreedt, dan is de score neutraal (0) toegekend. Een negatieve score geldt voor een areaalverlies, bij een verstoring van een gebied of andere aantasting van kernkwaliteiten.

Tabel 3. Scoretabel Provinciaal beschermde gebieden.

score	Beoordeling ten opzichte van de referentiesituatie	toelichting
- -	Sterk negatief effect kan optreden	Areaalverlies >5ha.
-	Negatief effect kan optreden	Areaalverlies ≤5ha. of lokale of lichte aantasting van kwaliteit van groter gebied.
0	Neutraal effect / geen significant effect	Per saldo geen toe- of afname van de kwaliteit of verstoring.
+	Positief / gunstig effect kan optreden	Beperkte positieve invloed op kwaliteit of toename areaal (≤5ha).
++	Sterk positief / gunstig effect kan optreden	Grote toename areaal (>5 ha) of toename kwaliteit.

1.1.4 Beschermde soorten

In de effectbeoordeling wordt onderscheid gemaakt tussen aantasting van (mogelijk) essentieel leefgebied, hetgeen een overtreding is van verbodsbepalingen van de Wet natuurbescherming, en aantasting van leefgebied dat niet essentieel is en de functionaliteit van vaste rust- en voortplantingsplaatsen niet in het geding brengt. Dit laatste is geen overtreding van verbodsbepalingen.

Op basis van de beperkte natuurdata is vaak niet aan te geven of geschikt leefgebied ook daadwerkelijk essentieel is voor het functioneren van vaste rust- en voortplantingsplaatsen. In dat geval wordt nu aangenomen dat de soort voorkomt in geschikt leefgebied en het leefgebied van belang is voor de rust- en verblijfplaatsen.

Wanneer er echter slechts een klein deel van een veel groter potentieel geschikt leefgebied effecten ondervindt, wordt afgewogen of dit gedeelte als essentieel moet worden beschouwd voor het functioneren van het leefgebied als geheel. Ook wordt in beschouwing genomen of eventuele negatieve effecten op het aanwezige leefgebied te mitigeren zijn, of dat dit moeilijk of niet realiseerbaar is, waardoor compensatie nodig is als er sprake is van een effect op de lokale gunstige staat van instandhouding. Meer algemeen voorkomende soorten waarvoor een vrijstelling geldt, worden voor het bepalen van de onderscheidende effecten buiten beschouwing gelaten.

In de effectbeoordeling voor beschermde soorten wordt onderscheid gemaakt tussen een beoordeling voor de aanlegfase en gebruiksfase. Een positief effect is toegekend als het planvoornemen een positief effect heeft op het potentiële habitat van beschermde soorten. Als per saldo geen invloed is op het habitat of verstoring van beschermde soorten, dan wordt de score neutraal (0) toegekend. Een negatieve score geldt voor verstoring of aantasten van al dan niet essentieel habitat van een beperkt aantal beschermde soorten, waarvoor mitigatie of compensatie mogelijk is. Bij verstoring of aantasting van het essentiële habitat voor een groot aantal beschermde soorten, of soorten waarbij mitigatie compensatie niet mogelijk is of zeer moeilijk te realiseren, wordt een score van sterk negatief (- -) toegekend.

Tabel 4. Scoretabel beschermde soorten.

score	Beoordeling ten opzichte van de referentiesituatie	toelichting
- -	Sterk negatief effect kan optreden	Verstoring of vernietiging van (essentieel) habitat voor een groot aantal beschermde soorten, waarbij mitigatie / compensatie moeilijk is
-	Negatief effect kan optreden	Verstoring of vernietiging habitat van een beperkt aantal beschermde soorten, waarvoor mitigatie / compensatie mogelijk is.
0	Neutraal effect / geen significant effect	per saldo geen invloed op het habitat of verstoring van beschermde soorten
+	Positief / gunstig effect kan optreden	Positief effect op het areaal habitat van beschermde soorten (0-1 ha).

++	Sterk positief / gunstig effect kan optreden	Positief effect op het areaal habitat van beschermde soorten (>10 ha.) .
----	--	--

1.1.5 Biodiversiteit (Rode lijst-soorten en algemeen)

Gezien het ontbreken van voldoende informatie over het voorkomen van Rode lijst-soorten en andere indicatoren van biodiversiteit wordt de effectbeoordeling kwalitatief beschreven op basis van de scoreverdeling in tabel 5.

Tabel 5. Scoretabel biodiversiteit.

score	Beoordeling ten opzichte van de referentiesituatie
--	Sterk negatief effect kan optreden
-	Negatief effect kan optreden
0	Neutraal effect / geen significant effect
+	Positief / gunstig effect kan optreden
++	Sterk positief / gunstig effect kan optreden

1.2 Mogelijke oplossingsrichtingen

In deze effectbeoordeling worden een viertal mogelijke oplossingsrichtingen onderzocht. Deze worden weergegeven in Tabel 6. Het betreffen twee oplossingsrichtingen waarbij de dijk binnenwaarts en buitenwaarts wordt versterkt en twee oplossingsrichtingen waarbij de dijk binnen het huidige profiel blijft. In de bij het project behorende Storymap worden de oplossingsrichtingen nader toegelicht.

Tabel 6. De onderzochte oplossingsrichtingen.

Concept	Bouwstenen waterveiligheid
A. Binnenwaarts	Verbreiden binnenberm Verflauwen binnentalud Dempen / verleggen teensloot Optie: verhogen berm
B. Buitenwaarts	Buitenwaartse asverschuiving
C. Kruinverlaging	Verlagen kruin Verbeteren bekleding binnentalud
D. Profielbehoud	Stabiliteitsconstructie Innovatieve grondoplossingen

1.3 Effecten op Natura 2000-gebieden

1.3.1 A. Binnenwaarts

De binnenwaartse oplossingsrichting valt geheel buiten Natura 2000-gebied, dat buitendijks ligt. Er is geen ruimtebeslag op habitattypen of leefgebieden. Ook liggen binnendijks geen gebieden die via externe werking bij verstoring effecten kunnen hebben op Natura 2000-waarden.

1.3.2 B. Buitenwaarts

De begrenzing van het Natura 2000-gebied Markermeer & IJmeer is de grens van het water van de Gouwzee, wat is aangewezen onder zowel Habitatrichtlijn als Vogelrichtlijn. Bij buitenwaartse versterking is er een ruimtebeslag op het Natura 2000-gebied van 2,0 ha.

Habitattypen

De Gouwzee is een ondiep gedeelte van het Markermeer & IJmeer, met een diepte van één tot anderhalve meter diep. Door het goede doorzicht en de ondiepte is het een belangrijk kerngebied voor waterplanten. In nagenoeg de hele Gouwzee komt het habitatype H3150 Kranswierwateren voor. Deze begroeiingen zijn tot dicht aan de kust aanwezig. Ruimtebeslag op de kranswiervegetaties betekent een afname van het areaal van dit habitatype van maximaal 2,0 ha. Het areaal bevindt zich door een toename in recente jaren ruim boven de instandhoudingsdoelstelling. Het ruimtebeslag door een buitenwaartse dijkversterking zal niet leiden tot het niet behalen van de doelstelling en zal daarom een beperkt negatief effect hebben.

Habitatsoorten

De ondiepere oeverzone kan leefgebied vormen van kleine modderkuiper. Indien onder water stortstenen gedeeltes aanwezig zijn of andere harde substraten op de bodem aanwezig zijn kan rivierdonderpad ook binnen het ruimtebeslag van de buitenwaartse oplossingsrichting aanwezig zijn. Door de dichte onderwatervegetaties vormt de Gouwzee echter geen kansrijk leefgebied voor rivierdonderpad. Voor beide soorten geldt een doelstelling voor behoud omvang en kwaliteit van het leefgebied. Buitenwaartse versterking kan leefgebied van deze soorten aantasten.

Meervleermuis kan de dijk als vliegrouete gebruiken en meervleermuis kan foerageren boven het water. Buitenwaartse dijkversterking kan leiden tot afname van foerageergebied, maar gezien de voorkeur voor foerageren langs beschutte oeverzones betekent dit geen afname van foerageergebied, daar de oeverzone verschuift en niet afneemt.

Broedvogels

Een buitenwaartse oplossingsrichting heeft geen ruimtebeslag op broedgebieden van broedvogels met instandhoudingsdoelen. Visdief of aalscholver kunnen hier wel foeragerend aanwezig zijn. De oeverzone van de Gouwzee is niet van bovengemiddeld belang voor beide soorten. De broedkolonies liggen op redelijk grote afstand. Zowel aalscholver als visdief foerageren verspreid over het hele Markermeergebied. Een buitenwaartse versterking zal niet leiden tot gevolgen voor instandhoudingsdoelen voor beide broedvogelsoorten.

Niet-broedvogels

De Gouwzee is belangrijk voor een aantal soorten niet-broedvogels, die er in hoge aantallen voor kunnen komen. Ruimtebeslag op de oeverzone resulteert in een afname van rust- en foerageergebied. De zuidkust van de Gouwzee biedt een luwe plek voor de vogels. Gezien de overheersende windrichting en de ligging tussen het vasteland en Marken is de strijklengte (lengte waarover golven zich kunnen ontwikkelen) beperkt. Buitenwaartse dijkversterking heeft tot gevolg dat deze luwe oeverzone verschuift en niet in omvang afneemt.

Voor de meeste soorten niet-broedvogels zijn de huidige aantallen in het Markermeer & IJmeer hoger dan de instandhoudingsdoelstelling. De soorten waar op dit moment de aantallen lager zijn dan de instandhoudingsdoelstelling zijn de aalscholver, smient, kuifeend, brilduiker en het nonnetje.

Van deze soorten vormt de Gouwzee foerageergebied voor aalscholver, brilduiker en nonnetje. Smient foerageert op graslanden buiten Natura 2000-gebied, kuifeend vooral op mosselen buiten de Gouwzee. Smient, kuifeend, brilduiker en nonnetje gebruiken de Gouwzee als rustgebied.

Voor krooneend is de Gouwzee een belangrijk foerageergebied vanwege de aanwezigheid van kranswiervegetaties. Er is geen doelaantal geformuleerd voor krooneend. Doelstelling voor leefgebied is behoud omvang en kwaliteit van foerageergebied. Dit zijn de luwe zones met kranswieren. Gezien de uitbreiding ten opzichte van het moment van aanwijzing, waar de doelstelling op gebaseerd is, zijn significante effecten op het leefgebied door een buitenwaartse dijkversterking uit te sluiten.

Een buitenwaartse oplossingsrichting kan leiden tot een beperkte afname van rust- en foerageergebied van maximaal 2,0 ha. van de genoemde niet-broedvogelsoorten, wat gevolgen kan hebben voor het behalen van de instandhoudingsdoelstellingen. Ondanks dat de afname beperkt is kunnen effecten significant zijn gezien de huidige aantallen die onder de doelstelling liggen. Dit is het geval wanneer beschikbare ruimte een knelpunt is voor de soorten.

1.3.3 C. Kruinverlaging

De oplossingsrichting kruinverlaging valt geheel buiten Natura 2000-gebied, dat buitendijks ligt. Er is geen ruimtebeslag op habitattypen of leefgebieden. Door het verlagen van de kruin van de dijk met ca. 1 meter wordt het verkeer op de Zeedijk meer zichtbaar voor rustende en foeragerende vogels op de Gouwzee. Aangezien de dijk op een minimum hoogte van ca. 2 meter (verschil kruin-berm) blijft, geldt dit met name voor vrachtverkeer en busjes. Dit kan leiden tot een beperkte toename van verstoring van niet-broedvogels op de Gouwzee. Gezien het minimale verschil in zichtbaarheid, het voorspelbare karakter en de afscherming door de dijk voor verkeersgeluid zal deze extra verstoring beperkt blijven en mogelijk verwaarloosbaar zijn, waardoor significante effecten worden uitgesloten.

1.3.4 D. Profielbehoud

De oplossingsrichting profielbehoud valt geheel buiten Natura 2000-gebied, dat buitendijks ligt. Er is geen ruimtebeslag op habitattypen of leefgebieden en er zijn geen aanpassingen die kunnen leiden tot toename van verstoring in het Natura 2000-gebied.

Tabel 7. Effectscores Natura 2000.

Natura 2000	Oplossingsrichting			
	A	B	C	D
Habitattypen	0	-	0	0
Habitatsoorten	0	-	0	0
Broedvogels	0	0	0	0
Niet-broedvogels	0	-	-	0

Effecten aanlegfase

De tijdelijke verstoringen die de aanlegwerkzaamheden met zich meebrengen zijn in deze fase niet uit te werken per oplossingsrichting. Algemeen geldt dat de aanlegwerkzaamheden geluidsverstoring en visuele verstoring opleveren. Afhankelijk van de periode en wijze van uitvoering kan dit tot verstoring leiden van op het water aanwezige niet-broedvogelsoorten.

1.4 Effecten op Natuurnetwerk Nederland

1.4.1 A. Binnenwaarts

Binnenwaartse dijkversterking heeft op verschillende plekken ruimtebeslag op NNN-gebied Waterland Oost (L31). Dit betreft in totaal 2,1 ha. Delen hiervan hebben de beheertypen N13.01 Vochtig weidevogelgrasland (1,1 ha) en N06.01 Veenmosrietland en moerasheide (0,25 ha). Ruimtebeslag op deze beheertypen leidt tot vermindering van het areaal en tot afname van leefgebied van kwalificerende soorten, waaronder diverse weidevogelsoorten.

Ingrepen die leiden tot een aantasting van de wezenlijke kenmerken en waarden mogen enkel plaatsvinden als sprake is van een zwaarwegend maatschappelijk belang en indien er geen alternatieven zijn. Verlies van kwaliteit en/of oppervlakte dient te worden gecompenseerd.

1.4.2 B. Buitenwaarts

Buitenwaartse dijkversterking heeft op verschillende plekken ruimtebeslag op NNN-gebied Waterland Oost (L31). Dit betreft in totaal 2,0 ha. Dit betreft land met beheertype N05.03 Veenmoeras (2,0 ha). Dit bestaat uit oevers met rietranden en brede rietkragen en verdere verlanding met (wilgen)bos. Het water van de Gouwe valt onder NNN Grote Wateren. Ruimtebeslag op N05.03 leidt tot vermindering van het areaal en tot afname van leefgebied van kwalificerende soorten, waaronder moerasvogels en mogelijk noordse woelmuis en waterspitsmuis.

Ingrepen die leiden tot een aantasting van de wezenlijke kenmerken en waarden mogen enkel plaatsvinden als sprake is van een zwaarwegend maatschappelijk belang en indien er geen alternatieven zijn. Verlies van kwaliteit en/of oppervlakte dient te worden gecompenseerd.

1.4.3 C. Kruinverlaging

Deze oplossingsrichting heeft geen ruimtebeslag op NNN-gebied.

1.4.4 D. Profielbehoud

Deze oplossingsrichting heeft geen ruimtebeslag op NNN-gebied.

Tabel 8. Effectscores Natuurnetwerk Nederland.

NNN	Oplossingsrichting			
	A	B	C	D
	-	-	0	0

Effecten aanlegfase

De tijdelijke versturende effecten die de aanlegwerkzaamheden met zich meebrengen zijn in deze fase niet uit te werken per oplossingsrichting. Algemeen geldt dat de aanlegwerkzaamheden geluidsverstoring en visuele verstoring opleveren. Afhankelijk van de periode en wijze van uitvoering kan dit tot verstoring leiden van kwalificerende soorten, broedende weidevogels en foeragerende of rustende niet-broedvogels uit Natura 2000-gebied Markermeer & IJmeer.

1.5 Effecten overige provinciaal beschermde gebieden

1.5.1 A. Binnenwaarts

Binnenwaartse versterking heeft overlap met 3,5 ha. ganzenfoerageergebied en 2,4 ha. Bijzonder Provinciaal Landschap (BPL) (Waterland). Dit ruimtebeslag op BPL leidt tot een geringe afname van leefgebied voor weidevogels, wat onderdeel is van de kernkwaliteiten. Het verbreden van de binnenberm zal weinig gevolgen hebben voor de foerageerfuncties van de graslanden voor ganzen. Ganzen houden enige afstand aan van versturende objecten, waaronder wegen en bebouwing. De weg op de Zeedijk blijft in deze variant op de huidige plaats, veranderingen vinden plaats binnen een zone waar ganzen niet foerageren. Sommige weidevogels kunnen juist ook in randzones broeden, waardoor ruimtebeslag hierop wel beperkt gevolgen kan hebben voor weidevogels.

De genoemde arealen zijn niet allemaal noodzakelijkerwijs ruimtebeslag door de oplossingsrichting. De begrenzing van het ganzenfoerageergebied loopt op de kaart tot dicht langs de N518. De daadwerkelijke ganzenfoerageergebieden zijn de graslanden, die wat verder van de weg liggen en deels hiervan gescheiden zijn door o.a. sloot en rietkragen. De huidige dijk met de N518 is grotendeels ook onderdeel van het BPL. Dit areaal is niet bepaald, waardoor het ruimtebeslag door de oplossingsrichtingen groter uitvalt dat dit in werkelijkheid is ten opzichte van de huidige situatie.

1.5.2 B. Buitenwaarts

Buitenwaartse versterking heeft overlap met 0,01 ha. ganzenfoerageergebied en 0,63 ha. Bijzonder Provinciaal Landschap. De buitendijkse gronden maken deel uit van de kernkwaliteiten van het BPL, en zijn (samen met de Zeedijk en binnendijkse restanten van dijkdoorbraken) Provinciaal Monument met eigen beschermingsregels in de omgevingsverordening². Ruimtelijke ontwikkelingen die niet passen binnen deze regels zijn een aantasting van de kernkwaliteit.

Het ganzenfoerageergebied wordt gevormd door de binnendijks gelegen graslanden, het areaal dat overlapt met de buitenwaartse versterking zal dan ook geen daadwerkelijk ruimtebeslag zijn op ganzenfoerageergebied.

1.5.3 C. Kruinverlaging

Oplossingsrichting Kruinverlaging heeft geen overlap met ganzenfoerageergebied en Bijzonder Provinciaal Landschap. Deze oplossingsrichting reikt niet tot buiten de huidige dijkcontouren.

1.5.4 D. Profielbehoud

Oplossingsrichting Profielbehoud heeft geen overlap met ganzenfoerageergebied en 0,02 ha. overlap met Bijzonder Provinciaal Landschap. Deze oplossingsrichting reikt niet tot buiten de huidige dijkcontouren. Deze minimale overlap betreft de contouren van de constructiezone, welke bij aantasting van natuurwaarden nauwkeuriger gedefinieerd kan worden opdat effecten voorkomen kunnen worden.

Tabel 9. Effectscores overige gebieden.

Overige gebieden	Oplossingsrichting			
	A	B	C	D
	-	-	0	0

1.6 Effecten op beschermde soorten

1.6.1 A. Binnenwaarts

Binnenwaartse versterking leidt tot ruimtebeslag op potentieel leefgebied van diverse beschermde soorten.

De sloten en natte (oever)zones langs de dijk vormen potentieel leefgebied voor ringslang. Binnenwaartse dijkversterking heeft hier ruimtebeslag op.

Rugstreeppad komt voor nabij de dijk. Het is mogelijk dat rugstreeppadden die in naastgelegen veenweidegebieden voortplanten het huidige dijktaalud als overwinteringslocatie gebruiken. Dit wordt gezien als vaste rust- of verblijfplaats.

De kleine marterachtigen wezel en hermelijn kunnen verblijfplaatsen en leefgebied hebben op het dijktaalud of aangrenzend gebied. Binnenwaartse dijkversterking kan dit aantasten indien aanwezig.

² Omgevingsverordening NH2020, Afdeling 4.6 Cultureel erfgoed.

Ook de muizen noordse woelmuis en waterspitsmuis kunnen potentieel direct rond de dijk voorkomen en hier verblijfplaatsen en ander leefgebied hebben. Binnenwaartse dijkversterking kan dit aantasten indien aanwezig.

Verder kunnen diverse grondbroedende vogelsoorten en water- en rietvogels verwacht worden binnen het ruimtebeslag van deze oplossingsrichting. Gedurende het broedseizoen zijn deze beschermd.

1.6.2 B. Buitenwaarts

Buitenwaartse versterking leidt tot ruimtebeslag op potentieel leefgebied van diverse beschermde soorten.

De natte rietlanden in de oeverzone van de Gouwzee en zonnige (dijk)taluds vormen potentieel leefgebied voor ringslang. Buitenwaartse dijkversterking heeft hier ruimtebeslag op.

De kleine marterachtigen wezel en hermelijn kunnen verblijfplaatsen en leefgebied hebben op het dijktaud of aangrenzend gebied. Buitenwaartse dijkversterking kan dit aantasten indien aanwezig.

Ook de muizen noordse woelmuis en waterspitsmuis kunnen potentieel direct rond de dijk voorkomen en hier verblijfplaatsen en ander leefgebied hebben. Buitenwaartse dijkversterking kan dit aantasten indien aanwezig.

Verder kunnen diverse grondbroedende vogelsoorten en water- en rietvogels verwacht worden binnen het ruimtebeslag van deze oplossingsrichting. Gedurende het broedseizoen zijn deze beschermd.

1.6.3 C. Kruinverlaging

Binnen het ruimtebeslag van deze oplossingsrichting zijn geen leefgebieden van beschermde soorten bekend.

Wel kunnen de kleine marterachtigen wezel en hermelijn verblijfplaatsen en leefgebied hebben op het dijktaud. Werkzaamheden aan het taud kunnen leefgebied of verblijfplaatsen aantasten indien aanwezig.

Ook kunnen diverse grondbroedende vogelsoorten verwacht worden binnen het ruimtebeslag van deze oplossingsrichting. Gedurende het broedseizoen zijn deze beschermd.

1.6.4 D. Profielbehoud

Binnen het ruimtebeslag van deze oplossingsrichting zijn geen leefgebieden van beschermde soorten bekend.

Wel kunnen de kleine marterachtigen wezel en hermelijn verblijfplaatsen en leefgebied hebben op het dijktaud. Werkzaamheden aan het taud kunnen leefgebied of verblijfplaatsen aantasten indien aanwezig.

Ook kunnen diverse grondbroedende vogelsoorten verwacht worden binnen het ruimtebeslag van deze oplossingsrichting. Gedurende het broedseizoen zijn deze beschermd.

Tabel 10. Effectscores beschermde soorten

Beschermd soorten	Oplossingsrichting			
	A	B	C	D
	-	-	-	-

Effecten aanlegfase

De tijdelijke versturende effecten die de aanlegwerkzaamheden met zich meebrengen zijn in deze fase niet uit te werken per oplossingsrichting. Algemeen geldt dat de aanlegwerkzaamheden geluidsverstoring en visuele verstoring opleveren. Afhankelijk van de periode en wijze van uitvoering kan dit tot verstoring leiden van onder andere huismus als broedvogel in gebouwen langs het dijktracé, en van op en rond de dijk foeragerende ransuil en kerkuil.

1.7 Effecten op biodiversiteit (Rode lijst-soorten en algemeen)

1.7.1 A. Binnenwaarts

Dijkversterking binnenwaarts heeft mogelijk ruimtebeslag tot gevolg op biotopen waar ook soorten van de Rode lijsten voor kunnen komen. Dit zijn met name de (teen)sloot en de oeverzones hiervan.

De beschikbare natuurdata (voornamelijk NDFF) geven geen volledig beeld van het voorkomen van Rode lijst-soorten op en rond het dijktaalud. In de omgeving aanwezige soorten zijn soorten van zowel natte gebieden als drogere, schrale gebieden als blauw walstro. Het huidige dijktaalud vormt ook in potentie biotoop voor verschillende Rode lijst-soorten, waaronder bruin blauwtje. In de nieuwe situatie kunnen berm en talud ook weer worden ingericht en beheerd om een geschikt biotoop te vormen. Vooralsnog worden de effecten op biodiversiteit bepaald aan de hand van natuurlijke biotopen die verloren gaan.

1.7.2 B. Buitenwaarts

Dijkversterking buitenwaarts heeft mogelijk ruimtebeslag tot gevolg op biotopen waar ook soorten van de Rode Lijsten voor kunnen komen. Dit zijn het dijktaalud en de moeraszones in de oeverlanden.

1.7.3 C. Kruinverlaging

Buiten de tijdelijke aantasting van de kruin (en mogelijk talud) heeft dit geen permanent ruimtebeslag tot gevolg op biotopen van Rode lijst-soorten.

1.7.4 D. Profielbehoud

Buiten de tijdelijke aantasting van de kruin (en mogelijk talud) heeft dit geen permanent ruimtebeslag tot gevolg op biotopen van Rode lijst-soorten.

Tabel 11. Effectscores biodiversiteit algemeen

Biodiversiteit	Oplossingsrichting			
	A	B	C	D
	-	-	0	0

1.8 Referenties

- Sweco Nederland B.V. (De Bilt).
- Haarsma, A-J. 2012. De Meervleermuis en Natura 2000 in Nederland. Heemstede.
- Janssen, I., and J.L. Spier. 2019. *Ringslang verkenning Markermeerdijken 2019*. RAVON & Bureau Waardenburg (Nijmegen/Culemborg).
- van den Berg, J., and D. de Vries. 2022. *Verkenkend natuuronderzoek boringen en sonderingen dijkversterking Monnickendam Zeedijk*. Sweco Nederland B.V. (De Bilt).
- Van den Tempel, C. 2018. *Vleermuisonderzoek Markermeerdijken*. Natuurlijke Zaken (Heerhugowaard).
- van der Winden, J., S. Dirksen, and M. Poot. 2018. *Visdieven in het IJsselmeergebied. Aantalsontwikkeling, kolonisatie eilanden en broedsucces*. Jan van der Winden Ecology (Utrecht).
- van Ek, R., R. van 't Veer, and R. Reitsema. 2021. *Ecologische visie Waterland Oost*. Witteveen+Bos Raadgevende ingenieurs B.V.

Bijlage C: Technische ontwerpnota kansrijke alternatieven

Technische ontwerpnota kansrijke alternatieven

Dijkversterking Monnickendam



Lijst met aanpassingen

Versie	Datum	Beschrijving van de wijziging	Herzien	Vrijgegeven door
C1.0	20-07-2023	Eerste versie		
D1.0	30-08-2023	Verwerken feedback HHNK		Bert Jan Bos
D2.0	22-12-2023	Toevoegen alternatief kruinverlaging met bermverbreding dijkvak 8		Bert Jan Bos

Sweco Nederland B.V.

Onderwerp

Projectnummer

Klant

Auteur

Gecontroleerd door

Datum

Versie

Documentnummer

Vrijgegeven door

Document referentie

Verkenningfase Monnickendam Zeedijk

51008416

Hoogheemraadschap Hollands

Noorderkwartier

Wouter Kampman en Marit Lambers

Maurits Kampen en Niels van Leeuwen

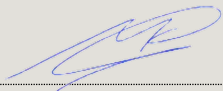
22-12-2023

D2.0

NL23-648800269-55599

Bert Jan Bos

NL23-648800269-55599




Inhoudsopgave

Samenvatting	4
1. Inleiding	7
2. Mogelijke kruinverlaging	8
2.1 Autonome kruindaling en onzekerheden	8
2.2 Toegestane kruinverlaging, waterveiligheid	9
2.3 Stabiliteitswinst door kruinverlaging	12
2.4 Overige onzekerheden	16
2.5 Kruinverlaging binnen ruimtelijk kwaliteitskader	17
2.6 Conclusie en reflectie	18
3. Binnenwaartse alternatief	20
3.1 Normale verbreding (referentie)	20
3.2 Tijdelijke overhoogte	21
3.3 Grondverbetering	22
3.4 Afgraven kruin en tijdelijke overhoogte	23
3.5 Invloed onzekerheden	25
3.6 Conclusie dimensionering bermbreedtes	26
3.7 Squeezing	27
3.8 Conclusie squeezing	31
4. Vervormingen	32
4.1 Samendrukkingsparameters	32
4.2 Verticale vervormingen	33
4.3 Horizontale vervormingen	34
4.4 Resultaten	34
4.5 Conclusie vervormingen	37
5. Buitenwaartse alternatief	40
5.1 Conclusie buitenwaartse dimensionering	40
6. Profielbehoud	41
7. Aanbevelingen	42
7.1 Spreiding sterkte toename	42
7.2 Onzekerheid stijghoogte en POP	42
7.3 Ophoogslagen	42
7.4 Vervormingen	42
Referenties	44

Samenvatting

Monnickendam Zeedijk (MZD), in beheer van Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier (HHNK), wordt versterkt. Uit de nadere veiligheidsanalyse van de dijkversterking MZD volgt dat dijkvak 5 t/m 9, gelegen in het landelijke gebied, niet voldoen op binnenwaartse macrostabiliteit (STBI) [1]. Om deze veiligheidsopgave op te lossen zijn drie kansrijke alternatieven opgesteld [2]:

- Binnenwaarts (al dan niet in combinatie met kruinverlaging)
- Buitenwaarts
- Profielbehoud

In dit rapport zijn aanvullende technische analyses opgenomen voor de drie alternatieven. Tevens is ten opzichte van de Technische Ontwerpnota Oplossingsrichtingen [6] in meer detail naar het alternatief Kruinverlaging gekeken en in hoeverre deze als zelfstandig alternatief kan dienen.

Kruinverlaging als zelfstandig alternatief

De mogelijkheid van kruinverlaging als zelfstandig alternatief hangt vanuit technisch oogpunt af van het toelaatbaar overslagdebiet, in relatie tot het faalmechanisme GEKB. De resthoogte van de huidige dijk in vergelijking tot het Hydraulisch Belastingniveau (HBN) hangt af van de mate waarin de verwachte autonome kruindaling mee wordt genomen. Daarom is gewerkt met een onder- en bovengrens van de verwachte kruindaling na afgraving. De stabiliteit na afgraven is beschouwd voor een ontwerp met aftoppen van de kruin en een ontwerp waarbij naar een minimaal profiel conform de Basisspecificatie Dijken van HHNK wordt vergraven.

Uit de analyse blijkt dat alleen aftoppen voor de drie dijkvakken onvoldoende stabiliteitswinst biedt, ongeacht de marge voor toekomstige kruindaling die hierin wordt meegenomen. Het terugbrengen tot het minimale profiel, waarbij men er in het ontwerp van uit gaat dat er geen kruindaling meer gaat optreden, levert voor dijkvak 5 en 7 voldoende stabiliteitswinst om als zelfstandig alternatief te fungeren tot het zichtjaar 2072. Als wel een marge voor toekomstige kruindaling wordt opgenomen voldoet dijkvak 5 niet meer. Voor dijkvak 8 voldoen beide situaties niet. Dijkvak 6 en 9 zijn niet berekend. Op basis van de huidige stabiliteitsfactoren gelden de conclusies van dijkvak 5 ook voor dijkvak 6 en gelden de conclusies van dijkvak 7 ook voor dijkvak 9. Voor dijkvak 8 is naast de kruinverlaging een bermverbreding nodig van 3 m om aan de stabiliteitseisen te voldoen.

Hoever de kruin kan worden afgegraven hangt naast waterveiligheid af van het ruimtelijk kwaliteitskader, die stelt dat het hoogteverschil tussen kruin en berm omstreeks 2 m moet zijn om als dijk herkenbaar in het landschap te zijn. Het alternatief Kruinverlaging voldoet hier niet aan.

Bandbreedte benodigde binnenwaartse bermverbreding

Voor de bandbreedte van de benodigde bermverbreding is naast de referentiesituatie (waarbij de binnenwaartse bermverbreding uitgevoerd is met materiaal van 17 kN/m³) gekeken naar een variant waarbij tijdelijke overhoogte op de bermverbreding aanwezig is (om de OCR en dus de sterkte te vergroten) en naar een variant waarbij een grondverbetering is uitgevoerd (om het gewicht van de stabiliserende grond te vergroten). Uit deze analyse is op te merken dat de verschillende toepassingen tot een aanzienlijke afname in de benodigde

bermverbreiding leiden. Hierbij kan voor de verschillende dijkvakken de afname in benodigde bermbreedte tussen de 4 en 10 meter liggen. Uit de berekeningen van de oplossingsrichtingen is eerder al gebleken dat een uitvoering van de bermverbreiding met dijksmateriaal van 14,1 kN/m³ tot een toename van 3 à 4 m in bermbreedte leidt [6]. Bij het toevoegen van grond op de slappe veenlagen in het achterland bestaat het gevaar dat de veenlagen weggeperst worden. Dit fenomeen wordt squeezing genoemd en heeft tot gevolg dat de stabiliteit van het dijklichaam in gevaar komt. Om dit te voorkomen zal de grondaanvulling in minimaal 2 slagen uitgevoerd moeten worden. De benodigde rustperiode tussen de ophoogslagen moet in een later stadium berekend worden. Door de aanwezigheid van de slappe ondergrond zal de rustperiode in de orde van meerdere maanden of zelfs jaren zijn. Ook zal er in een later stadium naar de stabiliteit van de berm tijdens uitvoering gekeken moeten worden.

Verwachte vervormingen belendingen

Het uitvoeren van een bermverbreiding leidt tot vervormingen in de grond. Het gaat hierbij zowel om verticale als horizontale vervormingen. De zettingsberekeningen zijn uitgevoerd voor zowel de referentie situatie als de toepassing met een tijdelijke overhoogte. Hieruit is gebleken dat voor de aanwezige K&L in de huidige binnenberm voor de referentie situatie al geldt dat de optredende verticale vervormingen van zo'n omvang zijn (groter dan 0,1 m bij dijkvak 6 en groter dan 0,2 m bij dijkvak 8) dat ze verlegd zullen moeten worden om schade te voorkomen. Voor de toepassing met tijdelijke overhoogte zijn de optredende verticale vervormingen voor beide dijkvakken ruim 2 keer zo groot. Voor de optredende vervormingen aan de N518 geldt dat de optredende vervormingen bij de referentie situatie waarschijnlijk acceptabel zijn (verticale vervorming tot 0,04 m bij beide dijkvakken). Voor de toepassing van tijdelijke overhoogte wordt echter verwacht dat de optredende verticale vervormingen een zekere mate van schade aan de weg zullen veroorzaken waardoor de weg onbegaanbaar wordt (richting 0,1 m verticale vervorming). Dit heeft grote gevolgen, aangezien de N518 een belangrijke doorgangsweg en route richting het eiland Marken is. In de gevallen/toepassingen waarbij de vervormingen kritiek zijn wordt aanbevolen om in een volgende fase gedetailleerdere berekening te maken met behulp van Plaxis 2D. Om bevestiging te krijgen in de optredende vervormingen zal tijdens de uitvoering gemonitord moeten worden.

Conclusie bermverbreiding

Geconcludeerd kan worden dat het toevoegen van tijdelijke overhoogte (tot een hoogte van 1 m) afvalt als variant vanwege de vervormingen van de N518. Een overzicht van de dimensionering van de overgebleven varianten, vergeleken met de referentiesituatie, is weergegeven in Tabel 1-1.

De stijghoogte en waarde van de sterkteparameters van de grond kunnen grote invloed hebben op de benodigde bermverbreiding. In de planuitwerkingsfase dient hier daarom verder onderzoek naar te worden gedaan.

Tabel 1-1: Resultaten dimensionering bermverbreding (t.o.v. huidige bermbreedte) varianten

Binnenwaarts

	Brede berm/ Referentie	Brede berm Toepassing Gebiedseigen grond	Korte berm Toepassing Grondverbe- tering	Korte berm Toepassing Kruinverlaging + overhoogte
	Materiaal 17 kN/m ³	Materiaal 14 kN/m ³	Materiaal 17 kN/m ³	Materiaal 17 kN/m ³
Dijkvak 5	25 m	n.v.t. ¹	-8 m	-13 m
Weiland (o.b.v. DV 8)	25 m	+ 4 m	-8 m	n.v.t.
Braak (o.b.v. DV 6)	15 m	+ 3 m	n.v.t. ¹	n.v.t. ¹

¹ De toepassing kan om verschillende redenen niet worden toegepast, zie H3

Buitenwaartse oplossing

Voor de buitenwaartse oplossing geldt dat er een buitenwaartse asverschuiving van 8 m nodig is om aan de stabiliteitseis te voldoen. Hierbij speelt de opgebouwde sterkte onder de huidige dijk en de hoogte van de toegevoegde grond aan de passieve zijde van het optredende glijvlak een belangrijke rol.

Profielbehoud

In voorliggend rapport is niet opnieuw gerekend aan de benodigde constructie voor Profielbehoud. Voor de dimensionering van de benodigde constructie is in de Technische Ontwerpnota Oplossingsrichtingen [6] een damwand uitgerekend van het type AZ20-700. De damwand is niet verankerd en is 12 m lang, met een onderzijde op NAP -11 m. Onder Profielbehoud kunnen ook meer innovatieve technieken vallen, zoals mixed in place kolommen bij de binnentoe van de dijk.

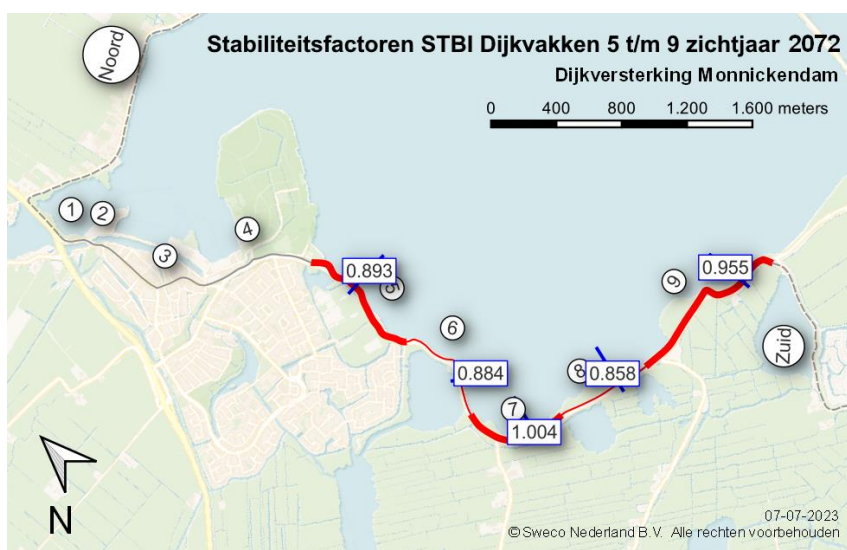
1. Inleiding

Monnickendam Zeedijk (MZD), in beheer van Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier (HHNK), wordt versterkt. Uit de nadere veiligheidsanalyse voor de versterking MZD volgt dat de dijkvakken in het landelijke gebied niet voldoen op binnenwaartse macrostabiliteit (STBI) [1], dit zijn dijkvakken 5 t/m 9. Om deze veiligheidsopgave op te lossen zijn drie kansrijke alternatieven opgesteld [2]:

- Binnenwaarts (al dan niet met kruinverlaging)
- Buitenwaarts
- Profielbehoud

In dit rapport zijn aanvullende technische analyses opgenomen voor de drie alternatieven, die van invloed zijn op het zeefproces. Eerst is ten opzichte van de Technische Ontwerpnota Oplossingsrichtingen [6] in meer detail naar het alternatief Kruinverlaging gekeken en in hoeverre deze als zelfstandig alternatief kan dienen. Er wordt vervolgens nader ingegaan op de bandbreedte voor de benodigde bermverbreeding. Tevens wordt een inschatting gemaakt van de verwachte vervormingen ten gevolge van bermverbreeding, ter plaatse van de provinciale weg N518 en de aanwezige kabels en leidingen in de huidige binnenberm. Tot slot wordt nader ingegaan op de benodigde dimensies bij een buitenwaartse asverschuiving. Voor Profielbehoud zijn ten opzichte van de Technische Ontwerpnota Oplossingsrichtingen geen nieuwe analyses uitgevoerd.

Voor de mogelijke kruinverlaging zijn dijkvakken 5,7 en 8 in detail beschouwd. Dijkvak 7 zit momenteel het dichtste bij de norm en heeft de kleinste ingreep nodig, dijkvak 8 zit het verst van de norm af. De benodigde bermverbreeding wordt nader beschouwd voor dijkvakken 5, 6 en 8. Dijkvak 5 wordt gekenmerkt door de aanwezige sportvelden in het achterland, wat een ruimtelijk knelpunt kan vormen met de bermverbreeding.



Figuur 1-1: Resultaten STBI voor dijkvakken 5 t/m 9 voor zichtjaar 2072 [1]

2. Mogelijke kruinverlaging

De dijk langs de Gouwzee ligt op slappe grond en is als voormalige Zuiderzeedijk fors hoger dan nu langs het Markermeer noodzakelijk is. De dijk is voornamelijk afgekeurd vanwege de zwakke ondergrond in verhouding met het grote dijklichaam. Kruinverlaging zou hierbij als een zelfstandig kansrijk alternatief kunnen fungeren. Ten opzichte van de Technische Ontwerpnota Oplossingsrichtingen wordt hier daarom nader op ingegaan.

In dit hoofdstuk in worden gegaan op de (on)mogelijkheden van kruinverlaging, aan de hand van vier aspecten:

- Verwachte autonome kruindaling en de onzekerheden hierin;
- Toegestane kruinverlaging, in relatie tot waterveiligheid (toelaatbaar overslagdebiet, i.r.t. faalmechanisme GEKB);
- Stabiliteitswinst bij toegestane kruinverlaging;
- Mogelijke kruinverlaging, in relatie tot kader ruimtelijke kwaliteit.

2.1 Autonome kruindaling en onzekerheden

Door autonome processen, zoals krimp bij uitdroging en oxidatie van organische bestanddelen in de ondergrond, treedt kruindaling op. Ook zakt de dijk onder zijn eigen gewicht verder de ondergrond in en zakt deze in de breedte uit. In de toekomst zorgt dit voor een relatieve verhoging van de buitenwaterstand ten opzichte van de kruinhoogte van kering.

Doordat autonome kruindaling een combinatie van verschillende processen is, laat dit zich lastig modelleren. Wel is het mogelijk een trendanalyse uit te voeren op basis van historische gegevens. Veel van de Markermeerdijken zijn namelijk na de watersnood in 1916 voor het laatst verhoogd en versterkt. Voor de Markermeerdijken is door Fugro een kruindaling predictie gemaakt in 2004 [8], waarbij gebruik is gemaakt van kruinhoogtemetingen vanaf jaar 1808. Door de Alliantie Markermeerdijken (AMMD) is de trendanalyse aangepast, op basis van een andere fit [9]. (In hetzelfde AMMD rapport is overigens getracht de fysische processen achter kruindaling bloot te leggen, wat niet goed mogelijk bleek op basis van de beschikbare metingen.) Beide predicties zijn weergegeven in Tabel 2-1, voor de volledigheid zijn dijkvakken 1 t/m 4 ook toegevoegd. In de technische ontwerpnota's van MZD is uitgegaan van de waarden van AMMD, omdat de waarden van Fugro naar verwachting de kruindaling overschatten.

Tabel 2-1: Predictie kruindaling, Fugro [8] en AMMD [9]

Dijk	Van – tot	Dijkvak	Kruindaling	
			Predictie 50 jaar (2054)	Predictie jaar 2071
			Fugro, 2004	AMMD, 2019
26	DP03 – DP05	1 en 2	0,15	0,00
27	DP01 – DP08	3	0,10	0,00
27	DP08 – DP13	4	0,55	0,15
27	DP14 – DP39	5, 6 en 7	0,60	0,20
27	DP40 – DP54	8 en 9	0,86	0,50

Hoe de autonome kruindaling verloopt na afgraving van de kruin is onzeker. Door afname van het eigen gewicht zal het wegzakken van de dijk in de ondergrond kunnen afnemen. De kruindaling predictie van AMMD wordt daarom als bovengrens gezien voor de verwachte autonome kruindaling ná afgraven van de kruin. Als ondergrens wordt er in de analyses in deze notitie van uit gegaan dat de kruin niet meer zakt, nadat deze is afgegraven. Overigens wordt dit niet als realistisch gezien en wordt altijd enige mate van daling verwacht, gezien de slappe ondergrond waar de dijk in gelegen is.

De predictie van AMMD is gemaakt voor 2071, circa 50 jaar vanaf nu. Kruindaling door het eigen gewicht van de dijk verloopt niet lineair en zal na verloop van tijd afnemen. Wat dit betekent voor verdere zichtjaren is wederom onzeker. Voor zichtjaar 2122 wordt als bovengrens van de autonome kruindaling het dubbele van de predictie van AMMD aangenomen. Als ondergrens na kruinafgraving wordt wederom geen verdere kruindaling aangehouden.

De onder- en bovengrens verwachting voor de kruindaling komende 50 en 100 jaar ná afgraven van de kruin, zoals dat in deze notitie gehanteerd wordt, is samengevat in Tabel 2-2.

Tabel 2-2: Onder- en bovengrens verwachte kruindaling, voor 50 en 100 jaar

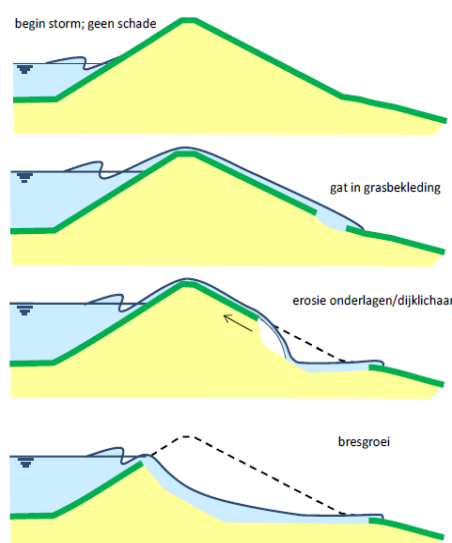
Van – tot	Dijkvak	Predictie kruindaling 50 jr		Predictie kruindaling 100 jr	
		Ondergrens	Bovengrens	Ondergrens	Bovengrens
DP14 – DP39	5, 6 en 7	0,0	0,20	0,0	0,40
DP40 – DP54	8 en 9	0,0	0,50	0,0	1,00

2.2 Toegestane kruinverlaging, waterveiligheid

2.2.1 Relevant faalmechanisme

De benodigde kruinhoogte vanuit waterveiligheid wordt bepaald door het faalmechanisme 'grasbekleding erosie kruin en binnentalud' (GEKB). Bij een te lage kruin treedt overslag op, waarbij de bekleding op de kruin en binnentalud gaan eroderen. Na het falen van de bekleding, zal het onderliggende materiaal verder eroderen. De erosiekuil zal zich verder verdiepen en uitbreiden richting de kruin, wat uiteindelijk kan leiden tot een profiel dat lager is dan de buitenwaterstand. Dit faalpad is afgebeeld in Figuur 2-1.

Waar voorheen werd ontworpen op een kleine mate van overslag (0,1 l/s/m tot 1 l/s/m), worden tegenwoordig grotere overslagdebieten toegestaan (10 l/s/m).



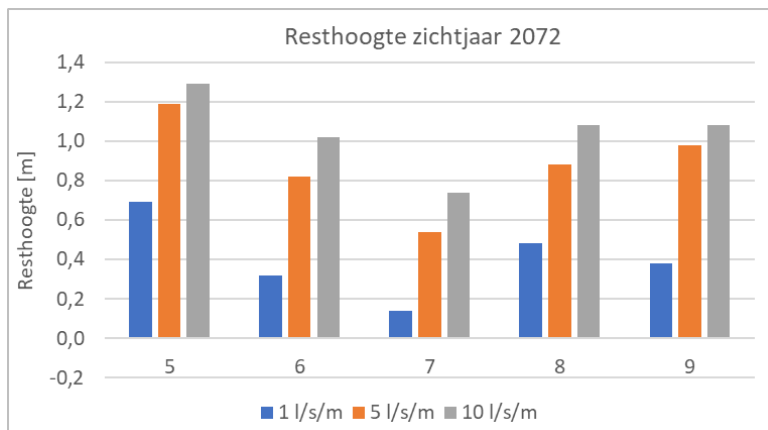
Figuur 2-1: Schetsmatige weergave faalpad GEKB [7]

Een overslagdebiet van 10 l/s/m kan een dijk weerstaan, zolang de kruin en binnentalud een goede erosiebestendige grasmatten en onderliggende kleilaag bevatten. Een groter overslagdebiet zal echter leiden tot verzadiging van het dijklichaam, wat op zijn beurt weer effect heeft op de binnenwaartse stabiliteit. Daarom wordt bijvoorbeeld binnen de Alliantie Markermeerdijken ontworpen op een toelaatbaar overslagdebiet van 5 l/s/m.

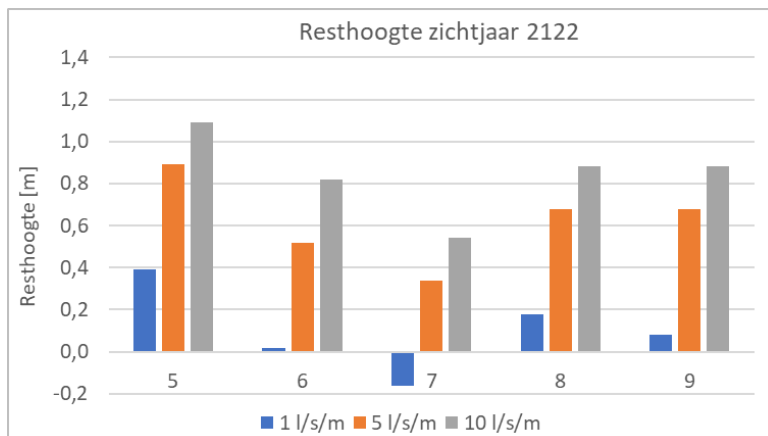
2.2.2 Benodigde kruinhoogte zonder kruindaling (ondergrens)

De benodigde kruinhoogte behorend bij een bepaald overslagdebiet tijdens normomstandigheden wordt het Hydraulisch Belastingniveau (HBN) genoemd. In de Technische Ontwerpnota Oplossingsrichtingen MZD [6] is voor verschillende overslagdebieten het HBN berekend voor zichtjaren 2072 en 2122, behorend bij een overslagdebiet van 10 l/s/m. Voor 2072 betreft de benodigde kruinhoogte NAP +2,0 m voor dijkvak 5 en NAP +2,1 m voor dijkvak 6 t/m 9. Voor 2122 liggen deze 20 cm hoger, veroorzaakt door enerzijds de toekomstige peilopzet in het Markermeer en anderzijds de hogere golven die door klimaatverandering verwacht worden [1].

Het HBN is vergeleken met de huidige kruinhoogte. Het verschil (de resthoogte) is voor zichtjaar 2072 en 2122 weergegeven in respectievelijk Figuur 2-2 en Figuur 2-3. Dit zijn de resthoogtes die aanwezig zijn wanneer geen verdere kruindaling meer wordt verwacht na afgraven van de kruin (de ondergrens benadering van de kruindaling uit Tabel 2-2).



Figuur 2-2: Resthoogte (huidige kruinhoogte minus HBN) 2072, zonder kruindaling



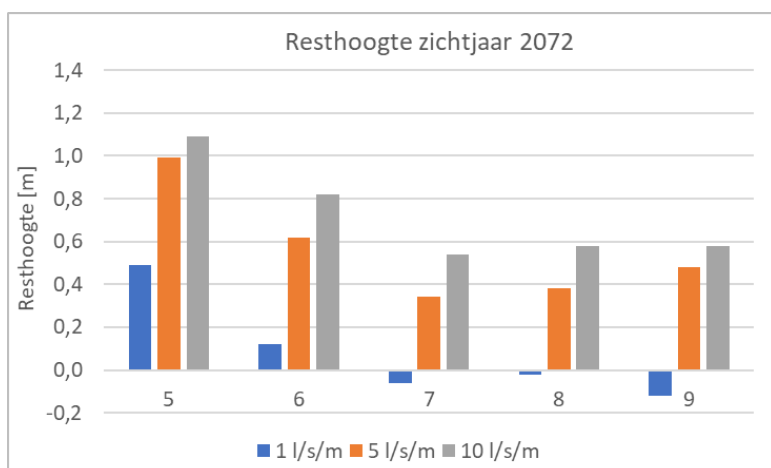
Figuur 2-3: Resthoogte (huidige kruinhoogte minus HBN) 2122, zonder kruindaling

Wanneer uitgegaan wordt van een toelaatbaar overslagdebiet van 10 l/s/m, kan voor alle dijkvakken minimaal 0,7 m van de kruin afgegraven worden voor zichtjaar 2072 (N.B dit is dus exclusief autonome kruindaling). De resthoogte is het grootst in dijkvak 5 en 8, oplopend tot meer dan 1 m resthoogte. De benodigde kruinhoogte is 20 cm hoger voor zichtjaar 2122, waarbij de resthoogtes evenveel afnemen.

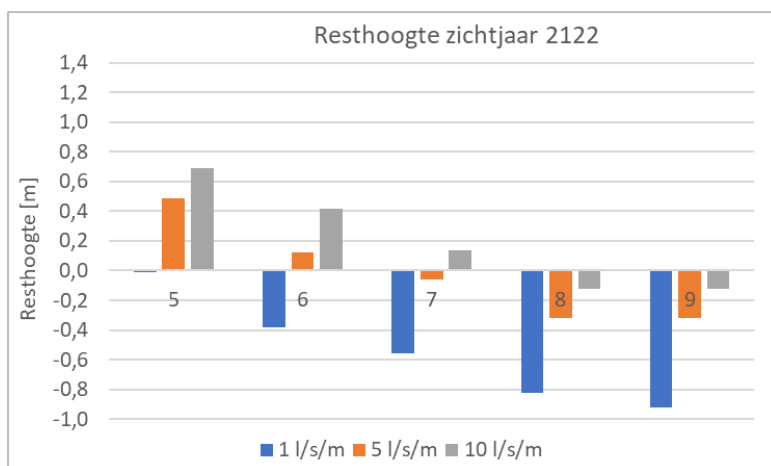
2.2.3 Benodigde kruinhoogte met kruindaling (bovengrens)

De resthoogtes in Figuur 2-2 en Figuur 2-3 houden nog geen rekening met toekomstige kruindaling. De afbeeldingen in Figuur 2-4 en Figuur 2-5 geven de resthoogte weer, wanneer uitgegaan wordt van de bovengrens van de verwachte kruindaling uit Tabel 2-2.

De grootste verschillen zijn terug te zien in Dijkvak 8 en 9, waar (op basis van Tabel 2-2) de meeste bodemdaling wordt meegenomen. Vooral bij een langere planperiode dan 50 jaar is er in deze dijkvakken geen resthoogte aanwezig om te kunnen afgraven. Ook in dijkvak 5 en 6 neemt de mogelijkheid tot kruinverlaging sterk af.



Figuur 2-4: Resthoogte (huidige kruinhoogte minus HBN) 2072, met bovengrens kruindaling



Figuur 2-5: Resthoogte (huidige kruinhoogte minus HBN) 2122, met bovengrens kruindaling

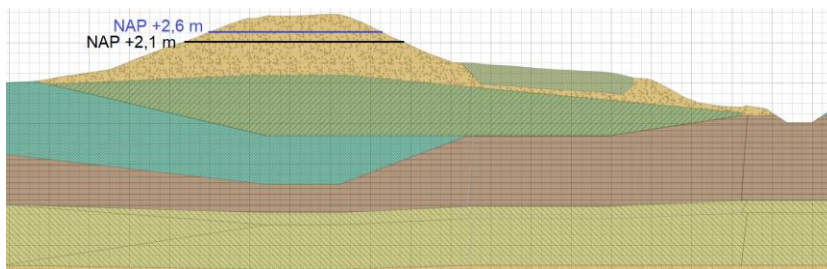
2.3 Stabiliteitswinst door kruinverlaging

2.3.1 Beschouwde situaties

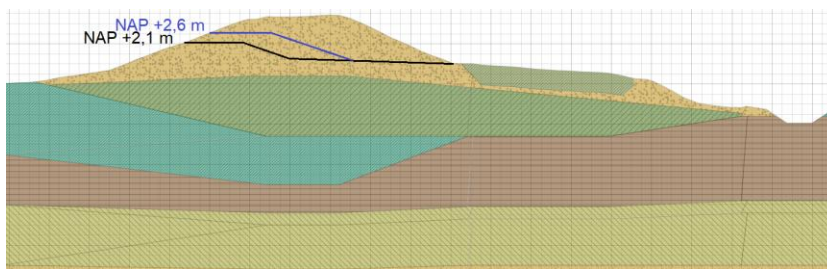
Voor dijkvak 5, 7 en 8 is gekeken wat het effect van kruinverlaging op de stabiliteit is. Hiervoor wordt een planperiode van 50 jaar aangehouden. Dijkvak 5 is interessant vanwege het mogelijke raakvlak met de aanwezige sportvelden bij een binnenwaarts alternatief, dijkvak 7 zit momenteel het dichtste bij de norm en heeft de kleinste ingreep nodig, dijkvak 8 zit het verst van de norm af.

Kruinverlaging als alternatief is als meerdere varianten denkbaar:

- Aftoppen van de kruin tot de benodigde hoogte, de rest van het profiel blijft gelijk, zie Figuur 2-6.
- Aftoppen van de kruin en het dijklichaam terugbrengen tot de minimale afmetingen van de Basisspecificatie Dijken van HHNK, bestaande uit (zie Figuur 2-7):
 - 3 m brede kruin
 - 1:3 binnentalud
 - 1:20 talud van de steunberm
- Een tussenliggende oplossing tussen bovenstaande twee extremen.



Figuur 2-6: Variant aftoppen dijklichaam, dijkvak 8. In zwart de ontwerp kruinhoogte gelijk aan HBN, in blauw de ontwerp kruinhoogte gelijk aan HBN+ bovengrens kruindaling 2072



Figuur 2-7: Variant minimale dijklichaam, dijkvak 8. In zwart de ontwerp kruinhoogte gelijk aan HBN, in blauw de ontwerp kruinhoogte gelijk aan HBN+ bovengrens kruindaling 2072

Het effect van aftoppen en het minimale profiel op de stabiliteit zijn beschouwd voor de volgende twee situaties:

- Ontwerp kruinhoogte is gelijk aan HBN, in de veronderstelling dat na afgraven geen autonome kruindaling meer optreedt. Zie de zwarte lijn in Figuur 2-6 en Figuur 2-7.
- Ontwerp kruinhoogte is gelijk aan HBN plus de bovengrens van de verwachte bodemdaling (uit Tabel 2-2), om toekomstige kruindaling op te kunnen vangen. Zie de blauwe lijn in Figuur 2-6 en Figuur 2-7.

De ontwerp kruinhoogtes die hier voor 2072 bij horen zijn opgenomen in Tabel 2-3.

Tabel 2-3: Beschouwde ontwerp kruinhoogtes per variant, in NAP +m

Variant	Dijkvak		
	5	7	8
Ontwerp kruinhoogte gelijk aan HBN	+2,0	+2,1	+2,1
Ontwerp kruinhoogte gelijk aan HBN + bovengrens autonome kruindaling 2072	+2,2	+2,3	+2,6

2.3.2 Uitgangspunten

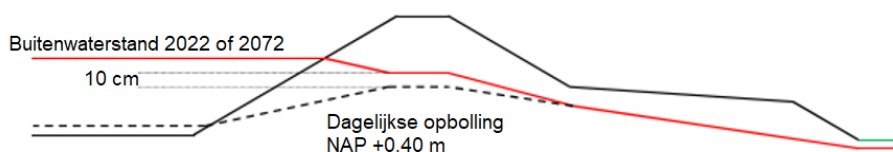
Voor de stabiliteitsberekeningen is gebruik gemaakt van de modellen die zijn opgesteld zijn de Nadere Analyse Veiligheid [1], uitgevoerd conform de Technische uitgangspunten NAV [4]. In deze paragraaf wordt de methode voor het schematiseren van toekomstige kruindaling in software D-Stability beschreven.

Kritisch glijvlak

Bij een groot overslagdebiet (>1 l/s/m) kan binnen enkele uren meerdere meters aan erosie van het binnentalud optreden. Het kritieke glijvlak is daarom conform de Schematiseringshandleiding Macrostabiliteit begrenst op een intredepunt in de kruin of de bovenste helft van het binnentalud [4].

Berekening zonder kruindaling

Voor de berekening zonder kruindaling wordt aangesloten bij de schematisering van de freatische lijn conform de TUN [4]. Alleen de buitenwaterstand is anders voor 2022 en 2072. De schematisering is opgenomen in Figuur 2-8, de gehanteerde waarden zijn opgenomen in Tabel 2-4.



Figuur 2-8: Schematisering freatische lijn, zonder kruindaling

Tabel 2-4: Hoogte freatische lijn, zonder kruindaling

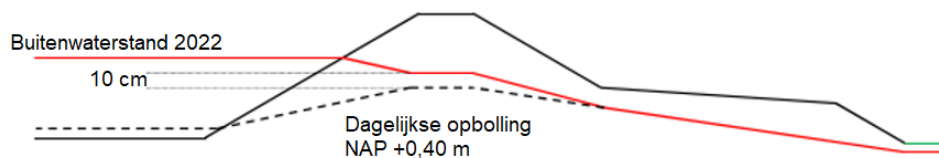
Zichtjaar	Buitenwaterstand	Freatische lijn t.p.v. kruin
2022	NAP +0,74 m	NAP +0,50 m
2072	NAP +0,8 m	NAP +0,50 m

Berekening met kruindaling

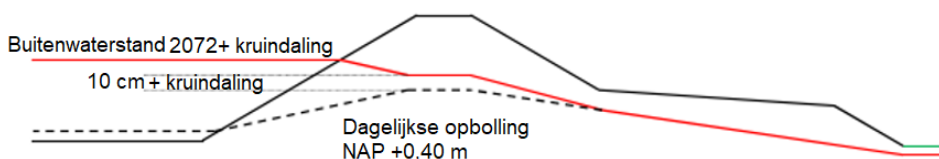
Het modelleren van toekomstige kruindaling kan in D-Stability op twee manieren worden geschematiseerd:

- Kruindaling wordt in relatieve zin gemodelleerd door de geometrie gelijk te houden en de verwachte kruindaling bij de maatgevende buitenwaterstand en freatische waterstand in de dijk op te tellen. De kerende hoogte van de dijk blijft hiermee gelijk, waarmee impliciet wordt gemodelleerd dat de dijk en het achterland evenveel dalen. Dit leidt mogelijk tot een onderschatting van de stabiliteit.
- Kruindaling wordt gemodelleerd door de geometrie van de dijk te verlagen met de verwachte kruindaling. De buitenwaterstand is gelijk aan de maatgevende waterstand, met bijhorend freatische waterstand in de dijk. Het achterland wordt op gelijk niveau gehouden, waardoor de kerende hoogte van de dijk afneemt. Tevens neemt door het verlagen van de geometrie de korrelspanning in de ondergrond af, terwijl de grensspanning (de belastinggeschiedenis) gelijk blijft. Dit leidt mogelijk tot een overschatting van de stabiliteit.

Om te voorkomen dat de stabiliteit wordt overschat, is gekozen voor de eerste methode: het verwerken van kruindaling in de buitenwaterstand. De schematisering voor 2022 is opgenomen in Figuur 2-9, de schematisering voor 2072 is opgenomen in Figuur 2-10. De gehanteerde waarden zijn opgenomen in Tabel 2-5.



Figuur 2-9: Schematisering freatische lijn 2022 (kruindaling nog niet van invloed)



Figuur 2-10: Schematisering freatische lijn 2072, met kruindaling

Tabel 2-5: Hoogte freatische lijn, met kruindaling

Zichtjaar	Buitenwaterstand	Freatische lijn t.p.v. kruin
2022	NAP +0,74 m	NAP +0,50 m
2072, dijkvak 5	NAP +0,8 m + 20 cm	NAP +0,50 m + 20 cm
2072, dijkvak 7	NAP +0,8 m + 20 cm	NAP +0,50 m + 20 cm
2072, dijkvak 8	NAP +0,8 m + 50 cm	NAP +0,50 m + 50 cm

2.3.3 Resultaten

De vereiste stabiliteitsfactor is afgeleid in de Technische ontwerpnota Oplossingsrichtingen en bedraagt 1,23 [6]. De resultaten uit de stabiliteitsberekeningen zijn weergegeven in Tabel 2-6 en Tabel 2-7 Hier is het volgende uit op te maken:

- Het verschil in stabiliteit scheelt weinig tussen 2022 en 2072. Dit is verklaarbaar, doordat de buitenwaterstand op het merendeel van het verloop van de freatisch waterstand in de dijk geen invloed effect [4].
- Alleen aftoppen biedt onvoldoende stabiliteitswinst om als zelfstandig alternatief te fungeren. Dit geldt zowel voor het aftoppen op een ontwerp kruinhoogte gelijk aan HBN als het aftoppen op een ontwerp kruinhoogte gelijk aan HBN plus autonome kruindaling.
- Het verlagen van de kruin en de dijk terugbrengen tot het minimale profiel, kan als zelfstandig alternatief fungeren voor dijkvak 5 en 7. Voor dijkvak 5 kan dit alleen als de marge voor toekomstige bodemdaling niet wordt meegenomen in de ontwerp kruinhoogte. Als dit wel wordt gedaan voldoet het ontwerp niet op stabiliteit.
- Voor dijkvak 8 leiden beide varianten, met of zonder marge voor toekomstige kruindaling in het ontwerp, niet tot voldoende stabiliteit.

Kijkend naar de huidige stabiliteitsfactoren (zie Figuur 1-1) geldt naar verwachting de redenering voor dijkvak 5 ook voor dijkvak 6. Dijkvak 9 zit na dijkvak 7 het dichtste bij de norm. Mogelijk gelden de conclusies van dijkvak 7 daarom ook voor dijkvak 9. Wel is hier op basis van de bestaande trendanalyse de kans op autonome kruindaling even groot als in dijkvak 8, wat er voor kan zorgen dat de levensduur van 50 jaar in dit dijkvak niet wordt gehaald.

Tabel 2-6: Berekende stabiliteitsfactoren per variant (zichtjaar 2022)

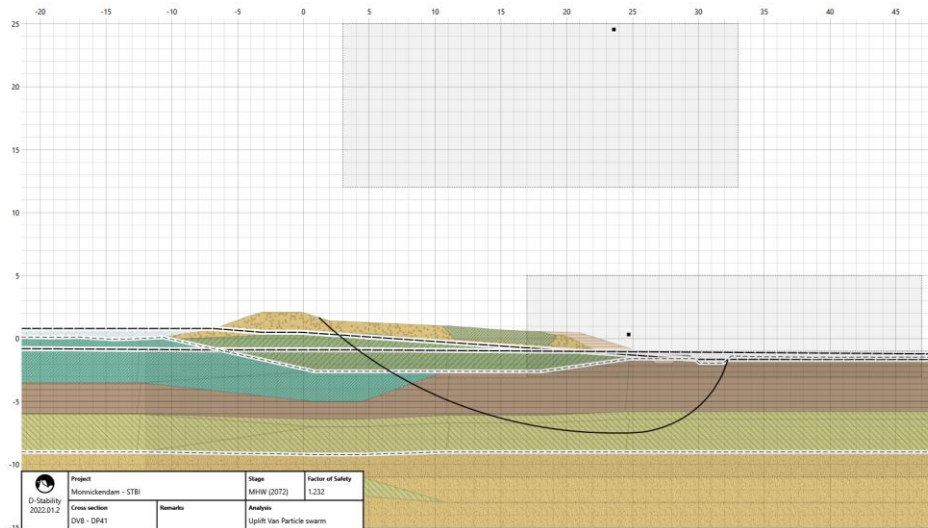
Variant	Dijkvak		
	5	7	8
Aftoppen – geen kruindaling	0,97	1,10	0,92
Aftoppen – bovengrens kruindaling	0,97	1,08	0,90
Minimaal profiel – geen kruindaling	1,30	1,41	1,18
Minimaal profiel – bovengrens kruindaling	1,22	1,31	1,08

Tabel 2-7: Berekende stabiliteitsfactoren per variant (zichtjaar 2072)

Variant	Dijkvak		
	5	7	8
Aftoppen – geen kruindaling	0,97	1,1	0,92
Aftoppen – bovengrens kruindaling	0,96	1,07	0,88
Minimaal profiel – geen kruindaling	1,30	1,41	1,18
Minimaal profiel – bovengrens kruindaling	1,21	1,31	1,04

Om voor dijkvak 8 tot voldoende stabiliteit te komen is naast terugbrengen tot het minimale profiel, waarbij men er in het ontwerp van uit gaat dat er geen

kruindaling meer gaat optreden, een bermverbreding van 3 m nodig. Het glijvlak is hiervoor begrensd zodat deze intreedt in de bovenste helft van het binnentalud.



Figuur 2-11: Benodigde kruinverlaging (minimaal profiel) en bermverbreding Dijkvak 8

2.4 Overige onzekerheden

Naast de onzekerheid in autonome kruindaling na kruinverlaging, zijn er andere punten die van belang zijn:

- Voor zichtjaar 2072 is de verwachte peilopzet tussen 2050 en 2080 in het IJssel- en Markermeer meegenomen in de berekeningen. Deze peilopzet is bedoeld om te anticiperen op klimaatverandering [6]. Gedurende de planperiode van 50 jaar kan besloten worden het meerpeil verder te verhogen, bijvoorbeeld om het hoofd te kunnen bieden aan langdurige droogte. Dit heeft effect op de benodigde kruinhoogte en daarmee ook op de levensduur van het alternatief. Tevens wordt momenteel gewerkt met een database van hydraulische randvoorwaarden die in 2024 wordt geüpdatet. De nieuwe inzichten die in deze database verwerkt zitten leiden tot grotere golfhoogtes onder maatgevende omstandigheden. Dit zal leiden tot een hogere HBN en dus benodigde kruinhoogte. Mogelijk voldoen hiermee dijkvak 5 en 7 ook niet meer op stabiliteit in het minimale profiel.
- Binnen de versterking AMMD is met proefterpen onderzocht of de grensspanning in de ondergrond zich opbouwt volgens de theorie (en hoe dit in het rekenmodel zit verwerkt), waarbij met behulp van boringen en sterkteproeven de sterkte toename in de ondergrond in kaart is gebracht. Uit de proefterpen is gebleken dat niet in alle gevallen de theorie zich in de praktijk liet vertalen en dat de sterkte soms achterblijft op wat verwacht mocht worden. In geval van kruinverlaging kan dit betekenen dat de sterkte onder de dijk (waar het glijvlak doorheen gaat) lager is dan verwacht en/of dat deze sterkte na kruinafgraving niet behouden blijft en afneemt in verloop van tijd. Dit heeft effect op de levensduur van het alternatief.
- In de NAV is aangetoond dat de stijghoogte invloed heeft op de stabiliteit. Voor een aantal dwarsdoorsneden is beschouwd wat het

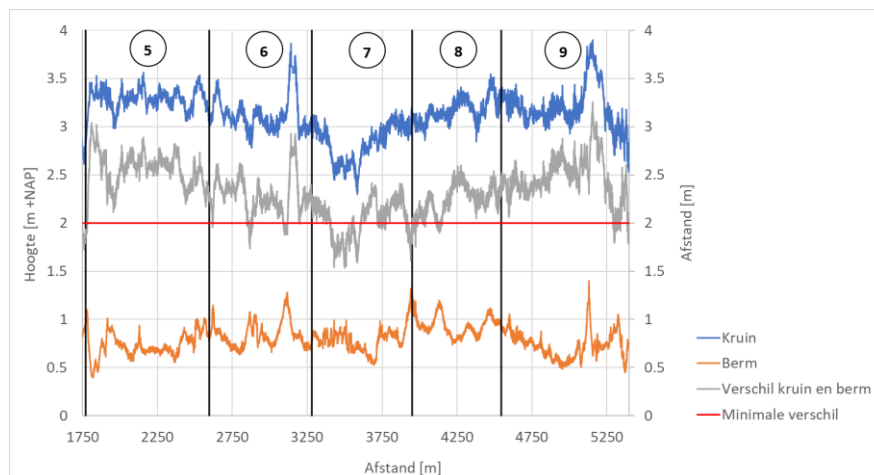
effect is van 0,5 m lagere stijghoogte onder maatgevende omstandigheden. Het effect op de stabiliteitsfactor is ongeveer 0,05. Hiermee zou dijkvak 8 bij het minimale profiel zonder marge voor kruindaling nét voldoen aan de vereiste stabiliteitsfactor van 1,23. Aangezien het onwaarschijnlijk is dat er helemaal geen kruindaling meer optreedt na afgraven van de kruin, gaat een dergelijk ontwerp niet de levensduur van 50 jaar halen. Of anders gezegd: bij enige marge voor kruindaling voldoet dijkvak 8 ook onder lagere stijghoogte niet.

2.5 Kruinverlaging binnen ruimtelijk kwaliteitskader

In de Ontwerpvisie Versterking Markermeerdijken is opgenomen dat het hoogteverschil tussen berm en kruin minimaal 2 m moet blijven om het karakteristieke profiel met smalle kruin van de dijk te behouden [3]. Om de mogelijkheid voor het afgraven van de kruin in relatie tot dit ruimtelijk kader te beschouwen, is het huidige hoogteverschil tussen kruin en berm geanalyseerd. Het resultaat van deze analyse is te zien in Figuur 2-12. In blauw is de huidige kruinhoogte aangegeven, in oranje de huidige bermhoogte ter plaatse van het knikpunt met het binnentalud van de dijk.

Wanneer beide hoogtes van elkaar af worden getrokken ontstaat de grijze lijn. Met de rode lijn is de minimale verschilgrens van 2 m weergegeven. Het verschil tussen de grijze en rode lijn is dus de resthoogte die aanwezig is ten opzichte van de 2 m eis. Te zien is dat in dijkvak 5 dit gemiddeld zo'n 0,5 m is en ook in dijkvak 9 is een resthoogte aanwezig. Dijkvak 6 t/m 8 schommelen momenteel al rond de 2 m eis. Voor deze dijkvakken is het binnen het ruimtelijk kader niet mogelijk om de kruin af te graven.

De provincie heeft echter aangegeven dat de 2 m niet als strikte eis, maar als richtlijn moet worden gezien. Het is bespreekbaar dat het verschil in hoogte tussen berm en kruin kleiner wordt, mits het karakteristieke profiel met smalle ranke kruin van de dijk behouden blijft. Daarvoor is nauwe afstemming met de provincie nodig.



Figuur 2-12: Huidige kruin- en bermhoogte en verschil tussen kruin en berm in relatie tot het ruimtelijk kader van 2 m verschil

2.6 Conclusie en reflectie

2.6.1 Toegestane kruinverlaging en autonome kruindaling

In deze notitie is nader ingegaan op de (on)mogelijkheden van kruinverlaging als zelfstandig alternatief voor binnenwaartse stabiliteit van MZD. De kruinhoogte is als voormalige zeedijk op dit moment fors hoger dan wat vanuit waterveiligheid noodzakelijk is. De kruin kan 0,5 m tot ruim 1 m verlaagd worden om gedurende de komende 50 jaar alsnog een toelaatbaar overslagdebiet van 10 l/s/m te houden gedurende normsituaties (gerelateerd aan het faalmechanisme GEKB). Dijkvak 5 heeft momenteel de meeste resthoogte, dijkvak 7 het minst. Wanneer gekozen wordt voor kruinverlaging vergt dit maatregelen aan de bekleding van kruin en binnentalud om de dijk erosiebestendig te maken. Voor een erosiebestendige kleilaag (plus leeflaag) dient nog ruim 1 m dieper ontgraven te worden om deze te kunnen aanleggen.

De verwachte autonome kruindaling is van invloed op de beschikbare resthoogte. Hoe de autonome kruindaling zich na kruinafgraving ontwikkelt is onzeker, doordat hier verschillende processen aan ten grondslag liggen en de trendanalyse van de huidige kruindaling na afgraving niet meer geldig is. Voor dijkvak 5 en 6 is het meeste resthoogte aanwezig en wordt de minste kruindaling verwacht. Kruinafgraving is hier het minst risicovol. Dijkvak 7 heeft momenteel de kleinste resthoogte. Voor dijkvakken 8 en 9 wordt een hogere kruindaling verwacht. Met name voor zichtjaren langer dan 50 jaar leidt dit voor deze dijkvakken tot onzekerheid over de beschikbare resthoogte en of het overslagdebiet gedurende langere tijd acceptabel blijft. De kans bestaat hier dat bij een kruinafgraving van meer dan 0,5 m de planperiode van 50 jaar niet eens gehaald wordt.

2.6.2 Stabiliteitswinst bij kruinverlaging

Met de aanwezige resthoogte zou de kruin kunnen worden verlaagd. Dit is nader beschouwd voor dijkvak 5, 7 en 8. Hier zijn verschillende varianten voor: de kruin kan worden afgetopt of de dijk kan tot zijn minimale profiel worden teruggebracht (of varianten tussen deze twee extremen in). Beide varianten zijn beschouwd. Wat de ontwerp kruinhoogte moet zijn is afhankelijk van de autonome kruindaling die na afgraving nog wordt verwacht. Deze ligt voor de komende 50 jaar tussen 0-20 cm voor dijkvak 5 t/m 7 en tussen 0-50 cm voor dijkvak 8 en 9. Indien men in het ontwerp aanneemt dat de kruin na afgraving niet meer gaat dalen, kan een lager dijkprofiel worden aangelegd en is dus meer stabiliteit te behalen.

Alleen het aftoppen biedt voor de drie dijkvakken onvoldoende stabiliteitswinst, ongeacht de marge voor toekomstige kruindaling die hierin wordt meegenomen. Het terugbrengen tot het minimale profiel, waarbij men er in het ontwerp van uit gaat dat er geen kruindaling meer gaat optreden, levert voor dijkvak 5 en 7 voldoende stabiliteitswinst om als zelfstandig alternatief te fungeren tot het zichtjaar 2072. Voor dijkvak 8 volstaat dit niet voor zowel de huidige als toekomstige situatie.

Indien in dijkvak 5 een hogere ontwerp kruinhoogte wordt opgenomen om toekomstige kruinhoogte op te vangen, heeft de dijk niet meer voldoende stabiliteit. Dit betekent dat wanneer in dijkvak 5 een kruinhoogte wordt aangelegd die geen autonome kruindaling kan opvangen, de planperiode van 50 jaar mogelijk niet gehaald wordt indien de autonome kruindaling zich toch

doorzet. Kijkend naar de huidige stabiliteitsfactoren (zie Figuur 1-1) gaat deze redenering naar verwachting ook op voor dijkvak 6. In dijkvak 7 kan wel een kruinhoogte gekozen worden die enige mate van kruindaling kan opvangen. Mogelijk geldt dit ook voor dijkvak 9, die na dijkvak 7 het dichtste bij de norm zit. Wel is hier op basis van de bestaande trendanalyse de kans op autonome kruindaling even groot als in dijkvak 8, wat er voor kan zorgen dat de levensduur van 50 jaar in dit dijkvak niet wordt gehaald.

Een samenvatting van de analyses is opgenomen in Tabel 2-8.

Tabel 2-8: Samenvatting resultaten

Dijkvak	Huidige kruinhoogte	Resthoogte 2072 (i.r.t HBN, o.b.v. kruindaling)	Minimaal ontwerpprofiel excl kruindaling in kruinhoogte Stabiliteit 2072	Minimaal ontwerpprofiel incl kruindaling in kruinhoogte Stabiliteit 2072
5	NAP +3,3 m	1,1 – 1,3 m	Voldoende	Onvoldoende
6	NAP +3,1 m	0,8 – 1,0 m	Voldoende (verwachting o.b.v. DV 5)	Onvoldoende (verwachting o.b.v. DV 5)
7	NAP +2,8 m	0,5 – 0,7 m	Voldoende	Voldoende
8	NAP +3,2 m	0,6 – 1,1 m	Onvoldoende	Onvoldoende
9	NAP +3,2 m	0,6 – 1,1 m	Voldoende (verwachting o.b.v. DV 7)	Voldoende (verwachting o.b.v. DV 7)

Om voor dijkvak 8 tot voldoende stabiliteit te komen is naast terugbrengen tot het minimale profiel, waarbij men er in het ontwerp van uit gaat dat er geen kruindaling meer gaat optreden, een bermverbreding van 3 meter nodig.

2.6.3 Ruimtelijk kwaliteitskader

Overigens wordt met kruinafgraving al snel niet meer voldaan aan het ruimtelijk kwaliteitskader voor de Markermeerdijken, waarbij het hoogteverschil tussen kruin en berm 2 m bedraagt. In dijkvak 5 en 9 kan binnen dit kader slechts tot 0,5 m worden afgegraven. De overhoogte in dijkvak 6 t/m 8 is beperkt of zit zelfs al onder de richtlijn van 2 m verschil uit het ruimtelijke kwaliteitskader. Wanneer dit kader gevolgd wordt kan kruinafgraving in dijkvak 5 en 9 als aanvullende bouwsteen dienen bij bijvoorbeeld een binnenwaartse oplossing, om de benodigde bermverbreding te verkleinen. Dit zal verder uitgewerkt worden voor dijkvak 5 in het volgende hoofdstuk. Bij 0,5 m afgraving in dijkvak 9 kan onzekerheid in kruindaling er toe leiden dat na 50 jaar de kruin weer moet worden opgehoogd.

3. Binnenwaartse alternatief

Om een beter beeld te krijgen van de bandbreedte in benodigde bermverbreding, zijn aanvullende analyses uitgevoerd ten opzichte van de Technische Ontwerpnota Oplossingsrichtingen [6]. Voor de dimensionering van de dijkverbreding zijn drie toepassingen vergeleken met een referentiesituatie met een normale bermverbreding.

De eerste toepassing bevat het gebruik van een tijdelijke overhoogte van de berm, wat als voorbelasting gebruikt wordt om de grensspanning en dus schuifsterkte onder de berm te verhogen. De overhoogte heeft een hoogte van 1 m. De tweede toepassing is een grondverbetering. Deze grondverbetering zal tot 1,5 m in de grond plaatsvinden, waarbij de veenlaag wordt vervangen door klei. In dit hoofdstuk wordt als derde toepassing gekeken naar de mogelijkheid om kruinverlaging te combineren met een binnenwaarts alternatief, waarbij zowel aan de eis vanuit het kader ruimtelijke kwaliteit als aan de waterveiligheidseis wordt voldaan. Omdat voor dijkvak 5 de meeste ruimte voor een kruinverlaging wordt gezien, wordt deze toepassing voor dijkvak 5 beschouwd.

De bermontwerpen dienen te voldoen aan een veiligheidsfactor voor de Uplift Van berekening van 1,23 voor zichtjaar 2072. Hierbij is een schematiseringsfactor van 1,1 meegenomen. In alle situaties is gebruik gemaakt van het verbreden van de berm met materiaal met een volumiek gezicht van 17 kN/m³.

Verder zijn er een aantal ontwerpuitgangspunten van de berm (en teensloot) die gehanteerd worden in het ontwerp. Deze uitgangspunten zijn afkomstig uit Ontwerpvisie Versterking Markermeerdijken [3] en/of de Basisspecificatie Dijken [5] en zijn als volgt:

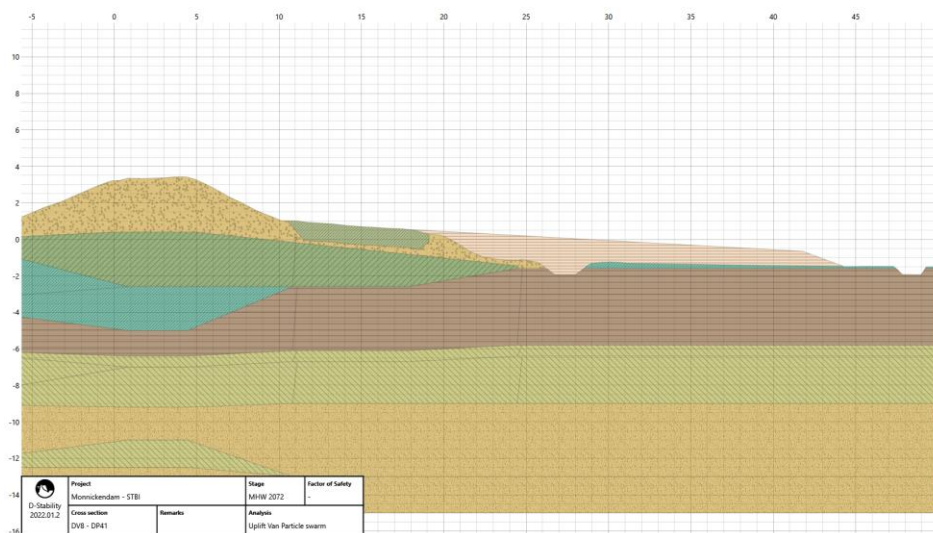
- De Binnenberm dient een afschot van minimaal 1:20 te hebben.
- Het Binnentalud dient een helling van 1:3 of flauwer te hebben.
- Bij het aanpassen van dimensies van de Binnenberm dient de Teensloot op maximaal 5 meter naast de teen van de Binnenberm te worden teruggebracht. In deze ontwerpnota is uitgegaan van 3 m.
- De Teensloot dient minimaal dezelfde breedte te hebben als bestaand.
- De Teensloot dient minimaal hetzelfde doorstroomprofiel te hebben als bestaand.
- De Teensloot dient een taludhelling te hebben van 1:2.

Naast de berekeningen voor de benodigde bermbreedte wordt ook het fenomeen squeezing onderzocht. Squeezing kan ontstaan door het aanbrengen van een belasting op een slappe veenlaag waardoor de veenlaag als gevolg van de belasting zijdelings worden weggeperst. Dit kan grote gevolgen hebben voor de stabiliteit van de dijk. De squeezing berekeningen geven zicht in wat de maximale ophoging tijdens een ophoogslag mag zijn waarbij de slappe lagen niet weggepest worden.

3.1 Normale verbreding (referentie)

Het principe van het toepassen van een normale bermverbreding is te zien in Figuur 3-1. De resultaten van de benodigde bermbreedtes in de referentie situatie zijn te zien in Tabel 3-1.

De benodigde bermverbreedingen wijken iets af van de benodigde bermverbreeding zoals gepresenteerd in de Technische Ontwerpnota Oplossingsrichtingen MZD [6]. Dit is het resultaat van het doorvoeren van de uitgangspunten afkomstig uit Ontwerpvisie Versterking Markermeerdijken [3] en/of de Basisspecificatie Dijken [5]. Zo zijn bijvoorbeeld in de eerdere berekeningen de taludhellingen van de bermverbreeding wat flauwer ingetekend. Het vastgestelde uitgangspunt van een 1:20 talud aanhouden voor de bermverbreeding resulteert in een kleinere verticale ophoging, waardoor de berm langer moet worden om tot een toename in stabiliteit te leiden.



Figuur 3-1: Voorbeeld normale verbreding (referentie) dwarsprofiel dijkvak 8

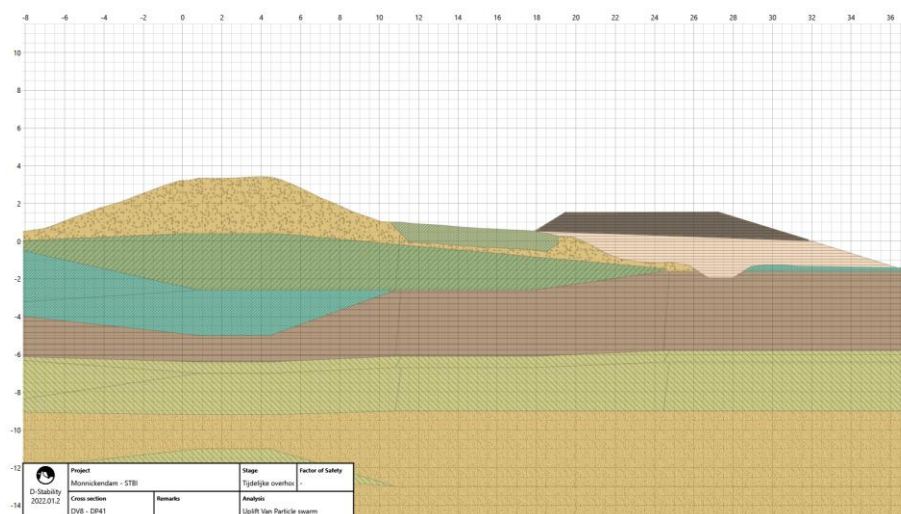
Tabel 3-1: Resultaten benodigde bermverbreeding normale verbreding

	Benodigde bermverbreeding [m]
Dijkvak 5	24,4 ¹
Dijkvak 6	12,9
Dijkvak 8	23,3

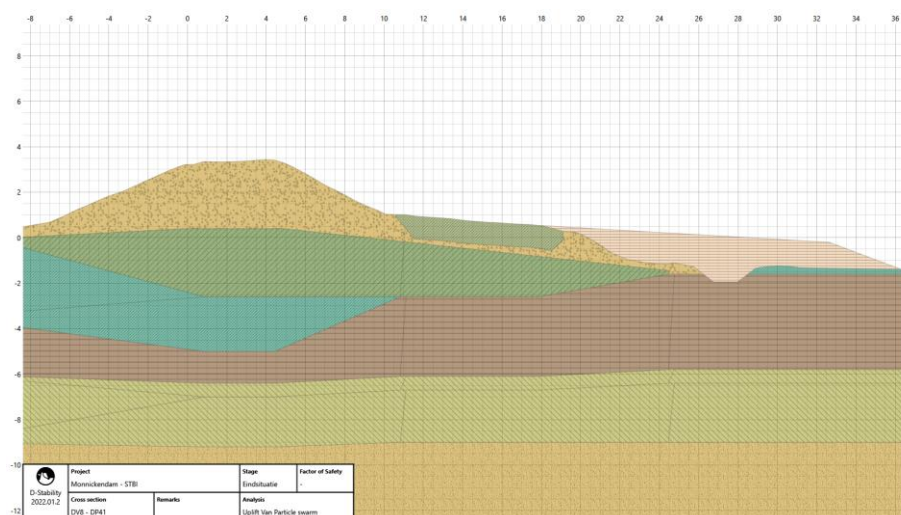
3.2 Tijdelijke overhoogte

Het principe van het toepassen van een tijdelijke overhoogte en het uiteinde profiel is te zien in Figuur 3-2 en Figuur 3-3. De resultaten van de benodigde bermbreedte bij het toepassen van een tijdelijke overhoogte op de berm zijn te zien in Tabel 3-2.

¹ Bij deze bermverbreeding wordt de vereist SF nog niet bereikt SF=1,22) maar kruist de kruin van de bermverbreeding het maaiveld. De berm kan dus niet breder als de 1:20 helling aangehouden wordt.



Figuur 3-2: Voorbeeld toepassing tijdelijke overhoogte dwarsprofiel dijkvak 8



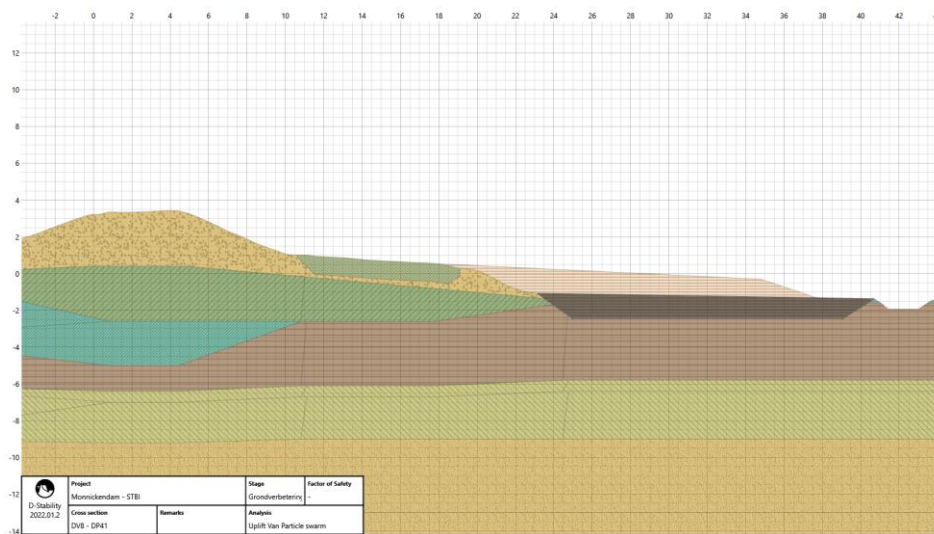
Figuur 3-3: Voorbeeld eindsituatie toepassing overhoogte dwarsprofiel dijkvak 8

Tabel 3-2: Resultaten benodigde bermverbreding toepassing tijdelijke overhoogte

	Benodigde bermverbreding [m]
Dijkvak 5	14,4
Dijkvak 6	9,5
Dijkvak 8	14,2

3.3 Grondverbetering

De grondverbetering is toegepast bij het dwarsprofiel van dijkvak 5 en 8. Bij dijkvak 6 is een waterpartij aanwezig aan de binnenzijde, waardoor een grondverbetering niet als uitvoerbaar gezien wordt. Het principe van het toepassen van de grondverbetering is te zien in Figuur 3-4. De resultaten van de benodigde bermbreedte bij het toepassen van overhoogte op de berm zijn te zien in Tabel 3-3.



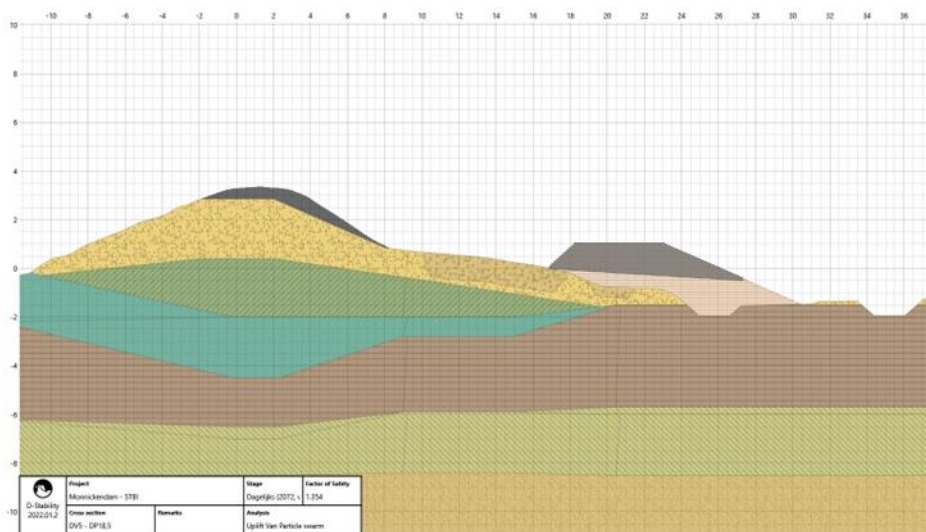
Figuur 3-4: Voorbeeld toepassing grondverbetering dwarsprofiel dijkvak 8

Tabel 3-3: Resultaten benodigde bermverbreding toepassing grondverbetering

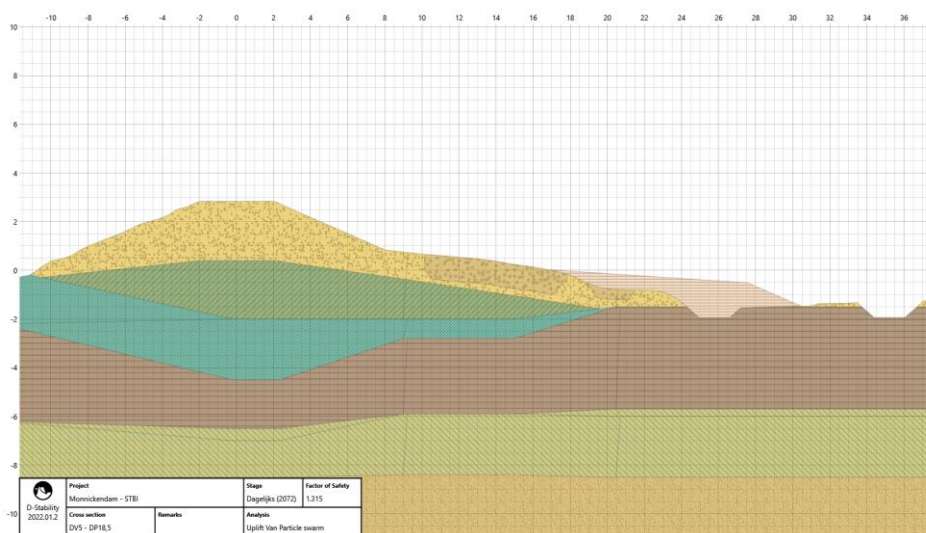
	Benodigde bermverbreding [m]
Dijkvak 5	16,7
Dijkvak 6	n.v.t.
Dijkvak 8	16,4

3.4 Afgraven kruin en tijdelijke overhoogte

Zoals eerder beschreven, is de afgraving van de kruin alleen mogelijk bij dijkvak 5 en 9, als voldaan moet blijven worden aan het 2 m hoogteverschil tussen berm en kruin vanuit ruimtelijke kwaliteit. Het principe van het toepassen van de afgraving van de kruin in combinatie met een tijdelijke overhoogte voor dijkvak 5 is te zien in Figuur 3-5, waarbij het afgegraven deel van de kruin door het zwarte vlak is weergegeven. De eindsituatie is weergegeven in Figuur 3-6. De resultaten van de benodigde bermbreedte bij het afgraven van de kruin en het toepassen van overhoogte op de berm zijn te zien in Tabel 3-4.



Figuur 3-5: Voorbeeld toepassing afgraven kruin en tijdelijke overhoogte dwarsprofiel dijkvak 5



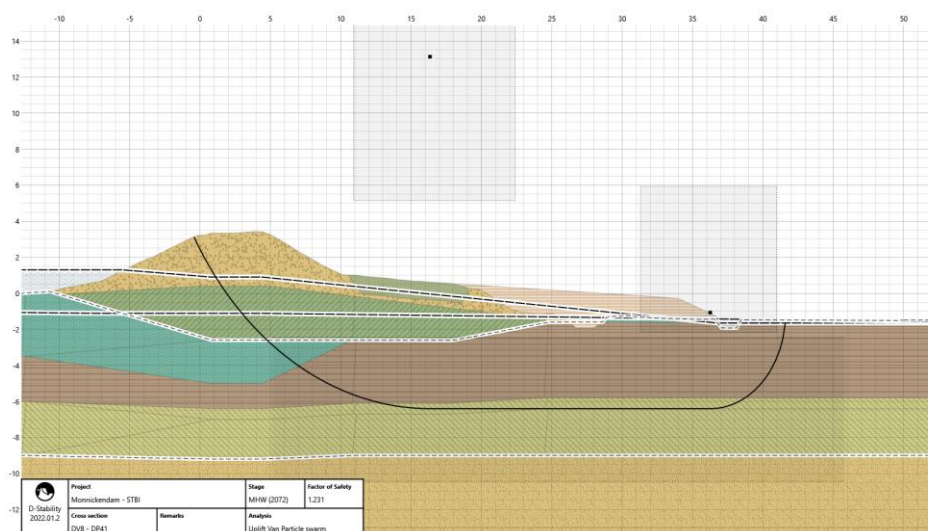
Figuur 3-6: Voorbeeld eindsituatie toepassing afgraven kruin en tijdelijke overhoogte dwarsprofiel dijkvak 5

Tabel 3-4: Resultaten benodigde bermverbreding toepassing afgraven kruin en tijdelijke overhoogte

	Benodigde bermverbreding [m]
Dijkvak 5	11,5
Dijkvak 6	n.v.t.
Dijkvak 8	n.v.t.

3.5 Invloed onzekerheden

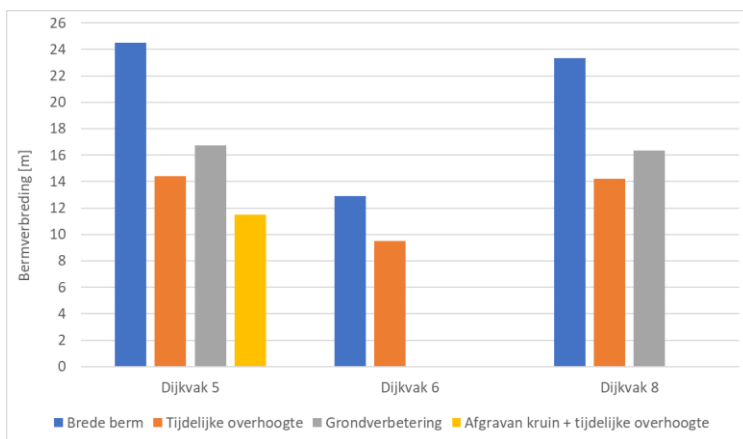
De resultaten van de dimensionering zijn gebaseerd op bepaalde aannames. De hoekpuntenanalyse van de NAV heeft aangetoond dat de POP van klei Calais en de stijghoogte grote invloed heeft op de stabiliteit [1]. Om het effect van het toepassen van een bepaalde POP en stijghoogte te toetsen is een berekening uitgevoerd voor dijkvak 8 waarbij een gunstigere waarde voor de POP en de stijghoogte zijn gekozen. Hierbij is een POP van 11 kN/m² voor klei Calais toegepast (was in eerdere berekeningen 3 kN/m²) en is de stijghoogte 0,50 m lager genomen. Dit resulteert in het glijvlak gepresenteerd in Figuur 3-7 waarbij een bermverbreiding van 16 m nodig is om de benodigde stabiliteitsfactor van 1,23 te behalen. Vergeleken met de eerder berekende referentie bermverbreiding is dit een afname van 8 m. Dit benadrukt de gevoeligheid van de toegepaste stijghoogte en sterkteparameters van de grond. In de planuitwerkingsfase dient hier verder onderzoek naar te worden gedaan.



Figuur 3-7: Voorbeeld normale verbreding dwarsprofiel dijkvak 8 aanpassing POP en stijghoogte

3.6 Conclusie dimensionering bermbreedtes

In Figuur 3-8 en Tabel 3-5 zijn de benodigde bermverbredingen weergegeven voor de verschillende toepassingen en dijkvakken. Dijkvak 5 heeft momenteel een bermbreedte van 8 m en dijkvakken 6 en 8 een bermbreedte van 10 m. Concluderend kan gezegd worden dat de toepassing overhoogte de meest positieve invloed heeft op de benodigde bermverbreding. Voor dijkvak 5 kan dit in combinatie met het afgraven van de kruin tot de kleinste bermverbreding leiden.



Figuur 3-8: Overzicht benodigde bermverbredingen verschillende toepassingen

Gecombineerd met de resultaten uit de Technische Ontwerpnota Oplossingsrichtingen [6] leiden de afgeronde resultaten van de dimensies van de bermverbreding tot de resultaten weergegeven in Tabel 3-5.

Tabel 3-5: Resultaten bermdimensionering toepassingen

	Brede berm/ Referentie	Brede berm Toepassing Gebiedseigen grond Materiaal 14 kN/m ³	Korte berm Toepassing Tijdelijke overhoogte Materiaal 17 kN/m ³	Korte berm Toepassing Grondverbe- tering Materiaal 17 kN/m ³	Korte berm Toepassing Kruin- verlaging + overhoogte Materiaal 17 kN/m ³
Dijkvak 5	25 m	n.v.t. ¹	-10 m	-8 m	-13 m
Weiland (o.b.v. DV 8)	25 m	+ 4 m	-10 m	-8 m	n.v.t. ¹
Braak (o.b.v. DV 6)	15 m	+ 3 m	-4 m	n.v.t. ¹	n.v.t. ¹

¹ De toepassing kan om verschillende redenen niet worden toegepast

De stijghoogte en waarde van de sterkteparameters van de grond kunnen grote invloed hebben op de benodigde bermverbreding. In de planuitwerkingsfase dient hier daarom verder onderzoek naar te worden gedaan.

3.7 Squeezing

Squeezing wordt veroorzaakt doordat lokaal en in relatief korte tijd wateroverspanningen ontstaan, waardoor de schuifspanning de aanwezige schuifsterkte overschrijdt. Hierdoor worden de slappe lagen tussen de ophoging en de onderliggende zandlaag weggeperst. Om de onzekerheid van de sterkte van de kleilaag onder de veenlaag mee te nemen wordt alleen de veenlaag in dit geval als slappe laag beschouwd en de kleilaag eronder als zandlaag. De beschouwing van het mechanisme squeezing is gedaan middels de methode IJsseldijk conform CUR162 [10].

Binnen deze methode wordt het verticaal evenwicht in de slappe laag direct naast de ophoging in beschouwing genomen, met de volgende betrekking voor de toegestane ophoging:

$$\sigma'_{vg} = \left(\sigma'_{vn} + K + \gamma \frac{h}{2} \right) \left[\frac{e^{\lambda-1} (1 + \sin \phi')^2}{\lambda (1 + \sin^2 \phi')} - 1 \right]$$

Met:

$$K = c \cdot \cot \phi'$$

$$\lambda = \frac{b}{h} \cdot \frac{\sin \phi' \cdot \cos \phi'}{1 + \sin^2 \phi'}$$

Waarin:

σ'_{vg}	= Verticale korrelspanning onder de ophoging (kPa)
σ'_{vn}	= Verticale korrelspanning naast de ophoging (kPa)
c'	= Cohesie (kPa)
ϕ'	= Hoek van inwendige wrijving (°)
γ	= Volumiek gewicht van het pakket weinig draagkrachtige lagen (kN/m ³)
h	= Dikte van het pakket weinig draagkrachtige lagen (m)
b	= Breedte van de ophoging (m)

N.B. Bovenstaande vergelijking gaat uit van gedraineerde parameters. Tijdens de ophoogfasering kan ongedraineerd gedrag optreden, waardoor de gehanteerde vergelijking mogelijk tot overschatting van de toegestane diktes leidt.

Deze methode wordt toegepast voor dijkvakken 6 en 8 voor de situatie met en zonder tijdelijke overhoogte. Dit omdat bij deze toepassing de grootste hoeveelheid (hoogte) grond op de slappe veenlaag neergelegd wordt. Dijkvak 5 wordt hier buiten beschouwing gelaten omdat hierbij dezelfde mate van squeezing wordt verwacht als bij dijkvak 8 (gebaseerd op Tabel 3-5). De gebruikte parameters zijn gegeven in Tabel 3-6. Een verdere toelichting van deze parameters is gegeven in onderstaande paragrafen.

Tabel 3-6: Gebruikte parameters voor bepaling squeezing middels methode IJsseldijk waarbij d de dikte van de toegestane ophoging

Parameter	Eenheid	Dijkvak 6 Zonder tijdelijke overhoogte	Dijkvak 6 Met tijdelijke overhoogte	Dijkvak 8 tijdelijke overhoogte	Dijkvak 8 Met tijdelijke overhoogte
σ'_{vm}	kN/m ²	0	0	0	0
c'^1	kN/m ²	0	0	0	0
ϕ'^1	°	42	42	42	42
γ	kN/m ³	0	0	0	0
h	m	2,5	3,5	4,2	4,2
b	m	9	8	20	8
K	kN/m ²	0	0	0	0
λ	-	1,24	0,79	1,64	0,65
σ'_{vg}	kN/m ²	35,7	34,3	82,7	36,8
d	m	2,1	2,0	4,9	2,2

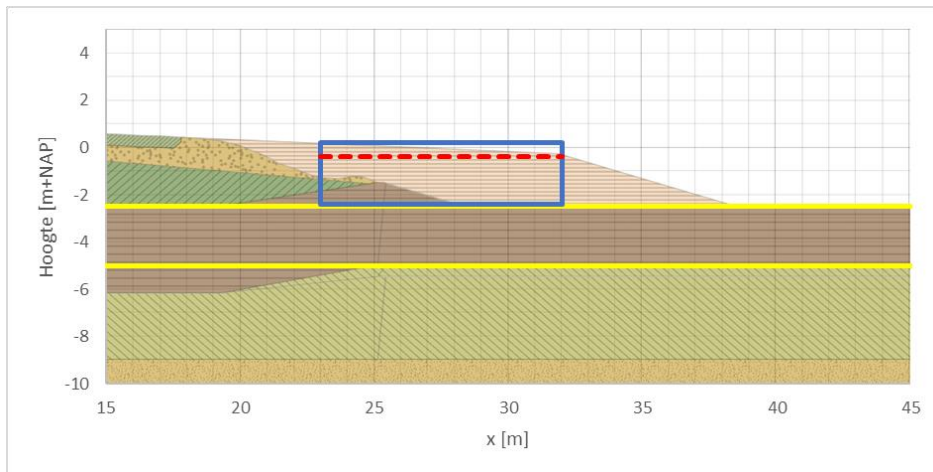
¹ Conform technische uitgangspunten notitie [4]

3.7.1 Dijkvak 6

Voor de bermverbreding in dijkvak 6, in de situatie dat er geen tijdelijke overhoogte wordt toegepast, is de ophoging geschematiseerd zoals weergegeven in Figuur 3-9. In deze figuur wordt de beschouwde dikte van de veenlaag met de gele lijnen weergegeven. De blauwe rechthoek geeft de ophoging weer en de rode gestippelde lijn is de maximaal toelaatbare hoogte van de ophoging om squeezing te voorkomen volgens de methode IJsseldijk.

Voor de dikte van de veenlaag is een maatgevend uitgangspunt gekozen, namelijk een dikte van 2,5 m. De breedte van de ophoging is aangenomen op 9 m. Hiervoor geldt dat een smalle ophoging maatgevend is over een brede ophoging. Om deze reden zijn de delen waar de ophoging afneemt (tussen $x=20$ en $x=23$ en tussen $x=32$ en $x=38$) niet meegenomen. De ophoging wordt direct op de veenlaag geplaatst, wat betekent dat de verticale korrelspanning naast de ophoging gelijk is aan 0 kPa.

Uit de beschouwing volgt dat de ophoging tot maximaal een hoogte van NAP -0,40 m kan worden aangelegd om squeezing van de veenlaag te voorkomen. Dit komt neer op een dikte van 2,1 m. Zoals ook in Figuur 3-9 te zien is zal de beoogde berm vanuit het oogpunt van squeezing in twee fases moeten worden aangelegd. De maximale dikte van de ophoogslag is bepaald met het gebruik van karakteristieke waarden. Naast de veilige aanname dat de kleilaag niet als slappe laag meegenomen wordt en het naar beneden afronden van de breedte van de ophoging, is er geen rekening gehouden met een veiligheidsmarge.

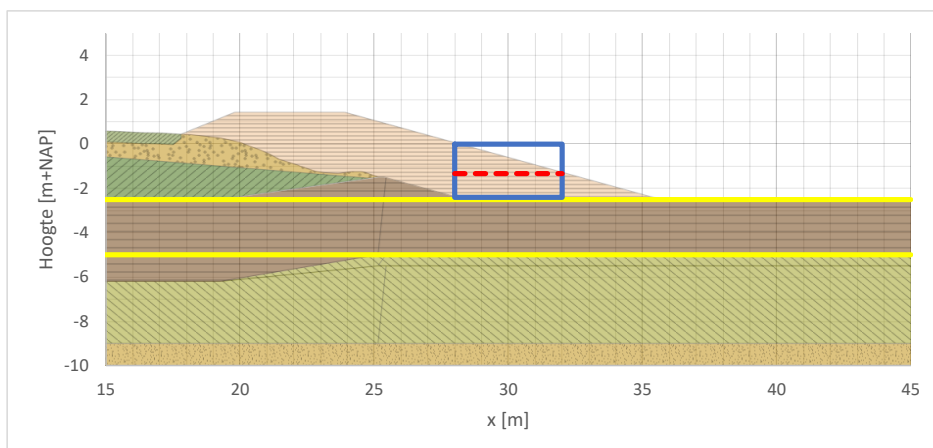


Figuur 3-9 Schematisering squeezing methode IJsseldijk dijkvak 6 zonder tijdelijke overhoogte

Voor de situatie met tijdelijke overhoogte is de schematisering weergegeven in Figuur 3-10, waarbij de gekleurde lijnen dezelfde betekenis hebben als in Figuur 3-9. De berekeningsmethode neemt een uniforme bodemopbouw en belasting aan, terwijl dit in de beschouwde situatie niet het geval is. De vertaling van deze beschouwde situatie naar uitgangspunten voor de methode IJsseldijk bevat dus een aantal aannames.

De dikte van de veenlaag is aangenomen op 2,5 m dikte, zoals weergegeven door de gele lijnen in Figuur 3-10. De breedte van de belasting is aangenomen op 4 m. Als de belasting over een breder vlak aangenomen wordt zal de dikte van de ophoogslag overschat worden. De ophoging wordt direct op de veenlaag geplaatst, wat betekent dat de verticale korrelspanning naast de ophoging gelijk is aan 0 kPa.

Uit de beschouwing volgt dat de ophoging tot maximaal een hoogte van NAP +0,20 m kan worden aangelegd om squeezing van de veenlaag te voorkomen. Dit komt neer op een dikte van 1,2 meter. De beoogde voorbelasting moet dus in ten minste twee fases worden aangelegd.



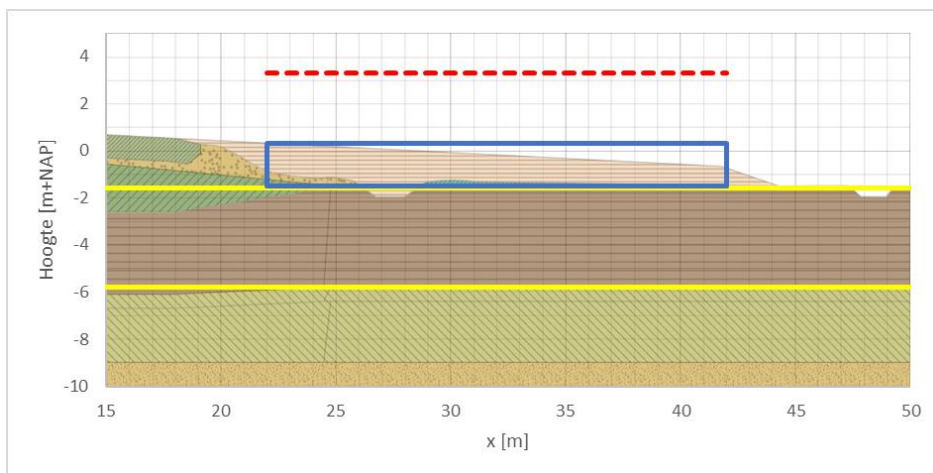
Figuur 3-10 Schematisering squeezing methode IJsseldijk dijkvak 6 inclusief tijdelijke overhoogte

3.7.2 Dijkvak 8

De schematisering van de bermverbreding zonder tijdelijke overhoogte is weergegeven in Figuur 3-11. In tegenstelling tot dijkvak 6, is de bodem in het achterland van dit dijkvak vrij uniform.

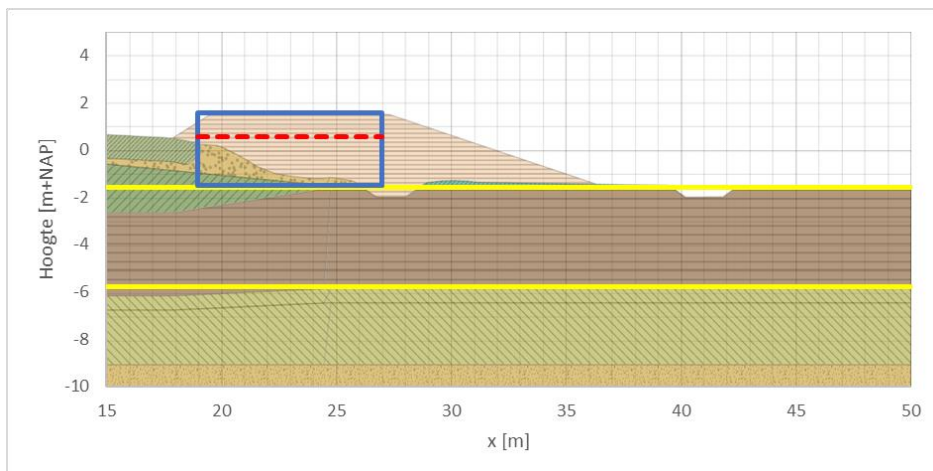
De dikte van de veenlaag is aangenomen op 4,2 m, weergegeven met de gele lijnen in Figuur 3-11. De breedte van de ophoging is 20 m. Ook hier wordt de ophoging direct op de veenlaag aangebracht, wat betekent dat de verticale korrelspanning naast de ophoging gelijk is aan 0 kPa.

Met deze uitgangspunten zou een belasting tot NAP +3,25 m kunnen worden aangelegd zonder dat squeezing zou optreden. Dit komt neer op een dikte van 4,9 m. Echter zal het aanbrengen van zo'n dikte gegarandeerd problemen met zich meebrengen als het gaat om stabiliteit, de uitvoeringsstabiliteit dient in een latere fase beschouwd te worden. Voor de beoogde ophoging van 2 m blijft echter gelden dat het vanuit het oogpunt van squeezing één slag kan worden aangebracht.



Figuur 3-11 Schematisering squeezing methode IJsseldijk dijkvak 8 zonder tijdelijke overhoogte
Voor de situatie met tijdelijke overhoogte is de schematisering weergegeven in Figuur 3-12. Hierbij is de dikte van de veenlaag hetzelfde aangenomen als voor de situatie zonder voorbelasting. De breedte van de ophoging is in dit geval echter maar 8 m. Hierbij is een deel van de bestaande berm meegenomen in de belasting aan de linkerzijde.

Met deze uitgangspunten resulteert de methode IJsseldijk in een maximaal toelaatbare ophoging tot NAP +0,55 m. Dit komt neer op een dikte van 2,2 m. Ten behoeve van het squeezing mechanisme moet de beoogde bermverbreding met overhoogte dus in ten minste twee fases worden aangebracht.



Figuur 3-12 Schematisering squeezing methode IJsseldijk dijkvak 8 inclusief tijdelijke overhoogte

3.8 Conclusie squeezing

De toelaatbare hoogte van de ophoging ten behoeve van squeezing is voor de verschillende dijkvakken weergegeven in Tabel 3-7. Hierbij is onderscheid gemaakt tussen de situatie zonder tijdelijke overhoogte (referentie situatie) en de toepassing met tijdelijke overhoogte. De breedte van de ophoging geeft hierin de doorslag, waarbij een bredere ophoging meer ruimte biedt voor de dikte van de ophogingsslag. Met de squeezing analyse is vastgesteld dat enkel de bermverbreding bij dijkvak 8, waarbij geen tijdelijke overhoogte wordt toegepast, in 1 ophogingsslag kan worden aangebracht vanuit het oogpunt van squeezing. Om echter vast te stellen dat het aanbrengen van de bermverbreding volgens de voorgestelde ophoogslagen uitgevoerd kan worden moet ook naar de stabiliteit van de bermverbreding tijdens uitvoering worden gekeken. Dit kan bepalend zijn voor de hoogte van de ophoogslag en de benodigde rusttijd tussen de ophoogslagen. Deze benodigde rusttijd kan door de slappe ondergrond tussen de maanden of zelfs jaren liggen. Dit zal invloed hebben op de totale uitvoeringsperiode.

Tabel 3-7: Toelaatbare hoogte ophoging voor de verschillende dijkvakken met en zonder tijdelijke overhoogte

	Dijkvak 6 Zonder tijdelijke overhoogte	Dijkvak 6 Met tijdelijke overhoogte	Dijkvak 8 Zonder tijdelijke overhoogte	Dijkvak 8 Met tijdelijke overhoogte
Toelaatbare hoogte ophoging [m]	2,1	1,2	4,9	2,2
Maximale benodigde ophoging in squeezing vlak [m]	2,5	2,5	1,5	3

4. Vervormingen

Het aanbrengen van grond (belasting) leidt tot vervormingen van de grond en de objecten die daar op of in liggen. Om te bepalen of het verbreden van de binnenbermen mogelijk leidt tot schade aan de provinciale weg N518 en/of de aanwezige kabels en leidingen (K&L) worden zettingsberekeningen gedaan. De N518 is een belangrijke doorgangsweg en route richting het eiland Marken. Verschillen in vervormingen tussen de dijkvakken of over het dwarsprofiel van de weg kunnen tot schade leiden waardoor de weg onbegaanbaar wordt. Voor de K&L geldt dat bij verschillen in vervormingen tussen de dijkvakken of een bepaalde mate van plaatselijke vervorming er schade kan optreden aan de K&L. Als dit het geval is, zullen ze bij het verbreden van de binnenberm (tijdelijk) verplaatst moeten worden. Er zijn geen vervormingseisen bekend van de weg en de K&L op het moment van schrijven, als richtlijn wordt een verschil in vervormingen/plaatselijke vervorming van 0,05 m aangehouden (exclusief autonome zetting).

De verwachte optreden vervormingen worden zowel verticaal als horizontaal berekend met D-Settlement. Dit is in lijn met rekenstap 1 zoals beschreven in “Uitgangspunten berekening vervormingen bij ophogingen” van de Alliantie Markermeedijken (AMMD) [12].

Om de bandbreedte van de optredende vervormingen te bepalen worden zowel de optredende vervormingen bij de normale bermverbreding (referentie situatie) als bij de toepassing met tijdelijke overhoogte bepaald, zie paragraaf 0. Dit zal worden gedaan voor twee dwarsprofielen, namelijk het dwarsprofiel van dijkvak 8, grenzend aan een polder, en het dwarsprofiel van dijkvak 6, grenzend aan een binnendijkse waterpartij. Van dijkvak 5 wordt hier buiten beschouwing gelaten omdat hierbij dezelfde mate van vervormingen wordt verwacht als bij dijkvak 8 (gebaseerd op Tabel 3-5). De berekeningen zijn zowel uitgevoerd met zwaar aanvulmateriaal, met een volumiek gewicht van 17 kN/m³, als met dijksmateriaal, met een volumiek gewicht van 14,1 kN/m³.

De resultaten van de verwachte verticale vervormingen zullen gepresenteerd worden op twee tijdstipmomenten. De optredende horizontale vervormingen zijn enkel weergegeven na 30 jaar maar zijn terug te schalen naar 3 en 5 jaar door ze te schalen met de verticale vervormingen na 3 en 5 jaar, doordat de horizontale vervormingen grotendeels evenredig plaatsvinden met de optredende verticale vervormingen. Het eerste tijdstipmoment voor de verticale vervormingen is aan het eind van de uitvoeringsperiode. Hier is 5 jaar voor aangehouden. Bij het aanbrengen van een tijdelijke overhoogte wordt aangenomen dat de overhoogte na 3 verwijderd zal worden. Hierna zal de grond deels terugveren, waardoor de grootste verticale vervormingen na 3 jaar aanwezig zijn. Om deze reden is voor de variant waarbij tijdelijke overhoogte toegepast is, de verticale vervorming na 3 jaar bepaald. Het tweede moment waarbij de verticale vervormingen bepaald worden is na 30 jaar, wat doorgaans als periode wordt aangehouden waarin alle zettingen optreden.

4.1 Samendrukkingsparameters

Voor de zettingsberekeningen in D-Settlement wordt gerekend met het NEN-Bjerrum isotachen model en wordt het consolidatiemodel van Darcy toegepast. Dit is beide zoals voorgeschreven in “Ontwerpbasis zetting DO” van de AMMD [8]. De toegepaste zettingsparameters zijn ook overgenomen uit deze

ontwerpbasis, zoals bepaald volgens metingen op het traject Edam – Amsterdam.

De samendrukkingsparameters die toegepast worden bij de zettingsberekeningen zijn de primaire samendrukbaarheid na de grensspanning (CR), primaire samendrukbaarheid vóór de grensspanning (RR), secundaire samendrukbaarheid (Ca) en Consolidatiecoëfficiënt (Cv). De volumieke gewichten (γ) zijn overgenomen uit de rapportage Technische Uitgangspunten [4]. De parameters zijn opgenomen in Tabel 4-1.

De OCR uit de “Ontwerpbasis zetting DO” [12] leidt tot zeer hoge, niet realistische autonome bodemdalingen, tot meer dan 0,10 m in het eerste jaar. Om hier betere inschattingen van te maken is gekozen om te werken met een intrinsieke tijd van 10.000 dagen. Alleen voor de veenlaag die aan het water grenst, voor dijkvak 6 zowel het voorland als achterland en voor dijkvak 8 op de locatie van de teensloot, wordt een POP toegevoegd omdat anders vanwege de lage insitu korrelspanning onrealistische hoge zettingen optreden op deze locaties.

Tabel 4-1: Samendrukkingsparameters

Grondsoort	Locatie	γ (dr/nat) [kN/m ³]	CR [-]	RR [-]	Ca [-]	Cv [m ² /s]
Veen	Achterland	10,2	0,458	0,073	0,027	2,4 ^E -07
	Berm/Kruin/Teen		0,441	0,070	0,026	2,0 ^E -07
	Voorland/Water		0,454	0,072	0,026	2,3 ^E -07
Klei, Antr.	Berm/Kruin	14,1	0,228	0,034	0,011	7,8 ^E -08
Klei, Cal.	Achterland	16,8	0,207	0,031	0,010	2,0 ^E -07
	Berm/Kruin		0,198	0,030	0,009	4,1 ^E -07
	Voorland/Water		0,198	0,030	0,009	8,4 ^E -07
Klei, Duink	Achterland/Voorland	13,1	0,253	0,039	0,013	9,2 ^E -08
Zand, antr.	Dijk	18,8/20,0	0,004	0,001	0	gedraineerd
Zand, Walcheren	Diepe zandlaag	18,0/20,0	0,004	0,001	0	gedraineerd

4.2 Verticale vervormingen

Voor de optredende verticale vervormingen gaat het om de toename in zetting door het toevoegen van de extra grond van de bermverbreiding. Dit vanwege het uitgangspunt dat gesteld is door de AMMD dat de constructies de autonome zettingen en kruip kunnen weerstaan [12]. Om de toename van de zetting door de bermverbreiding te bepalen is het van belang om de standaard aanwezige autonome bodemdaling en kruip in het model (dus zonder de bermverbreiding) te bepalen. De toename in zetting door de bermverbreiding wordt bepaald door de standaard aanwezige autonome bodemdaling en kruip af te trekken van de optredende zettingen. Deze aanpak wijkt af van de aanpak beschreven in de uitgangspunten van de AMMD, waarin de aanwezigheid van kruip volledig uitgeschakeld wordt door de secundaire samendrukbaarheid na de

grensspanning ($C\alpha$) van de grondparameters op 0 te zetten [12]. Door dit te doen wordt de toename van kruip door het toevoegen van de belasting verwaarloosd, waardoor onderschatting in de vervormingen ontstaat. Om een goede inschatting te maken van de optredende verticale vervormingen is dus de methode toegepast waarbij de toename in kruip door het toevoegen van de belasting wél meegenomen wordt.

4.3 Horizontale vervormingen

Voor de horizontale vervormingen wordt vanuit het AMMD voorgeschreven om de benodigde elasticiteitsmodulus handmatig uit te rekenen met de volgende formule [12]:

$$E = 1,25H \frac{\Delta\sigma}{\Delta s}$$

Waarbij:

- H = Dikte van de samendrukbare laag [m]
- $\Delta\sigma$ = Toename van verticale korrelspanning van de samendrukbare laag [kN/m²]
- Δs = Zetting van de samendrukbare laag [m]

Hierbij dient een fictieve load van 50 kPa toegepast te worden over het gehele profiel om vervolgens de E-modulussen van de verschillende grondlagen te bepalen. Echter, omdat D-Settlement uiteindelijk met een gemiddelde E-modulus rekent, is gekozen om een gemiddelde E-modulus over het totaal van de samendrukbare lagen te bepalen. De toegepaste parameters en uiteindelijk berekende E-modulussen voor de verschillende dijkvakken zijn weergegeven in Tabel 4-2. Hierbij is de E-modulus bepaald ter plaatse van de kruin van de bestaande binnenberm.

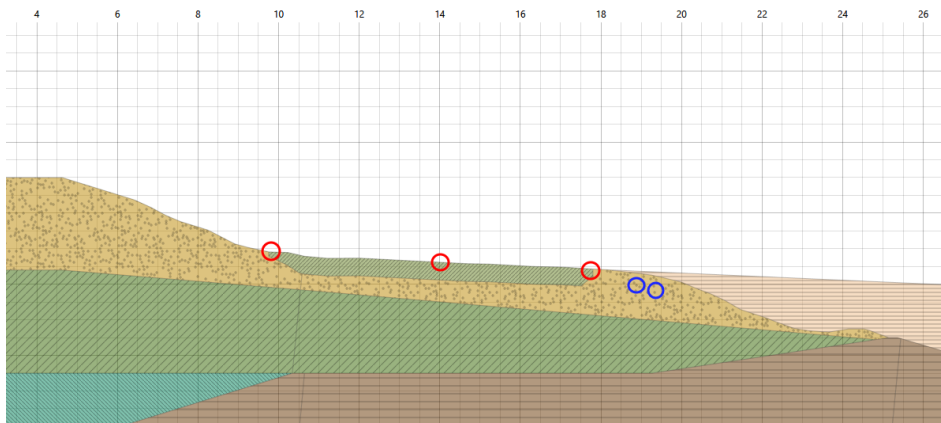
Tabel 4-2: Parameters bepalen E-modulussen dijkvakken

	H [m]	$\Delta\sigma$ [kN/m ²]	Δs [m]	E [kN/m ²]
DV6	9,06	48	1,06	513,0
DV8	9,14	46,3	1,00	529,2

4.4 Resultaten

Onder de resultaten vallen de verticale en horizontale vervormingen als gevolg van het verbreden van de binnenberm voor de twee verschillende varianten: een normale verbreding en een smallere bermverbreding waarbij tijdelijke overhoogte is toegepast.

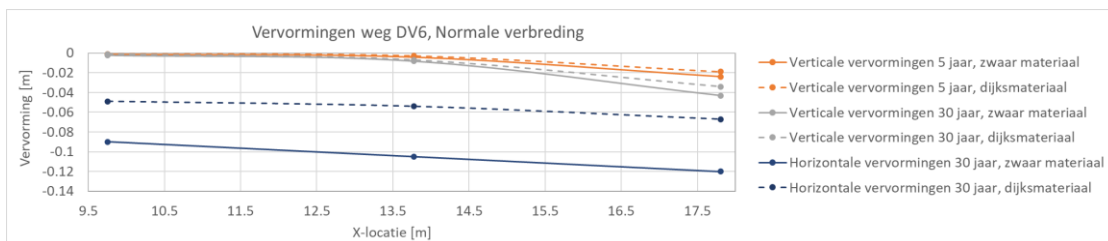
Voor het presenteren van de resultaten is onderscheid gemaakt tussen de optredende verticale en horizontale vervormingen van de provinciale weg N518 op de huidige binnenbermen en de K&L in de kruin van de huidige binnenberm. Voor de provinciale weg zijn op 3 punten de vervormingen bepaald, namelijk; rand van de weg aan dijkzijde, het punt in het midden van de weg en rand van de weg aan polderzijde. Voor de K&L zijn 2 punten gepakt op 1 m diepte in de kruin van de huidige binnenberm. Een visualisatie van de locaties van de berekende vervormingen is weergegeven in Figuur 4-1.



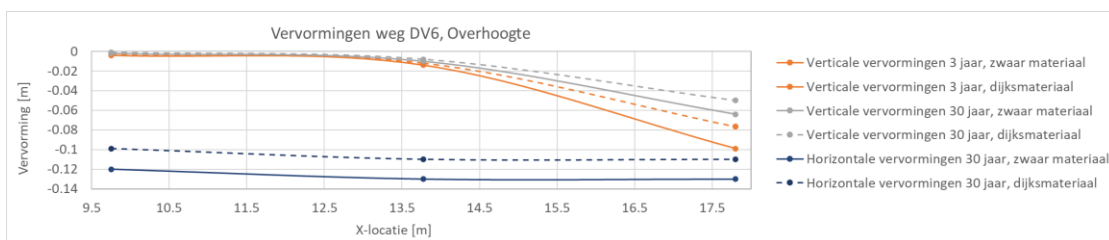
Figuur 4-1: Locaties berekende vervormingen; in het rood voor de wag, in het blauw voor de K&L, voorbeeld voor dijkvak 6.

4.4.1 Dijkvak 6

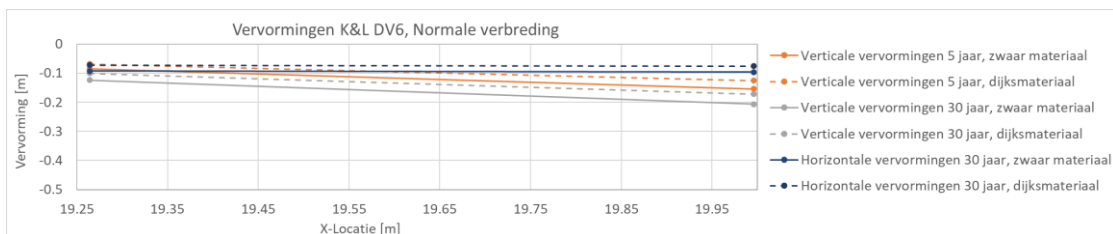
De resultaten van de berekeningen van de optredende verticale en horizontale vervormingen voor dijkvak 6 zijn weergegeven in Figuur 4-2 t/m Figuur 4-5.



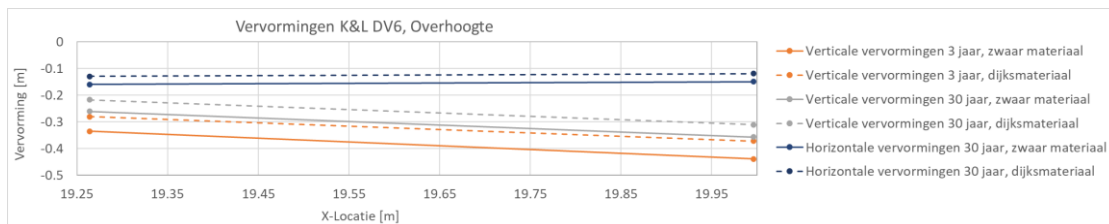
Figuur 4-2: Berekende verticale en horizontale vervormingen wag dijkvak 6, normale verbreding. X-locaties gelijk aan de x-locaties in de D-Stability berekeningen (zoals Figuur 4-1 voor dijkvak 6).



Figuur 4-3: Berekende verticale en horizontale vervormingen wag dijkvak 6, met tijdelijke overhoogte. X-locaties gelijk aan de x-locaties in de D-Stability berekeningen (zoals Figuur 4-1 voor dijkvak 6).



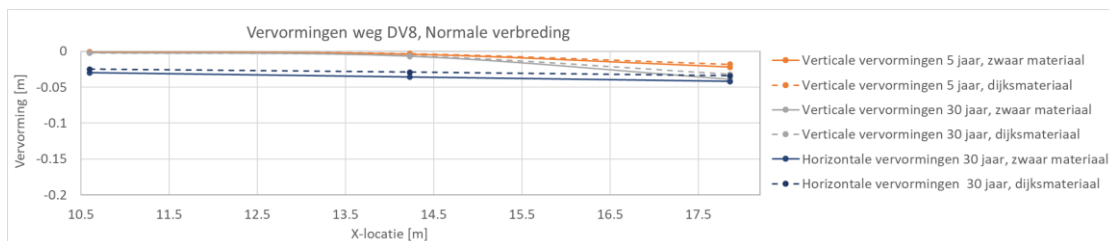
Figuur 4-4: Berekende verticale en horizontale vervormingen K&L dijkvak 6, normale verbreding. X-locaties gelijk aan de x-locaties in de D-Stability berekeningen (zoals Figuur 4-1 voor dijkvak 6).



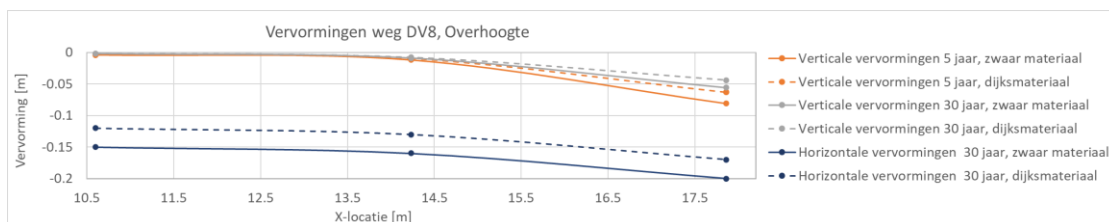
Figuur 4-5: Berekende verticale en horizontale vervormingen K&L dijkvak 6, met tijdelijke overhoogte. X-locaties gelijk aan de x-locaties in de D-Stability berekeningen (zoals Figuur 4-1 voor dijkvak 6).

4.4.2 Dijkvak 8

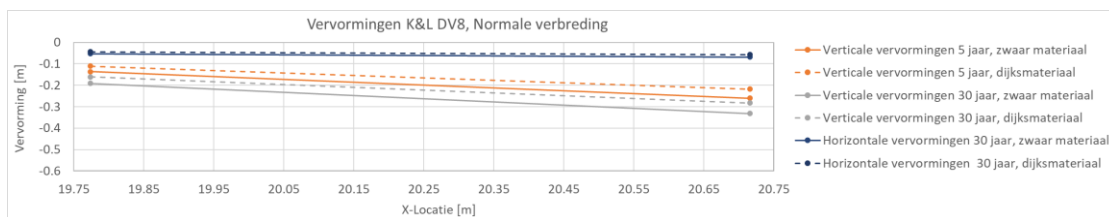
De resultaten van de berekeningen van de optredende verticale en horizontale vervormingen voor dijkvak 8 zijn weergegeven in Figuur 4-6 t/m Figuur 4-9.



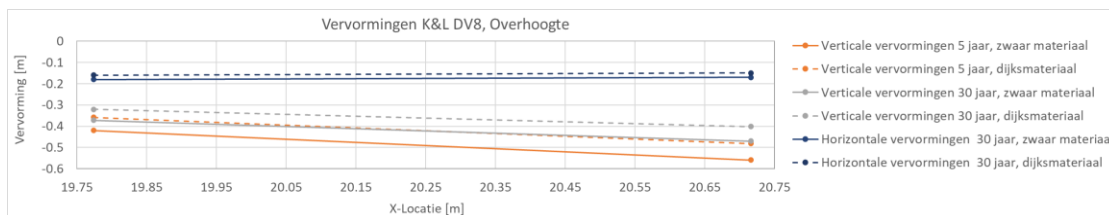
Figuur 4-6: Berekende verticale en horizontale vervormingen weg dijkvak 8, normale verbreding. X-locaties gelijk aan de x-locaties in de D-Stability berekeningen (zoals Figuur 4-1 voor dijkvak 6).



Figuur 4-7: Berekende verticale en horizontale vervormingen weg dijkvak 8, met tijdelijke overhoogte. X-locaties gelijk aan de x-locaties in de D-Stability berekeningen (zoals Figuur 4-1 voor dijkvak 6).



Figuur 4-8: Berekende verticale en horizontale vervormingen K&L dijkvak 8, normale verbreding. X-locaties gelijk aan de x-locaties in de D-Stability berekeningen (zoals Figuur 4-1 voor dijkvak 6).



Figuur 4-9: Berekende verticale en horizontale vervormingen K&L dijkvak 8, met tijdelijke overhoogte. X-locaties gelijk aan de x-locaties in de D-Stability berekeningen (zoals Figuur 4-1 voor dijkvak 6).

4.5 Conclusie vervormingen

In Tabel 4-3 is een overzicht van de resultaten uit Figuur 4-2 t/m Figuur 4-9 weergegeven. Hierin is te zien dat bij het toepassen van tijdelijke overhoogte bij de bermverbreiding de optredende vervormingen sterk vergroot worden. Dit geldt vooral voor de verticale vervormingen die bij beide dijkvakken zowel bij de weg als bij de K&L in bijna alle gevallen meer dan verdubbeld worden.

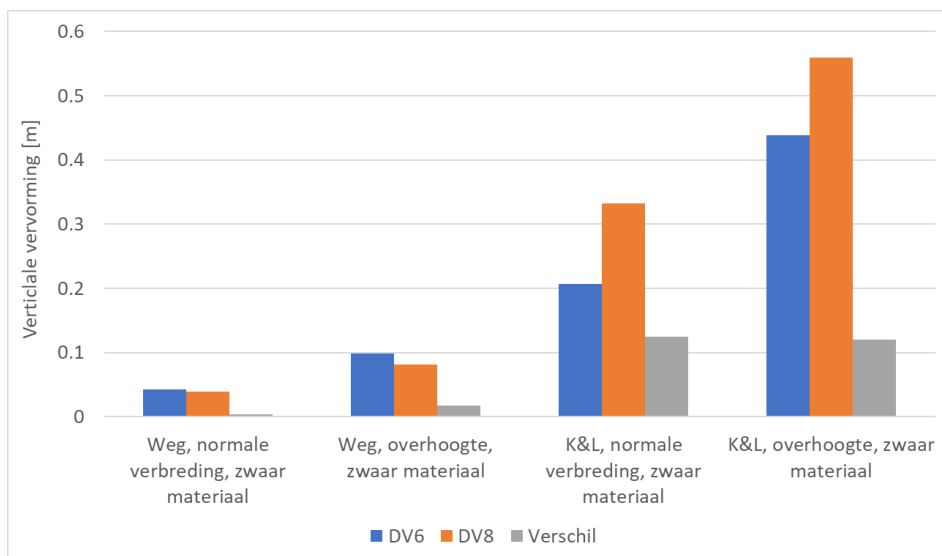
Tabel 4-3: Maximaal optredende vervormingen (na 30 jaar) zonder autonome bodemdaling

	Verticale vervorming		Horizontale vervorming	
	Normale verbreding	Tijdelijke overhoogte	Normale verbreding	Tijdelijke overhoogte
Dijkvak 6; wegdek	0,04	0,1	0,12	0,13
Dijkvak 6; K&L	0,2	0,45	0,1	0,15
Dijkvak 8; wegdek	0,04	0,08	0,04	0,2
Dijkvak 8; K&L	0,35	0,55	0,08	0,18

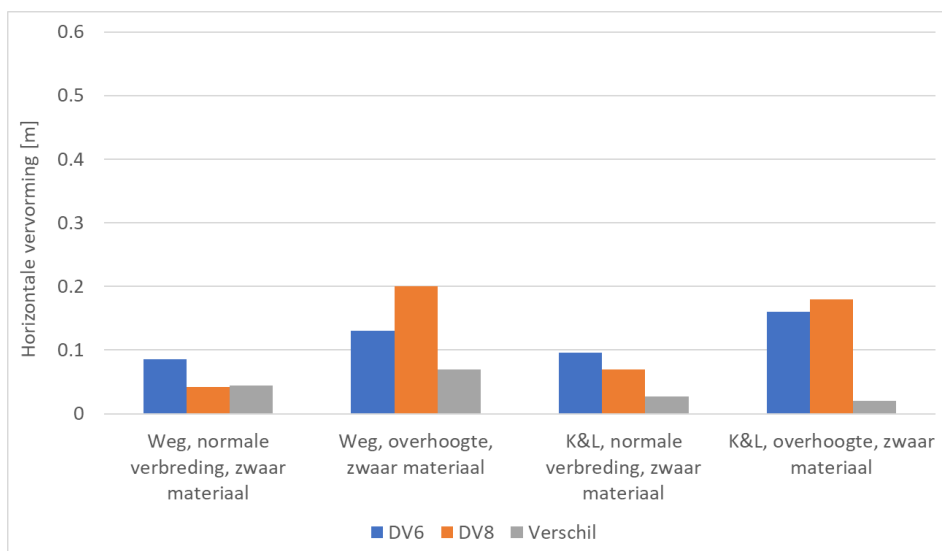
Ten tweede is te zien dat ter plaatse van de weg de horizontale vervormingen groter zijn dan de verticale vervormingen. Dit is te verklaren door het feit dat de ophoging niet ter plaatse van het wegdek plaatsvindt maar ernaast. Doordat de invloedzone van de horizontale vervormingen vele malen groter is dan die van de verticale vervormingen zijn de optredende horizontale vervormingen groter. Dit verklaart ook dat de horizontale vervormingen maar langzaam afnemen bij een grotere afstand van de ophoging. Welke van deze twee vervormingen maatgevend is voor het falen van het wegdek moet verder uitgezocht worden, in overleg met de wegbeheerder. Vanuit een eerste inschatting wordt echter gesteld dat de vervormingen optredend bij de variant met tijdelijke overhoogte te groot zijn voor de weg om begaanbaar te blijven voor (zwaar) vervoer. Hierbij zijn de verschillen in verticale vervormingen over het wegdek groter dan 0,05 m.

Bij de K&L ligt het net andersom en zijn de optredende verticale vervormingen ruim 2x zo groot dan de horizontale vervormingen. Dit doordat de K&L deels onder de ophoging liggen waardoor de invloed op de verticale vervormingen groter is dan bij het wegdek. Beide vervormingen zijn plaatselijk echter dusdanig groot (groter dan 0,1 m), zowel bij de normale bermverbreiding als bij toepassing van overhoogte, dat de K&L (tijdelijk) verlegd zullen moeten worden om schade te voorkomen.

Naast te kijken naar de optredende vervormingen over het dwarsprofiel van de weg en de locatie van de K&L in het dijkvak, speelt zoals eerder genoemd ook het verschil in optredende vervormingen tussen de verschillende dijkvakken een belangrijke rol. Deze verschillen (tussen de grootst optredende vervormingen) zijn de grijze balken weergegeven in Figuur 4-10 en Figuur 4-11.



Figuur 4-10: Overzicht grootste optredende verticale vervormingen zonder autonome bodemdaling



Figuur 4-11: Overzicht grootste optredende horizontale vervormingen zonder autonome bodemdaling

Voor het wegdek is in Figuur 4-10 te zien dat voor de verticale vervormingen maximaal 0,01 m verschil optreedt tussen de verschillende dijkvakken, ook bij de toepassing van overhoogte. Voor de optredende horizontale vervormingen van het wegdek is in Figuur 4-11 te zien dat de verschillen tussen de dijkvakken wel wat groter worden tot maximaal 0,04 m. Dit kan wellicht problemen gaan opleveren aan het wegdek.

Voor de K&L is het verschil in zetting tussen de verschillende dijkvakken minstens net zo bepalend als voor het wegdek, omdat in de eerdere figuren al gezien is dat voor de K&L er zeer grote verticale plaatselijke vervormingen optreden van ten minste 0,2 m. In Figuur 4-10 is te zien dat de optredende verticale vervormingen tussen de dijkvakken een verschil opleveren van meer dan 0,1 m. Hiermee kan bevestigd worden dat de schade die op zal treden door het toedoen van het verschil in verticale vervormingen van de K&L tussen de

dijkvakken van zo'n orde is dat de K&L verplaatst zullen moeten worden bij de bermverbreiding om schade aan de K&L te voorkomen.

Voor de K&L is uit deze analyse duidelijk op te maken dat ze, bij welke toepassing van een bermverbreiding dan ook, verplaatst zullen moeten worden om schade te voorkomen. Voor het wegdek wordt aanbevolen om in een volgende fase gedetailleerdere berekening te maken met behulp van Plaxis 2D. Dit is tevens voorgeschreven in "Uitgangspunten berekening vervormingen bij ophogingen" van de AMMD [12]. Bovendien moeten de vervormingseisen opgesteld worden in overleg met de wegbeheerder.

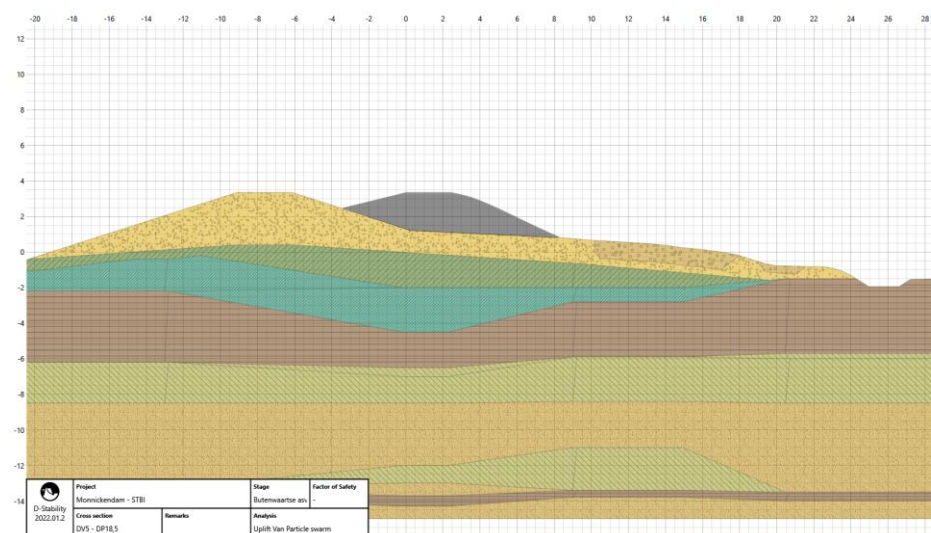
5. Buitenwaartse alternatief

Naast het binnenwaartse alternatief waarbij de oplossing wordt gezocht in een binnenwaartse bermverbreeding, waar mogelijk i.c.m. een kruinverlaging, gaat het buitenwaartse alternatief over een asverschuiving.

Voor de buitenwaartse oplossing is gekozen om de benodigde buitenwaartse asverschuiving te berekenen voor de situatie waarbij de dijk met het huidige dijksmateriaal, van $14,1 \text{ kN/m}^3$ verschoven wordt. Er wordt dezelfde kruinbreedte en kruinhoogte teruggebracht.

5.1 Conclusie buitenwaartse dimensionering

Het resultaat van de benodigde buitenwaartse asverschuiving is weergegeven in Figuur 5-1. De benodigde buitenwaartse asverschuiving is 8 meter voor de situatie waarbij de dijk naar buiten wordt verschoven met dijksmateriaal. Het nieuwe hoogteverschil tussen kruin en berm is omstreeks 2 m.



Figuur 5-1: Toepassing buitenwaartse asverschuiving Dijkvak 5

Vergeleken met een binnenwaartse bermverbreeding is het extra benodigde ruimtebeslag bij een buitenwaartse asverschuiving kleiner. Dit is te verklaren door het feit dat de extra toegevoegde grond (in feite een bermverbreeding) aan de dijkzijde van de berm wordt toegevoegd in plaats van aan de polderzijde. Hier wordt meer volume/gewicht toegevoegd per meter verbreding omdat de verbreding hier hoger is. Bovendien vindt de bermverbreeding plaats op reeds voorbelaste grond, waardoor de sterkte onder de berm groter is dan bij een binnenwaartse bermverbreeding. Bij een buitenwaartse asverschuiving wordt verder geen ruimte gezien voor het toepassen van grondverbetering of kruinverlaging, vanwege respectievelijk een lastige opgave in de uitvoering en het moeten voldoen aan de eis vanuit het kader ruimtelijke kwaliteit van 2 m hoogteverschil tussen berm en kruin.

6. Profielbehoud

Voor voorliggende technische ontwerpnota zijn geen aanvullende analyses uitgevoerd voor Profielbehoud, ten opzichte van de Technische Ontwerpnota Oplossingsrichtingen.

Voor de dimensionering van de benodigde constructie is in de Technische Ontwerpnota Oplossingsrichtingen [6] een damwand uitgerekend van het type AZ20-700. De damwand is niet verankerd en is 12 m lang, met een onderzijde op NAP -11 m. Onder Profielbehoud kunnen ook meer innovatieve technieken vallen, zoals mixed in place kolommen bij de binnentee van de dijk.

7. Aanbevelingen

7.1 Spreiding sterkte toename

Binnen de versterking AMMD wordt reeds gewerkt met asverschuivingen en tijdelijke overhoogte, waarbij de (al dan niet kunstmatig verhoogde) grensspanning in de ondergrond wordt benut in de dimensionering van het ontwerp. Met behulp van proefterpen is onderzocht hoe de sterkte zich in de ondergrond ontwikkelt, waarbij met behulp van boringen en sterkteproeven de sterkte-toename in de ondergrond in kaart is gebracht.

Uit de proefterpen is gebleken dat niet in alle gevallen de theorie zich in de praktijk liet vertalen en dat de sterkte soms achterblijft op wat verwacht mocht worden. Ook bleek er een redelijke spreiding te zitten tussen de onderlinge proefresultaten, wat lijkt te suggereren dat een voorbelasting niet zorgt voor een uniforme toename van de grensspanning (en dus schuifsterkte) in de ondergrond.

Op moment van schrijven zijn de conclusies vanuit AMMD nog niet volledig helder en is er tevens nog geen overeengestemde methode hoe hier mee om kan worden gegaan. Daarom is hiermee in deze ontwerpnota geen rekening gehouden voor de dimensionering van de binnenwaartse en buitenwaartse alternatieven. Het wordt aanbevolen om hier in de planuitwerkingsfase nader naar te kijken.

7.2 Onzekerheid stijghoogte en POP

In de nadere veiligheidsanalyse is reeds aangetoond dat bepaalde parameters in de rekenmodellen van invloed zijn op de grootte van de versterkingsopgave [1]. Met name de POP in de kleilagen en stijghoogte(toename) tijdens maatgevende omstandigheden zijn van invloed op de stabiliteit en dus de dimensionering van het ontwerp. Het wordt aanbevolen hier in (aanloop naar de) planuitwerkingsfase nader op te onderzoeken. Naar verwachting zal dit leiden tot een kleinere benodigde bermverbreding of asverschuiving.

7.3 Ophoogslagen

Met betrekking tot de toegestane ophoogslagen is nu enkel naar de maximale ophoogslag gekeken m.b.t. squeezing. Bovendien is de benodigde rusttijd tussen de ophoogslagen niet geanalyseerd. Om de maximale hoogte van de ophoogslagen en de rusttijd tussen de ophoogslagen te bepalen is het van belang om ook de uitvoeringsstabiliteit van de bermverbreding in beschouwing te nemen. Dit kan bepalend zijn voor de hoogte van de ophoogslag en de benodigde rusttijd tussen de ophoogslagen. Deze benodigde rusttijd kan door de slappe ondergrond tussen de maanden of zelfs jaren liggen. Dit zal ook invloed hebben op de totale uitvoeringsperiode.

7.4 Vervormingen

Om meer zekerheid te krijgen in de verwachte vervormingen die op zullen treden bij de bermverbreding, en op basis hiervan te bepalen of de schade die op zal treden aan de weg zal zorgen voor onherstelbare schade aan de N518,

wordt aanbevolen om in een volgende fase de verwachte vervormingen, van de kriebte delen, te berekenen met Plaxis 2D. Desalniettemin blijven het inschattingen van de optredende vervormingen en wordt het daarom aangeraden om tijdens de uitvoering de werkelijk optredende vervormingen te monitoren om te zorgen dat er op tijd ingegrepen kan worden als de werkelijke vervormingen op zo'n mate afwijken van de voorspelde vervormingen dat ze schade aan de N518 zullen veroorzaken. Hierdoor kan tijdig in worden ingegrepen tijdens de uitvoering.

Referenties

- [1]. Nadere veiligheidsanalyse, Dijkversterking Monnickendam Zeedijk, NL23-648800269-42268, versie D2.0. Sweco Nederland B.V., 8 maart 2023.
- [2]. Notitie Kansrijke alternatieven MZD, versie D1.0. Sweco Nederland B.V., 25 augustus 2023.
- [3]. Ontwerpvisie Versterking Markermeerdijken, AMMD-005941, Alliantie Markermeerdijken, juni 2018.
- [4]. Technische Uitgangspunten, Nadere veiligheidsanalyse Monnickendam (corsa 23.0006537), NL22-648800269-23887, versie C2.0. Sweco Nederland B.V., 23 december 2022.
- [5]. Basisspecificatie Dijken. Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier, 8 februari 2021.
- [6]. Technische Ontwerpnota Oplossingsrichtingen MZD, NL23-648800269-46029, versie D1.0. Sweco Nederland B.V., 25 april 2023.
- [7]. Fenomenologische beschrijving, faalmechanismen WBI, 11200574-007. Deltares, 2018.
- [8]. Predictie kruindaling Markermeerdijk Edam-Amsterdam, U1284002.R01. Fugro, 16 februari 2004.
- [9]. Modelleren Kruindaling Markermeerdijk, AMMD-002486. Alliantie Markermeerdijken, 4 januari 2017.
- [10]. WP2.1e Notitie berekening langsconstructie MZD 230331 C1.0. Sweco Nederland B.V., 31 maart 2023.
- [11]. CUR aanbeveling 162, Construeren met grond. Grondconstructies op en in weinig draagkrachtige en sterk samendrukbare ondergrond. Tweede druk, april 1993.
- [12]. Uitgangspunten berekening vervormingen bij ophogingen, AMMD-008432. Alliantie Markermeerdijken, 26 november 2020.
- [13]. Ontwerpbasis Zetting DO, AMMD-003443. Alliantie Markermeerdijken, 25 mei, 2018.

Together with our clients
and the collective
knowledge of our 18,500
architects, engineers and
other specialists, we co-
create solutions that
address urbanisation,
capture the power of
digitalisation, and make our
societies more sustainable.

Sweco – Transforming
society together

Bijlage D: Uitvoeringsnotitie

Notitie

Uitvoering kansrijke alternatieven MZD

Versie	Datum	Beschrijving van de wijziging
D1.0	29-8-2023	Eerste versie
C2.0	24-11-2023	Toevoeging alternatief Kruinverlaging

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

Monnickendam Zeedijk (MZD), in beheer van Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier (HHNK), wordt versterkt. Uit de nadere veiligheidsanalyse van de dijkversterking MZD volgt dat dijkvak 5 t/m 9, gelegen in het landelijke gebied, niet voldoen op binnenwaartse macrostabiliteit (STBI) [1]. Om deze veiligheidsopgave op te lossen zijn vier kansrijke alternatieven opgesteld [3]:

- Binnenwaarts
- Buitenwaarts
- Profielbehoud
- Kruinverlaging

De dimensionering van Binnenwaarts, Buitenwaarts en Kruinverlaging (en varianten binnen deze alternatieven) is onderbouwd in de Technische ontwerpnota kansrijke alternatieven [2]. Bij Profielbehoud moet gedacht worden aan een stalen damwand of een grondstabilisatie aan de binnentoe van de dijk, bijvoorbeeld met Mixed-in-place kolommen.

Het gebied kenmerkt zich door slappe ondergrond. Dit maakt de uitvoering complex. De wijze van uitvoering heeft invloed op het tijdelijke ruimtebeslag (en de effecten daarvan), de kostenraming en de verwachte stikstofuitstoot. De uitvoering heeft zodoende een directe impact op de effectbeoordeling van de alternatieven en daarmee mogelijk de keuze van het voorkeursalternatief.

1.2 Doel

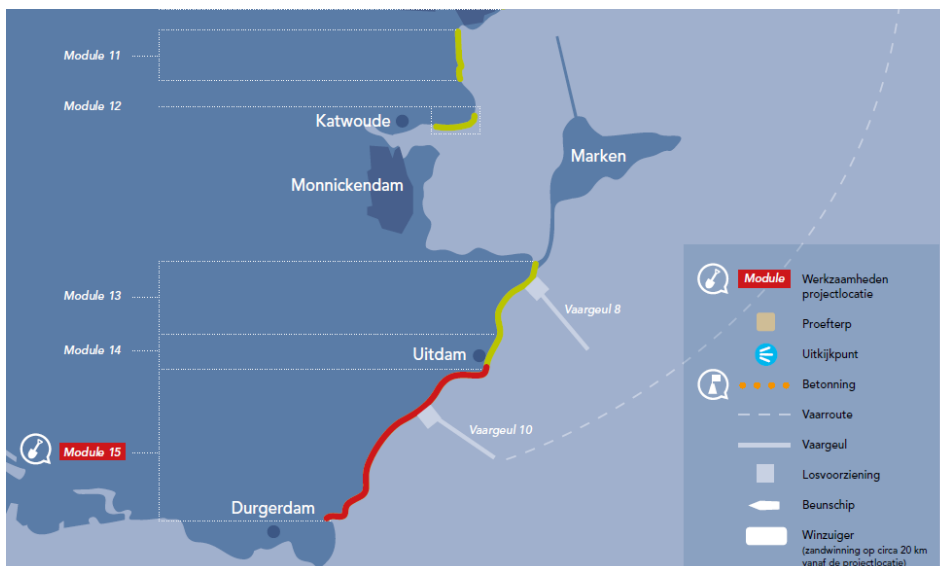
In deze notitie wordt beknopt uiteengezet hoe de alternatieven uitgevoerd kunnen worden, om een gelijke basis te vormen voor de verschillende effectbeoordelingen. Hierbij wordt gekeken naar de uitvoeringsplannen die vanuit de Alliantie Markermeerdijken beschikbaar zijn voor binnen- en buitenwaartse versterking. Deze notitie is nadrukkelijk niet bedoelt om een uitvoeringsmethode voor MZD vast te leggen. De uiteindelijke realisatie zal in samenspraak met de uitvoerende partij uitgewerkt moeten worden.

2 Mogelijke uitvoering

2.1 Aanvoer en transport

Het traject van MZD is gelegen langs de Gouwzee. Dit deel van het Markermeer is ondiep. Dicht bij de oever is de waterdiepte 1 m of minder, verderop de Gouwzee neemt dit toe tot maximaal 2 m [4]. Dit maakt aanvoer van materiaal over de Gouwzee complex. Tegelijkertijd is de provinciale weg N518 (door Monnickendam en over de huidige berm van de dijk) de enige aanvoermogelijkheid voor transport over de weg, wat hinder zal geven voor de omgeving.

Vanuit de Alliantie Markermeerdijken is een vaargeul gebaggerd en een loswal gerealiseerd nabij MZD, zie Vaargeul 8 in Figuur 2-1. Vooralsnog wordt er vanuit gegaan dat Vaargeul 8 voor MZD in stand kan worden gehouden. Aanvoer van materiaal kan daarmee voornamelijk vanaf het water plaatsvinden.



Figuur 2-1: Uitsnede vaargeulen en loswallen AMMD [5]

De N518 is een belangrijke provinciale weg voor de bereikbaarheid van het eiland Marken. Het langdurig afsluiten van deze weg is onwenselijk, aangezien in het onderliggende wegennet voor zwaar verkeer geen alternatieve route beschikbaar is. Daarom wordt uitgegaan van de aanleg van tijdelijke werkbanen langs de dijk, zodat de N518 zoveel mogelijk open kan worden gehouden. Over de werkbanen kan dan, na het lossen, het materiaal verder worden getransporteerd en verwerkt worden in de dijkversterking.

2.2 Binnenwaarts

Het Binnenwaartse alternatief kan middels de volgende globale fasering worden gerealiseerd:

1. Voorbereiden en aanleg tijdelijke werkbaan.
 - De toplaag ter plaatse van de werkbaan en toekomstige berm wordt verwijderd.
 - De ondergrond wordt gefreesd en voor een goede aanhechting op de bestaande berm wordt de berm ingekast.
 - Een tijdelijke werkbaan van zand wordt aangelegd. Deze is breder dan de uiteindelijke berm, om voldoende werkruimte te hebben. Bij de binnendijkse waterpartijen worden big bags gebruikt om de werkbaan op zijn plek te houden.
 - De gedempte teensloot wordt verder in het achterland teruggebracht, om de waterhuishouding in stand te houden.
2. Realiseren bermverbreding.
 - De bermverbreding wordt aangebracht, al dan niet met zettingscompensatie en/of andere uitvoeringsmaatregelen.
 - De berm wordt afgewerkt en ingezaaid.
 - Na de bermverbreding wordt het restant van de werkbaan afgegraven.
 - Tijdens het grondwerk kan door zettingen schade aan de N518 optreden, die tijdelijk hersteld zal moeten worden [2].
3. Vernieuwen N518.
 - Als het merendeel van de zettingen heeft plaatsgevonden, wordt de N518 volledig hersteld door deze opnieuw te asfalteren. Mogelijk is ook herstel van de wegfundering nodig.

Aan de polderzijde van de huidige binnenberm liggen momenteel meerdere kabels en leidingen. De verwachte zettingen zijn hier te groot om deze te kunnen handhaven [2]. Deze zullen daarom verlegd worden. Of deze terugkomen in de rand van de nieuwe berm of buiten het dijkprofiel komen te liggen, zal nader bepaald moeten worden.

De wateroverspanningen in de ondergrond die optreden door de grondophoging moeten kunnen dissiperen. Dit consolideren van de ondergrond heeft tijd nodig. De verwachte uitvoeringsduur is 2-4 jaar en kan waar nodig worden versnelt met zettingsversnellende maatregelen zoals (actieve) drainage.



Figuur 2-2: Globale fasering Binnenwaarts, nummering overeenkomstig de werkstappen. N.B.: dimensionering bermverbreding is niet op schaal

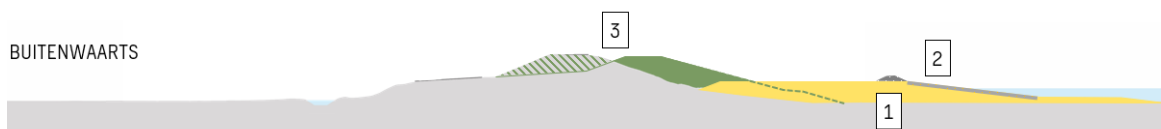
2.3 Buitenwaarts

Het Buitenwaartse alternatief kan middels de volgende globale fasering worden gerealiseerd:

1. Voorbereiden en realiseren tijdelijke werkbaan.
 - Het slib ter plaatse van de werkbaan wordt verwijderd.
 - De huidige steenbekleding en bestorting ter plaatse van de werkbaan wordt verwijderd.
 - Voor een goede aanhechting op het bestaande buitentalud wordt deze ingekast.
 - Een tijdelijke werkbaan van zand wordt aangelegd, tot boven het streefpeil van de Gouwzee. De werkbaan is breder dan de uiteindelijke asverschuiving, om voldoende werkruimte te hebben.
 - Op het talud van de werkbaan wordt stortsteen aangebracht tegen erosie.
2. Aanleggen tijdelijke kering.
 - Om vrij te kunnen werken aan de bestaande waterkering, wordt een tijdelijke kering aangebracht aan de rand van de werkbaan. Deze kan lager zijn dan de 'echte' waterkering, vanwege het flauwe talud van de werkbaan.
3. Realiseren asverschuiving.
 - De steenbekleding op de rest van het buitentalud wordt verwijderd en voor een goede aanhechting wordt deze ingekast.
 - Het fietspad op de kruin wordt verwijderd, het huidige dijklichaam wordt afgegraven en de asverschuiving wordt gerealiseerd, al dan niet met zettingscompensatie en/of andere uitvoeringsmaatregelen.
 - De dijk wordt afgewerkt en ingezaaid, het nieuwe buitentalud wordt van nieuwe steenbekleding voorzien, op de kruin wordt waar nodig het fietspad teruggebracht.
 - De tijdelijke werkbaan wordt verwijderd, waarbij de nieuwe teenconstructie gerealiseerd wordt.

Bij alternatief Buitenwaarts zal het fietspad op de kruin gedurende de realisatie van de asverschuiving niet aanwezig zijn. Om de bereikbaarheid van Marken per fiets te blijven garanderen zal een tijdelijke omleidingsroute (of andere oplossing) nodig zijn.

De wateroverspanningen in de ondergrond die optreden door de grondophoging moeten kunnen dissiperen. Dit consolideren van de ondergrond heeft tijd nodig. De verwachte uitvoeringsduur is 3-5 jaar en kan waar nodig worden versnelt met zettingsversnellende maatregelen als (actieve) drainage.



Figuur 2-3: Globale fasering Buitenwaarts, nummering overeenkomstig de werkstappen. N.B.: dimensionering asverschuiving is niet op schaal

2.4 Profielbehoud

Onder Profielbehoud wordt een constructieve oplossing verstaan, zoals een stalen damwand of grondstabilisatie onderaan de bestaande berm. Om de N518 zoveel mogelijk open te houden, wordt er van uit gegaan dat dit vanaf het achterland gerealiseerd wordt.

Het alternatief Profielbehoud kan middels de volgende globale fasering worden gerealiseerd:

1. Voorbereiden en aanleg tijdelijke werkbaan.
 - De toplaag ter plaatse van de werkbaan wordt verwijderd.
 - Een tijdelijke werkbaan van zand wordt aangelegd, deze dient ook als opstelplaats voor de kraan. Bij de binnendijkse waterpartijen worden big bags gebruikt om de werkbaan op zijn plek te houden.
 - De gedempte teensloot wordt tijdelijk verder in het achterland teruggebracht, om de waterhuishouding in stand te houden.
2. Realiseren constructie.
 - De locatie wordt voorbereid, in geval van een damwand wordt een heisleuf gegraven.
 - De constructie wordt aangebracht. Tijdens het inhijzen van damwanden is vanuit veiligheidsoogpunt mogelijk een tijdelijke wegafsluiting nodig.
 - Na realiseren van de constructie wordt het maaiveld aangevuld en afgewerkt.
 - De tijdelijke werkbaan wordt afgegraven, de oorspronkelijke teensloot wordt hersteld en de tijdelijke teensloot wordt weer gedempt.

Aan de polderzijde van de huidige binnenberm liggen momenteel meerdere kabels en leidingen. De locatie van de constructie dient hierop te worden afgestemd. Indien de constructie in de kruin van de huidige berm moet worden gerealiseerd, zullen de kabels en leidingen verlegd moeten worden.

De wateroverspanningen in de ondergrond die optreden door de grondophoging voor de tijdelijke werkbaan moeten kunnen dissiperen. Dit consolideren van de ondergrond heeft tijd nodig. De verwachte productie van de constructie langs de dijk is circa 20 m/dag. De totale verwachte uitvoeringsduur is 1-3 jaar.



Figuur 2-4: Globale fasering Profielbehoud met damwand, nummering overeenkomstig de werkstappen. N.B.: dimensionering is niet op schaal



Figuur 2-5: Globale fasering Profielbehoud met grondstabilisatie, nummering overeenkomstig de werkstappen. N.B.: dimensionering is niet op schaal

2.5 Kruinverlaging

Bij het afgraven van de kruin tot een minimaal profiel kan in de meeste dijkvakken voldoende stabiliteit behaald worden. Voor dijkvak 8 is een aanvullende bermverbreding nodig van circa 3 m breed.

Om de waterveiligheid te waarborgen, zijn (tenminste) twee werkmethodes voor handen. De eerste optie is om gefaseerd te werken in werkvakken die weer opgevuld kunnen worden als zich een hoogwater dreigt voor te doen. Mogelijk kan hierbij ook alleen in het open seizoen gewerkt worden. De tweede optie is het maken van een tijdelijke waterkering vóór de daadwerkelijke waterkering, gelijkwaardig als bij alternatief Buitenwaarts is gehanteerd. In dat geval kan het hele jaar door gewerkt worden, maar is het tijdelijke ruimtebeslag groter.

Het alternatief Kruinverlaging kan middels de volgende globale fasering worden gerealiseerd. Hierbij wordt uitgegaan van de eerste optie, om de waterveiligheid te borgen middels gefaseerd werken.

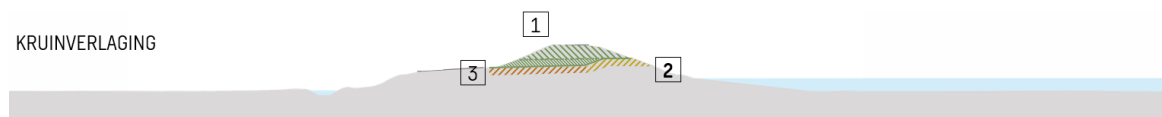
1. Afgraven (aftoppen) kruin tot minimaal vereiste hoogte.
 - Vanaf de aan- en afvoerlocatie(s) wordt de dijk afgegraven, inclusief het verwijderen van het fietspad. Door het aftoppen van de dijk tot de minimaal vereiste hoogte wordt een werkplateau gecreëerd, maar blijft de waterveiligheid nog gegarandeerd. Op een aantal locaties moeten keer- en passeervoorzieningen gerealiseerd worden.
2. Afgraven buitenzijde.
 - Vanaf het werkplateau wordt het buitenste deel van het huidige dijklichaam verder afgegraven om de erosiebestendige kleilaag (erosieklasse 1) aan te brengen ter plaatse van de nieuwe kruin. Ter plaatse van het buitentalud wordt eventueel verwijderde steenbekleding opnieuw aangebracht.
 - De erosiebestendigheid wordt geborgd door te werken in vakken.
3. Afgraven binnenzijde en afwerken.
 - Vanaf het werkplateau en met klein materieel vanaf de nieuwe kruin, wordt de binnenste helft verder afgegraven.
 - Waar nodig wordt de onderlaag vervangen door een kleilaag (minimaal erosieklasse 3), afhankelijk van het huidige kernmateriaal.
 - De dijk wordt afgewerkt en ingezaaid, waar nodig wordt het fietspad teruggebracht.
4. Voor dijkvak 8: aanbrengen bermverbreding .
 - Voorbereiden en aanleg tijdelijke werkbaan.
 - De toplaag ter plaatse van de werkbaan en toekomstige berm wordt verwijderd.
 - De ondergrond wordt gefreesd en voor een goede aanhechting op de bestaande berm wordt de berm ingekast.
 - Een tijdelijke werkbaan van zand wordt aangelegd. Deze is breder dan de uiteindelijke berm, om voldoende werkruimte te hebben. Bij de binnendijkse waterpartijen worden big bags gebruikt om de werkbaan op zijn plek te houden. Om de N518 te ontzien kan de werkbaan (waarvan het materiaal bij Vaargeul 8 gelost wordt) vanaf de erftoegangsweg Dijkeinde worden aangelegd, hiervoor is wel tijdelijk transport over de N518 nodig.
 - De gedempte teensloot wordt waar nodig verder in het achterland teruggebracht, om de waterhuishouding in stand te houden.

- Realiseren bermverbreding.
 - De bermverbreding wordt aangebracht, al dan niet met zettingscompensatie en/of andere uitvoeringsmaatregelen.
 - De berm wordt afgewerkt en ingezaaid.
 - Na de bermverbreding wordt het restant van de werkbaan afgegraven.
 - Tijdens het grondwerk kan door zettingen schade aan de N518 optreden, die tijdelijk hersteld zal moeten worden [2].
- De tijdelijke werkbaan wordt verwijderd, waarbij de nieuwe teenconstructie gerealiseerd wordt.
- Vernieuwen N518.
 - Als het merendeel van de zettingen heeft plaatsgevonden, wordt waar nodig de N518 langs dijkvak 8 hersteld door deze opnieuw te asfalteren. Mogelijk is ook herstel van de wegfundering nodig.

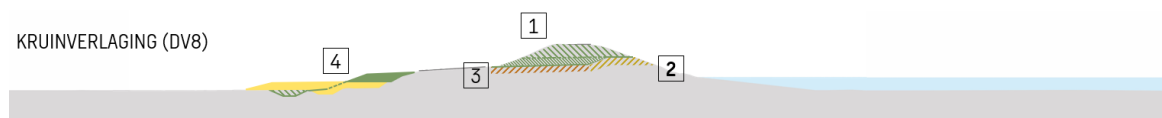
Aan de polderzijde van de huidige binnenberm liggen momenteel meerdere kabels en leidingen. De verwachte zettingen zijn hier bij de bermverbreding in dijkvak 8 te groot om deze te kunnen handhaven [2]. Deze zullen daarom ter hoogte van dijkvak 8 verlegd worden. Of deze terugkomen in de rand van de nieuwe berm of buiten het dijkprofiel komen te liggen, zal nader bepaald moeten worden.

Bij alternatief Kruinverlaging zal het fietspad op de kruin gedurende de realisatiefase niet aanwezig zijn. Om de bereikbaarheid van Marken per fiets te blijven garanderen zal een tijdelijke omleidingsroute (of andere oplossing) nodig zijn.

De wateroverspanningen in de ondergrond die optreden door de grondophoging in dijkvak 8 moeten kunnen dissiperen. Dit consolideren van de ondergrond heeft tijd nodig. De verwachte uitvoeringsduur is 1-3 jaar.



Figuur 2-6: Globale fasering Kruinverlaging, nummering overeenkomstig de werkstappen. N.B.: dimensionering is niet op schaal.



Figuur 2-7: Globale fasering Kruinverlaging met bermverbreding dijkvak 8, nummering overeenkomstig de werkstappen. N.B.: dimensionering is niet op schaal.

3 Referenties

- [1]. Nadere veiligheidsanalyse, Dijkversterking Monnickendam Zeedijk, NL23-648800269-42268, versie D2.0. Sweco Nederland B.V., 8 maart 2023.
- [2]. Technische ontwerpnota kansrijke alternatieven, Dijkversterking Monnickendam, NL23-648800269-55599. Sweco Nederland B.V., 24 augustus 2023.

- [3]. Notitie kansrijke alternatieven, Dijkversterking Monnickendam Zeedijk.
Sweco Nederland B.V., 1 september 2023.
- [4]. Navionics, Chart Viewer. <https://webapp.navionics.com/?lang=en#boating>
- [5]. Vaargeulen en loswallen, Alliantie Markermeerdijken.
<https://www.markermeerdijken.nl/vaargeulen-en-loswallen>

24-11-2023

Bijlage E: Ruimtebeslag kansrijke alternatieven



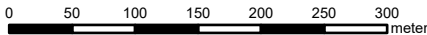
Kansrijk alternatief A: Binnenwaarts
Dijkversterking Monnickendam Zeedijk

Projectnummer: 51008416



Status: Definitief
Datum: 28-7-2023
Formaat: A3

Getekend: NN - Gecontroleerd: TR/MK



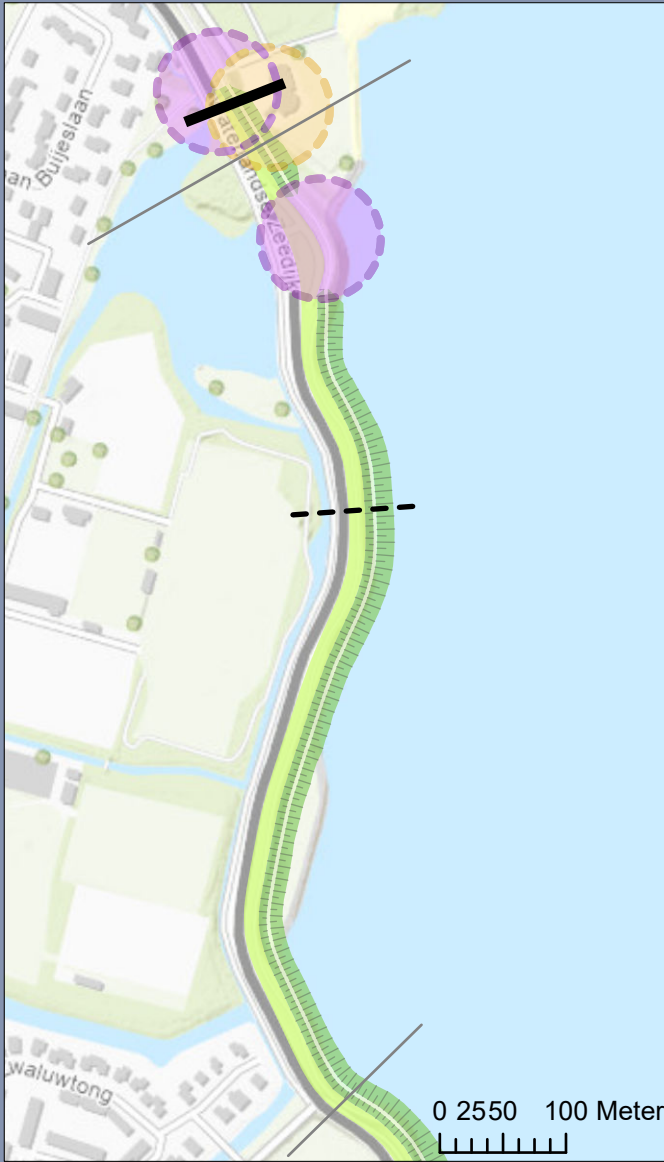
© Sweco Nederland B.V. Alle rechten voorbehouden



Legenda

- || Scope
- Dijkvakindeling
- - - Dwarsprofiel
- Inpassingslocatie
- Maatwerklocatie
- A: Binnenwaarts**
 - Binnenberm
 - Talud
 - Watergang
 - Talud watergang





Kansrijk alternatief B: Buitenwaarts

Dijkversterking Monnickendam Zeedijk

Projectnummer: 51008416

Status: Definitief
Datum: 28-7-2023
Formaat: A3

Getekend: NN - Gecontroleerd: TR/MK

© Sweco Nederland B.V. Alle rechten voorbehouden

SWECO

0 50 100 150 200 250 300 meter

N

Legenda

- Scope
- Dijkvakindeling
- Dwarsprofiel
- Inpassingslocatie
- Maatwerklocatie

B: Buitenwaarts

- Binnenberm
- Kruin
- Talud



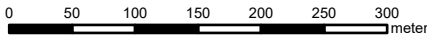


Kansrijk alternatief C: kruinverlaging
Dijkversterking Monnickendam Zeedijk

Projectnummer: 51008416

Status: Definitief
Datum: 21-12-2023
Formaat: A3

Getekend: NN - Gecontroleerd: TR/MK



© Sweco Nederland B.V. Alle rechten voorbehouden



Legenda

- || Scope
- Dijkvakindeling
- - - Dwarsprofiel

Kansrijk alternatief C: kruinverlaging

- Inpassingslocatie
- Maatwerklocatie
- Binnenberm
- Kruin
- Talud
- Sloot



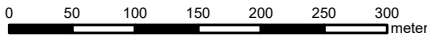


Kansrijk alternatief D: Profielbehoud
Dijkversterking Monnickendam Zeedijk

Projectnummer: 51008416

Status: Definitief
Datum: 18-12-2023
Formaat: A3

Getekend: NN - Gecontroleerd: TR/MK



© Sweco Nederland B.V. Alle rechten voorbehouden



Legenda

- | | Scope
- Dijkvakindeling
- - - Dwarsprofiel
- Inpassingslocatie
- Maatwerklocatie
- D: profielbehoud
- /// Constructiezone



Together with our clients
and the collective
knowledge of our 18,500
architects, engineers and
other specialists, we co-
create solutions that
address urbanisation,
capture the power of
digitalisation, and make our
societies more sustainable.

Sweco – Transforming
society together