



Rijkswaterstaat
Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat

MER Dijkversterking Marken

Deelrapport bodem en zettingen

Datum	15 januari 2019
Status	Definitief

Colofon	
Uitgegeven door	RWS
Informatie	
Telefoon	
Fax	
Uitgevoerd door	Sweco
Opmaak	
Zaaknummer RWS	31120987
Projectnr. Sweco	353490
Documentnr. Sweco	SWNL0220445
Opmaak	
Datum	15 januari 2019
Status	Definitief
Versienummer	D2.2

Inhoud

Samenvatting 5

1 Inleiding 10

- 1.1 Dijkversterking Marken 10
- 1.2 De Planuitwerkingsfase 13
- 1.3 Doel van dit rapport 13
- 1.4 Leeswijzer 14

2 Kader en uitgangspunten 15

- 2.1 Wettelijk kader en beleidskader 15

3 Ontwerp 19

- 3.1 Algemeen 19
- 3.2 Profiel van de kade 19
 - 3.2.1 Algemeen 19
- 3.3 De Zuidkade 20
- 3.4 De Westkade 22
- 3.5 Knikken in de kades 23
- 3.6 Ontwerp van de specials 23
 - 3.6.1 Rozewerf 23
 - 3.6.2 Omgeving Vuurtoren 25
 - 3.6.3 De Haven 26
 - 3.6.4 Aansluiting Bukdijk 30
- 3.7 Meest milieuvriendelijk Alternatief 31

4 Huidige situatie en autonome ontwikkeling 32

- 4.1 Huidige situatie 32
 - 4.1.1 Bodemopbouw 32
 - 4.1.2 Geohydrologisch onderzoek 36
 - 4.1.3 Bodemkwaliteit 41
 - 4.1.4 Waterbodemkwaliteit 41
 - 4.1.5 Bodemdaling en zetting 41
- 4.2 Autonome ontwikkeling 41

5 Effecten 43

- 5.1 Beoordelingscriteria 43
- 5.2 Uitvoeringsmethode 44
- 5.3 Bodemkwaliteit 45
- 5.4 Geohydrologie 46
- 5.5 Zetting 51
- 5.6 Hoeveelheid grondverzet 53

6 Beoordeling en conclusies 56

- 6.1 Bodemkwaliteit 56
- 6.2 Geohydrologie 56
- 6.3 Zettingen 56
- 6.4 Hoeveelheid grondverzet 57
- 6.5 Conclusie 57

Begrippenlijst 58

Literatuur 59

Bijlagen 60

Samenvatting

Algemeen

De waterveiligheid op Marken voldoet niet aan de huidige waterveiligheidseisen. De Westkade en de Zuidkade kennen stabiliteitsproblemen. Daarnaast is de kering op een aantal plaatsen te laag en is de steenbekleding op veel plaatsen van onvoldoende kwaliteit.



Figuur S.1 De dijken rond Marken

Om de problemen aan te pakken is sinds 2008 gewerkt aan de dijkversterking. Het daaruit volgende dijkversterkingsplan (2012) kon op weinig draagvlak rekenen, vanwege het binnenwaartse ruimtebeslag en de effecten op het landschap en de cultuurhistorische waarde. Daarnaast bleken de kosten van het plan hoog. Om die reden is in 2013 een pilot gestart naar de mogelijkheden van meerlaagse veiligheid. Bij meerlaagse veiligheid (MLV) wordt naast preventie van overstromingen d.m.v. de dijk (laag 1) ook gekeken naar mogelijke maatregelen in de ruimtelijke ordening (laag 2) en rampenbeheersing (laag 3). Op basis van het in 2014 verrichte MIRT-onderzoek is geconcludeerd dat voor Marken op de korte tot middellange termijn alleen met behulp van maatregelen in de eerste laag aantoonbaar en kosteneffectief kan worden voldaan aan basisveiligheid. Vervolgens zijn in de Verkenningfase de kansrijke alternatieven voor de dijkversterking uitgewerkt, zoals die uit het MIRT-onderzoek naar voren zijn gekomen. Het besluit over het Voorkeursalternatief van de dijkversterking (juli 2016) vormt de basis voor de Planuitwerkingsfase. Het voorkeursalternatief voor de Zuid- en de Westkade behelst:

- een dijkversterking in buitenwaartse richting;
- een dijkversterking voor een planperiode van 50 jaar;
- een dijkversterking passend bij de ruimtelijke kwaliteit van Marken.

In de variantenstudie voor de Zuid- en Westkade zijn diverse alternatieven afgewogen, waaronder de toepassing van zand-/grindkolommen als grondverbetering (beperking zettingen en verhoging stabiliteit) of stabiliteitsdamwand (beperking dimensies dijkversterking). Op basis van de resultaten van de variantenstudie is geconcludeerd dat de grondconstructies (variant Compact en Zandcunet) nog steeds de voorkeursvarianten zijn voor de Zuid- en Westkade.

Het deelrapport Bodem en zettingen

Dit deelrapport Bodem en Zettingen is een deelrapport bij het MER dat in de planuitwerkingsfase is opgesteld. In dit deelrapport zijn de uitgevoerde geotechnische onderzoeken beschreven en zijn de resultaten samengevat. Daarnaast wordt in het kader van het milieueffectrapport (MER) ook gekeken naar de effecten op de bodemkwaliteit, geohydrologische gevolgen en de hoeveelheid grondverzet.

De alternatieven

In het kader van het MER zijn de volgende alternatieven uitgewerkt:

- verbreding Westkade buitenwaarts met zo min mogelijk ruimtebeslag (max 25 meter);
- verbreding Zuidkade buitenwaarts met zo min mogelijk ruimtebeslag (circa 30 meter);
- verbreding Zuidkade buitenwaarts met een maximaal ruimtebeslag (maximaal 50 meter).

De aangegeven verbreding van de Westkade kan worden gecombineerd met één van beide varianten voor de Zuidkade. Daarnaast zijn er specifieke ontwerpen gemaakt voor de hoekpunten van eiland, voor de haven en voor de Rozewerf (zie figuur S.2)



Figuur S.2 Locaties waarvoor specifieke ontwerpen zijn gemaakt

In de figuren S.3 en S.4 zijn de combinaties west/zuid compact en west/zuid(maximaal) opgenomen.



Figuur S.3 Versterking Westkade en Zuidkade Compact



Figuur S.4 Versterking Westkade Compact en Zuidkade maximaal

Effecten

Bodemkwaliteit

Binnen het plangebied zijn aan de Zuidkade en de Westkade voor hoever bekend geen (potentieel) ernstige of spoedeisende bodemverontreinigingen aanwezig. Er treedt daarom geen effect op de bodemkwaliteit op (effectbeoordeling: 0).

In de variant Zandcunet voor de Zuidkade treedt een wijziging in de grondpakketten plaats, door het afgraven van veen en de toplaag van de waterbodem. Vooralsnog wordt er vanuit gegaan dat ook dit op de bodemkwaliteit geen effect heeft.

Geohydrologie

De huidige geohydrologische situatie is uitgangspunt geweest om een veilige ontwerp te kunnen maken voor de nieuwe dijk. Alle varianten voldoen hieraan. Er is dan ook geen onderscheid en geen effect voor de varianten.

Zettingen

In de variant Compact voor de Zuidkade wordt de dijk buitenwaarts verplaatst richting tot dusver minder belaste ondergrond. Er vindt in deze variant geen grondverbetering plaats, wel toepassing van verticale drainage. De restzetting van deze variant is daardoor enigszins hoger circa 0,10 m, maar voldoet nog ruim aan de gestelde restzettingseis van 0,30 m. De onzekerheid over het behalen van de restzettingseis binnen de uitvoeringstijd van 2 jaar is groter en dit is beschouwd als een negatief effect.

In de variant Zandcunet voor de Zuidkade vindt eerst grondverbetering plaats door voor verplaatsing van de dijk eerst een veenlaag af te graven en te vervangen door een Zandcunet. Voor deze variant wordt een minimale restzetting verwacht van minder dan 0,05 m. Dit is een beperkte restzetting en wordt daarom beschouwd als een neutraal effect.

Aan de Westkade wordt een restzetting tussen 0,1 en 0,2 m verwacht. De restzetting voldoet aan de gestelde restzettingseis van 0,30 m. Gezien de onzekerheid over het behalen van de restzettingseis binnen de uitvoeringstijd van 2 jaar is dit beschouwd als een negatief effect.

Hoeveelheid grondverzet

De dijkversterkingopgave geldt voor de Zuidkade en de Westkade. In het geval van de Zuidkade variant Zandcunet samen met de versterking van de Westkade zal ca. 738.100 m³ grond (zand, klei, teelaarde) aangevoerd worden. Daarnaast zal ca. 205.100 m³ veen aan de zuidzijde afgegraven worden, dat uit de waterbodem wordt weggehaald ten behoeve van de toepassing van grondverbetering. Veen bevat echter veel vocht, dus wanneer dit uit de waterbodem wordt uitgegraven, zal het vocht verliezen en zal de daadwerkelijk af te voeren hoeveelheid kleiner zijn. Ook wordt ca. 31.400 m³ klei afgevoerd. Gezien de hoeveelheden af te voeren en aan te voeren grond scoort dit zeer negatief.

1 Inleiding

1.1 Dijkversterking Marken

Het eiland Marken

Marken is een voormalig eiland in de voormalige Zuiderzee. Sinds 1957 is het met een dijk verbonden met Monnickendam. Marken ligt tegenwoordig in het Markermeer en valt onder de gemeente Waterland. Marken kent ca 1800 inwoners. De totale dijk van Marken heeft een lengte van 8,56 kilometer; onderverdeeld in 3,33 km Zuidkade, 1,85 km Westkade (excl. Haven) en 3,38 km Noordkade. Het eiland zelf is circa 250 hectare groot.



Figuur 1.1 Plattegrond Marken

Marken is een bijzondere plek. Hoewel verbonden met de vaste wal ademt het nog steeds de sfeer van een eiland. Overal ervaar je het water. De historie van het leven met het water zie je terug in de woningen op de terpen en de paalwoningen. Marken is dan ook een beschermd dorpsgezicht van grote landschappelijke en cultuurhistorische waarde. Er zijn vele rijks- en gemeentelijke monumenten. Het eiland ontvangt jaarlijks bijna een half miljoen toeristen.



Figuur 1.2 Parels van Marken: de monumenten

Ook de fysieke omstandigheden maken van de dijkversterking op Marken een bijzonder project. Marken ligt op een ondergrond van veen en kleilagen. Dit leidt ertoe dat door zettingen de bestaande dijken continue langzaam maar zeker wegzakken in het veen. En dat bij een ophoging versnelde zettingen tot risico's voor de stabiliteit van de dijk kunnen leiden.

De bijzondere kwaliteiten en omstandigheden hebben een belangrijke invloed gehad op de planvorming voor de dijkversterking op Marken.



Figuur 1.3 Parels van Marken: de haven

Waterveiligheid op Marken

De waterveiligheid op Marken voldoet niet aan de huidige waterveiligheidseisen. Grote delen van de dijk kennen stabiliteitsproblemen. Daarnaast is de kering op een aantal plaatsen te laag en is de steenbekleding op veel plaatsen van onvoldoende kwaliteit. Om de problemen aan te pakken is sinds 2008 gewerkt aan de dijkversterking. Het daaruit volgende dijkversterkingsplan (2012) kon op weinig draagvlak rekenen, vanwege het ruimtebeslag en de effecten op het landschap en de cultuurhistorische waarde. Daarnaast bleken de kosten van het plan hoog.

Om die reden is in 2013 een pilot gestart naar de mogelijkheden van meerlaagse veiligheid. Bij het concept meerlaagse veiligheid (MLV) wordt naast preventie van overstromingen d.m.v. de dijk (laag 1) ook gekeken naar mogelijke maatregelen in de ruimtelijke ordening (laag 2) en rampenbeheersing (laag 3). Op basis van het in 2014 verrichte MIRT-onderzoek is geconcludeerd dat voor Marken op de korte tot middellange termijn alleen met behulp van maatregelen in de eerste laag aantoonbaar en kosteneffectief kan worden voldaan aan de basisveiligheid.

MIRT-Verkenning

Vervolgens is een MIRT-Verkenning opgestart om oplossingen voor laag 1 nader uit te werken. De MIRT-Verkenning betreft de omringkade rond Marken. De Verkenning richt zich op het uitwerken van oplossingen middels dijkversterking. De centrale ambitie in deze fase is het vinden van oplossingen die passen bij de fysieke kenmerken (dijken op veen; veel zettingsproblematiek) en de ruimtelijke omgeving (cultuurhistorie; beschermd dorpsgezicht) van Marken. Derhalve is in deze fase voor een Verkenning relatief veel aandacht besteed aan het ontwikkelen van uitvoeringsmethoden die rekening houden met de zettingsgevoeligheid van de ondergrond. Daarnaast heeft de ruimtelijke kwaliteit bijzondere aandacht gekregen door het opstellen van een specifiek Kader Ruimtelijke Kwaliteit, naast een meer generiek beoordelingskader.



Figuur 1.4 Parels van Marken: de vuurtoren

De Verkenning heeft geleid tot het vaststellen van een Voorkeursalternatief: een buitenwaartse versterking voor een planperiode van 50 jaar. In de variantenstudie voor de Zuid- en Westkade zijn diverse alternatieven afgewogen, waaronder de

toepassing van zand-/grindkolommen als grondverbetering (beperking zettingen en verhoging stabiliteit) of stabiliteitsdamwand (beperking dimensies dijkversterking). Op basis van de resultaten van de variantenstudie is geconcludeerd dat de grondconstructies (variant Compact en Zandcunet) nog steeds de voorkeursvarianten zijn voor de Zuid- en Westkade.

Dit voorkeursalternatief is vervolgens uitgewerkt in de Planuitwerkingsfase. De waterveiligheid op Marken voldoet niet aan de huidige waterveiligheidseisen. Grote delen van de dijk kennen stabiliteitsproblemen. Daarnaast is de kering op een aantal plaatsen te laag en is de steenbekleding op veel plaatsen van onvoldoende kwaliteit. Rijkswaterstaat is voornemens de Omringkade van het voormalige eiland Marken te versterken. De versterking zal plaatsvinden aan de Zuid- en Westkade van de Omringkade. De graafwerkzaamheden die hiermee gepaard gaan, kunnen leiden tot verstoring van het bodemarchief.

1.2

De Planuitwerkingsfase

De Planuitwerkingsfase volgt op de Verkenning. In de Planuitwerkingsfase wordt het op Voorkeursalternatief dat op basis van de Verkenning is vastgesteld verder uitgewerkt. Deze uitwerking kent twee doelen:

1. het voorbereiden en nemen van formeel juridische besluiten om de activiteit mogelijk te maken, in dit geval de vaststelling van een Projectplan Waterwet, diverse vergunningen en het opstellen van een milieueffectrapport (MER) ter ondersteuning van de besluitvorming;
2. het voorbereiden van een realisatiecontract.

Deze uitwerking vindt plaats binnen de bredere doelstelling van het project Dijkversterking Marken: het borgen van de waterveiligheid op Marken met in acht neming van en het handhaven van de hoge ruimtelijke en natuurlijke kwaliteit op en rond Marken en met handhaving van het draagvlak onder de bevolking en onder betrokken overheden.

De ambitie van het project in de realisatiefase is daarmee de volgende

- Een dijkversterking die samen met de bewoners en belanghebbenden wordt voorbereid zodat er draagvlak is voor de oplossing;
- Een veilige en duurzame oplossing, die past bij de kenmerken van de fysieke ondergrond en bijdraagt aan een duurzame leefomgeving;
- Een oplossing die past bij de ruimtelijke kwaliteiten van Marken of ze versterkt;
- Het toevoegen van waarde aan de dijkversterking door meekoppelkansen te verzilveren.

1.3

Doel van dit rapport

Als gevolg van de dijkversterking zullen de dijken hoger worden en enkele tientallen meters verschuiven. Dit kan verschillende effecten met zich meebrengen voor de bodem, zoals zetting van de ondergrond. Om de kans op zetting in beeld te brengen is een geotechnisch onderzoek uitgevoerd. In dit rapport zijn de uitgevoerde onderzoeken beschreven en zijn de resultaten samengevat. Daarnaast wordt in het kader van het milieueffectrapport (MER) ook gekeken naar de effecten op de bodemkwaliteit, geohydrologische gevolgen en de hoeveelheid grondverzet. Middels dit deelrapport wordt de input voor de effectbeoordeling voor deze aspecten in het MER geleverd.

1.4

Leeswijzer

In hoofdstuk 2 wordt het wettelijk kader en het beleidskader beschreven. Hoofdstuk 3 geeft een beschrijving van de te onderzoeken varianten voor Zuidkade en de Westkade. De referentiesituatie (huidige situatie en autonome ontwikkeling) van het plangebied wordt beschreven in hoofdstuk 4. Hier wordt ingegaan op de aspecten bodemopbouw, geohydrologie, (water)bodemkwaliteit) en zetting. Vervolgens worden in hoofdstuk 5 de effecten beschreven van de varianten ten opzichte van de referentiesituatie. Deze effecten worden in hoofdstuk 6 beoordeeld.

2 Kader en uitgangspunten

2.1 Wettelijk kader en beleidskader

In de navolgende tabel zijn de meest relevante wettelijke en beleidsmatige kaders opgenomen met betrekking tot het aspect bodem. Na de tabel volgt een toelichting.

Tabel 2.1 *Wettelijk kader en beleidskader dijkversterking Marken, aspect bodem*

Wettelijk kader en beleidskader	Inhoud
<i>Nationaal</i>	
Wet bodembescherming (Wbb)	De Wbb is bepalend voor benodigde vervolgacties (bepalen noodzaak en zo ja, invulling daarvan) met betrekking tot eventuele aanwezige bodemverontreinigingen.
Besluit Bodemkwaliteit	De wet- en regelgeving voor het ontgraven en toepassen van grond en baggerspecie is geregeld in het Besluit bodemkwaliteit.
Waterwet	Sinds 22 december 2009 maken waterbodems deel uit van de waterwet. Sindsdien is saneren van waterbodems gerelateerd aan het functioneren of verbeteren van het watersysteem en de gebieds-kwaliteit. Voor de dijkversterking Marken is dit relevant in verband met de vrijkomende baggerspecie.
Convenant Bodem en Ondergrond 2016-2020	Rijk, provincies, gemeenten, waterschappen en het bedrijfsleven hebben in dit convenant afspraken gemaakt over de invulling van sanerings- en transitieopgave. Door dit convenant kan sanering van spoedlocaties als autonome ontwikkeling worden beschouwd.
<i>Provinciaal</i>	
Verkenning ondergrondvisie Noord-Holland	Biedt informatie en een visie over de ondergrond in de provincie Noord-Holland.
Milieubeleidsplan 2015 – 2018	Middels dit plan wil de provincie de basiskwaliteit van de bodem borgen. Inzet is duurzaam bodembeheer en het saneren van vervuilde locaties met als doel om de bodem nu en in de toekomst duurzaam, gezond en veilig te kunnen gebruiken.
Provinciaal uitvoeringsprogramma Bodemconvenant (PUB) 2016 - 2020	Geeft op programmatische wijze invulling aan de opgaven die voortkomen uit het landelijke 'Convenant Bodem en Ondergrond 2016-2020'
<i>Gemeentelijk</i>	
Nota bodembeheer Regio Waterland	In deze nota bodembeheer is het te voeren gemeentelijke grond- en baggerstromenbeleid weergegeven en zijn regels en procedures voor dit beleid geformuleerd.

Wet bodembescherming (Wbb)

De Wet bodembescherming (Wbb) is geschreven met het oogmerk de bodem te beschermen. In de Wbb is een regeling opgenomen voor ernstig verontreinigde bodems. Op grond van de Wbb is grondverzet ter plaatse van ernstig verontreinigde locaties alleen toegestaan als hiervoor een melding ingevolge artikel 28 of een melding ingevolge het Besluit uniforme saneringen wordt verricht aan het bevoegd gezag.

Ook geldt als voorwaarde dat wanneer sprake is van een ernstige bodemverontreiniging het grondverzet moet passen binnen een van te voren opgesteld en door het bevoegd gezag goedgekeurd (raam)saneringsplan. Daarom moet voorafgaand aan het grondverzet worden geverifieerd of de leverende en/of de ontvangende bodem ernstig verontreinigd is.

Nadat het saneringsresultaat is behaald, mag weer grond op deze locatie nuttig worden toegepast. Daarbij moet worden nagegaan of dit niet in strijd is met de opgelegde gebruiksbeperkingen en/of nazorgverplichtingen. De wet heeft alleen betrekking op landbodems. Waterbodems vallen onder de Waterwet.

Besluit bodemkwaliteit

In het Besluit bodemkwaliteit wordt voor grond en landbodem onderscheid gemaakt in vier kwaliteitsklassen (van schoon naar vies): vrij toepasbaar, klasse wonen, klasse industrie en niet toepasbaar. Voor baggerspecie en waterbodem wordt onderscheid gemaakt in: vrij toepasbaar, klasse A, klasse B en niet toepasbaar. Voor de indeling van een partij toe te passen grond/baggerspecie of de ontvangende bodem in een bepaalde klasse moeten de rekenkundige gemiddelden van alle stoffen voldoen aan de maximale waarden die horen bij de klassegrens.

Het Besluit bodemkwaliteit stelt ook producteisen aan de samenstellings- en emissiewaarden van steenachtige bouwstoffen (niet zijnde grond en baggerspecie). Bouwstoffen mogen worden toegepast in nuttige werken, zoals gebouwen, wegen en bruggen. Bouwstoffen moeten voldoen aan maximale emissiewaarden en samenstellingswaarden. Voldoen ze daar aan dan mogen ze gewoon in de bodem worden toegepast. Voldoet de bouwstof niet aan deze waarden, dan is er sprake van een afvalstof. Door breken, zeven, scheiden of reinigen kan een deel van deze 'afvalstof' mogelijk alsnog voldoen aan de waarden die aan bouwstoffen worden gesteld.

Waterwet

Tot 2009 viel de bescherming van waterbodems onder de Wet bodembescherming. Sinds de inwerkingtreding van de Waterwet valt deze bescherming onder de Waterwet. Onder de Waterwet is de waterbodem onderdeel van het watersysteem. Een verontreinigde waterbodem kan worden aangepakt om de waterkwaliteit te verbeteren en daarmee het functioneren van het watersysteem en de gebiedskwaliteit te verbeteren. De Waterwet kent geen saneringsplicht voor verontreinigde waterbodems. Een ingreep in de waterbodem mag er niet toe leiden dat de toestandsklasse van het waterlichaam (conform de Kaderrichtlijn water (KRW)) achteruit gaat. Voor het project dijkversterking Marken is langs het gehele dijktraject sprake van ingrepen in de waterbodem door het buitenwaarts verschuiven van de dijken.

Bodemconvenant bodemontwikkelingsbeleid

Op 10 juli 2009 is het 'Convenant Bodemontwikkelingsbeleid en aanpak spoedlocaties' ondertekend. Een belangrijke afspraak uit het bodemconvenant is dat de bevoegde overheden de spoedlocaties in 2015 hebben gesaneerd of tenminste de risico's hebben beheerst. Spoedlocaties zijn verontreinigde locaties waarbij in de huidige situatie sprake is van onaanvaardbare risico's voor de mens, het grondwater en/of ecosystemen. Dit beleid is bestendigd met het ondertekenen van een nieuw, tweede convenant op 17 maart 2015: het Convenant Bodem en Ondergrond 2016-2020. De provincie Noord-Holland heeft Provinciaal uitvoeringsprogramma Bodemconvenant 2016 – 2020 invulling gegeven aan het convenant.

Verkenning ondergrondvisie Noord-Holland

De eigenschappen van de bodem en ondergrond bepalen of een plek geschikt is voor bijvoorbeeld woningbouw of de aanleg van een waterberging. De provincie kijkt daarom bij het opstellen van ruimtelijke plannen altijd naar de samenstelling van de bodem. De uitgangspunten van het provinciale beleid zijn te vinden in de Verkenning ondergrondvisie Noord-Holland.

Milieubeleidsplan 2015 – 2018

Het voorkomen van aantasting van de bodemkwaliteit door duurzaam bodembeheer en het saneren van vervuilde locaties met als doel om de bodem nu en in de toekomst duurzaam, gezond en veilig te kunnen gebruiken.

De bodem is onderdeel van belangrijke natuurlijke kringlopen voor water en voedingsstoffen. Activiteiten in en op de bodem kunnen vervuiling veroorzaken en hiermee de kwaliteit van de bodem aantasten. De basis voor het provinciaal bodembeleid ligt bij de Wet bodembescherming (Wbb).

De afgelopen jaren lag het accent bij de bodemsanering op het saneren van humane spoedlocaties. De komende jaren zullen verspreidings- en ecologische risico's de meeste aandacht vragen. De provincie heeft met name bij de aanpak van gemeentegrensoverschrijdende grondwater-verontreinigingen een regisserende rol.

Provinciaal uitvoeringsprogramma Bodemconvenant (PUB) 2016 – 2020

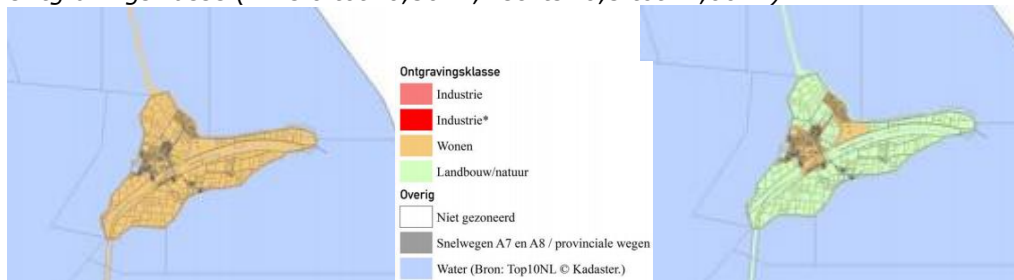
Het PUB geeft op programmatische wijze invulling aan de opgaven die voortkomen uit het landelijke 'Convenant Bodem en Ondergrond 2016-2020'. Onder het eerdere uitvoeringsprogramma (2010 – 2015) zijn alle spoedeisende verontreinigingen met humane risico's gesaneerd of zijn er maatregelen genomen waarmee de situatie wordt beheerst. Daarnaast zijn flinke stappen gezet met betrekking tot de andere convenantdoelen, zoals de aanpak van locaties met verspreidings- of ecologische risico's en het opzetten en uitvoeren van een gebiedsgerichte aanpak van grondwaterverontreiniging. In de periode 2016-2020 zullen de resterende locaties – dat wil zeggen: humane spoedlocaties met een thans beheerst restrisico én spoedlocaties met verspreidings- of ecologische risico's – alsnog worden aangepakt.

Nota bodembeheer Regio Waterland

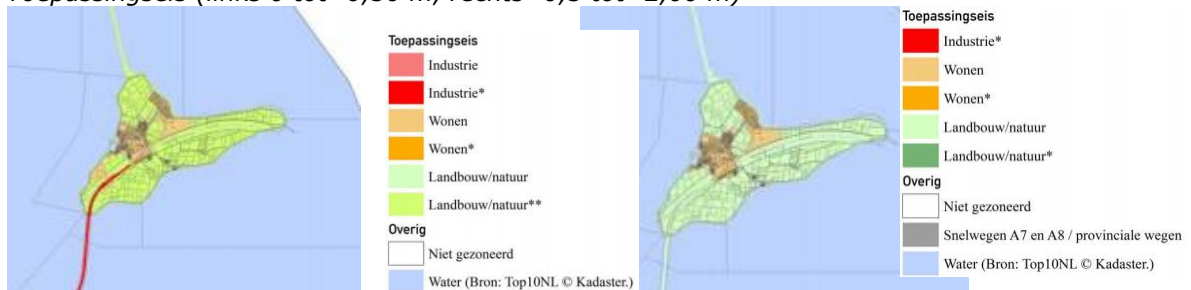
De gemeente volgt het landelijke, generieke kader van het Besluit bodemkwaliteit. Op een aantal aspecten wijkt de gemeente echter af van dit generieke kader en heeft zij gebiedsspecifiek beleid opgesteld. Het gebiedsspecifiek beleid is opgesteld binnen de mogelijkheden van het Besluit bodemkwaliteit. De nota bodembeheer gaat over het hergebruiksbeleid voor grond en baggerspecie op het grondgebied van de gemeenten. Het dijktraject valt grotendeels binnen de bodemkwaliteitszone 'Buitengebied overig'. Alleen ter hoogte van de kern Marken geldt

bodemkwaliteitszone 'Wonen A'. De ontgravingsklasse voor heel het eiland Marken is voor de eerste 50 cm onder maaiveld 'Wonen'. Dieper (-0,50 – 2,00 m) geldt buiten de kern Marken de klasse 'Landbouw/natuur'. Als toepassingseis geldt voor het buitengebied 'Landbouw/natuur', met voor de eerste 50 cm onder maaiveld de kanttekening ** (lokaal maximale waarden voor verspreiding van baggerspecie). De kern Marken en drie percelen aan de zuidwestzijde van het eiland geldt de eis wonen voor de eerste 50 cm. Deze eis geldt ook tot 2 m voor de kern Marken.

Ontgravingsklasse (links 0 tot -0,50 m, rechts -0,5 tot -2,00 m)



Toepassingseis (links 0 tot -0,50 m, rechts -0,5 tot -2,00 m)



3 Ontwerp

3.1 Algemeen

Het ontwerp van de dijkversterking is gebaseerd op een groot aantal kaders en uitgangspunten. De technische uitgangspunten zijn beschreven in de rapportage "Ontwerpnota Dijkversterking Marken " [2018], het Kader Technische Uitgangspunten [2017] en de Notitie Restzettingseis [2017].

Uitgangspunten ten aanzien van de ruimtelijke inpassing en ruimtelijke kwaliteit zijn opgenomen in het Kader Ruimtelijke Kwaliteit [2016, vastgesteld door de gemeenteraad van Waterland] en de Notitie Ruimtelijke Ontwerpcriteria [2018].

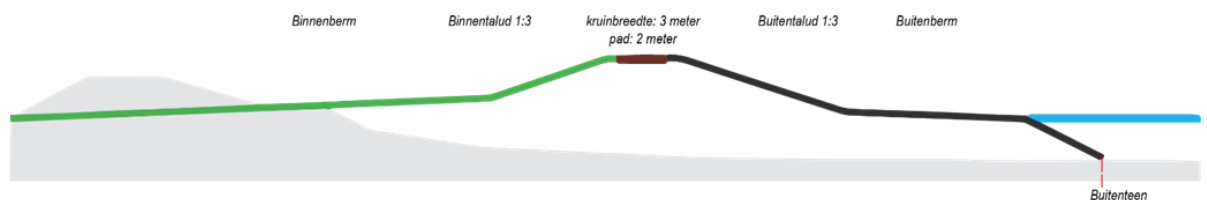
Aanvullend hebben eisen en wensen van belanghebbenden invloed op het ontwerp van de dijkversterking. Het gaat dan onder meer om eisen van het waterschap HHNK als toekomstig beheerder ten aanzien van beheer en onderhoud van de kade, om eisen van bewoners ten aanzien van hun eigendommen en woon -en leefmilieu en om eisen en wensen van andere overheden (provincie, gemeente, waterschap) voor het realiseren van meekoppelkansen op het gebied van natuur, recreatie en waterhuishouding.

De voor het ontwerp en de effecten bepalende elementen uit deze kaders zijn samengevat in het MER en in het Projectplan Waterwet.

3.2 Profiel van de kade

3.2.1 Algemeen

De combinatie van eisen vanuit waterveiligheid, beheer en ruimtelijke kwaliteit leidt tot een principeprofiel dat voor de gehele West- en Zuidkade identiek is. Dit profiel is aangegeven in figuur 3.1.



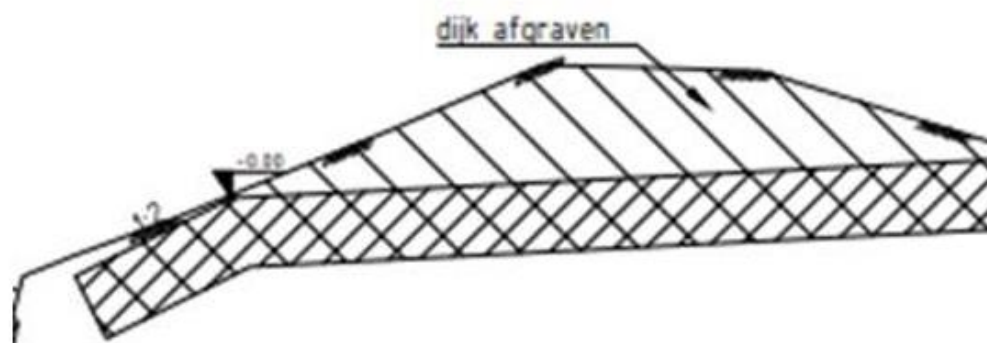
Figuur 3.1 Principeprofiel van de nieuwe kade

De kern van de dijk is van zand, afgedekt met een kleilaag. Deze kern is een slanke kade met een binnen- en een buitentalud met een helling van 1:3, een smalle kruin van 3 meter breed en daarop een wandelpad (fietsers toegestaan) van 2 meter breed. Op basis van het Kader Ruimtelijke Kwaliteit is het buitentalud van zetsteen (met zoveel mogelijk hergebruik van het basalt in de bestaande kade) en is het binnentalud bekleed met (bloemrijk) gras.

Het talud van 1:3 komt voort uit een combinatie van de eisen vanuit de ruimtelijke kwaliteit (steile, smalle dijk) en de beheerder (een beheerbaar talud). Ook de kruinbreedte van 3 m komt voort uit de gewenste ruimtelijke kwaliteit (smalle dijk) en de wens van de toekomstig beheerder (kruin minimaal 3 meter breed). De breedte van het pad op de kruin (2 meter) is gebaseerd op de wensen om de mogelijkheden om veilig te wandelen te vergroten maar niet het beeld van een echt fietspad te maken. Het pad wordt daarom in klinkers uitgevoerd.

Uit de huidige ontwerpberekeningen blijkt dat de binnenberm en de buitenberm noodzakelijk zijn om de stabiliteit van de dijk te borgen. Op specifieke locaties waar geen ruimte is voor de binnenberm kan het stabiliteitstekort met een technische constructie (bijvoorbeeld een damwand) worden beperkt. Dit beperkt het ruimtebeslag.

Bij/na de aanleg van de nieuwe kade wordt de bestaande kade verwijderd. Daarbij wordt afgegraven tot 80 cm onder het maaiveld van de nieuwe binnenberm. Vervolgens wordt dit weer aangevuld met een kleilaag ten behoeve van voldoende stabiliteit van de binnenberm.



Figuur 3.2 Verwijderen van de bestaande kade

Materiaal van de bestaande kade wordt zo veel mogelijk hergebruikt in de nieuwe kade.

3.3

De Zuidkade

Bij de Zuidkade is op basis van het Voorkeursalternatief sprake van een buitenwaartse versterking. De wijze waarop deze versterking wordt gerealiseerd wordt binnen een aantal randvoorwaarden nog nader uitgewerkt.

Ten behoeve van een analyse van kosten en effecten zijn twee uitvoeringsvarianten uitgewerkt. Op basis van de nadere uitwerking van het ontwerp voorafgaand aan de realisatie kan blijken dat de uiteindelijke wijze van aanleg overeenkomt met één van deze varianten, of dat een andere aanpak is gekozen. Een eventuele andere aanpak moet wel passen binnen het maximale ruimtebeslag en de overige maximale effecten van de in dit MER en in het Projectplan Waterwet beschreven varianten.

De in deze en de volgende paragrafen aangegeven hoogtes betreffen ontwerphoogtes. Dit is de hoogte die de dijk aan het eind van de planperiode van 50 jaar moet hebben. Direct na de aanleg zal de dijk hoger zijn. In de daaropvolgende jaren treden nog zettingen op. De maximale zetting die mag optreden is bepaald op 30 cm. Dit leidt ertoe dat de dijk na aanleg maximaal 30 cm hoger mag zijn dan de hier aangegeven ontwerphoogtes.

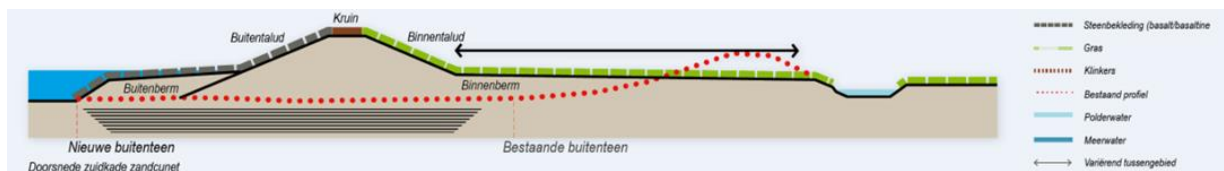
De geanalyseerde uitvoeringsvarianten zijn:

- variant Zandcunet;
- Variant Compact.

In de uitvoeringsvariant **Zandcunet** (in Verkenningrapport LCV1) is de nieuwe kade gebouwd op een fundament van zand. Hiervoor wordt de bestaande veenlaag in het Markermeer weggebaggerd en vervangen door zand.

Deze aanlegwijze is conform de aanleg van de Verbindingsdijk naar Marken.

Het vervangen van veen door zand beperkt het risico op (onregelmatige) zettingen door het verwijderen van de meest samendrukbare grondlagen.



Figuur 3.3 Dwarsprofiel Zuidkade, uitvoeringsmethode Zandcunet (maximaal profiel)

Bij dit profiel horen de volgende dimensies:

Kruinhoogte: 2,37 m

Veiligheidszone aanlegfase: 15 m

Binnenberm: boven veiligheidszone

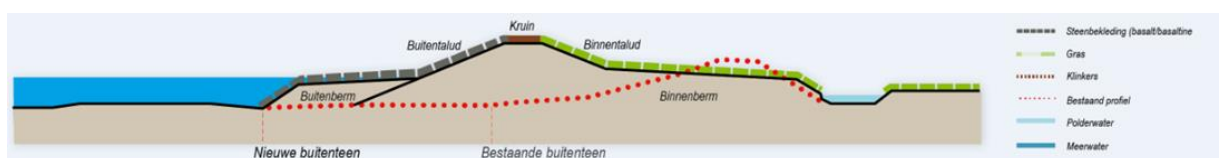
Talud/kruin/talud: 17 m

Verschuiving buitenteen tov huidig: 35 m

Buitenberm: 13 m

In het dwarsprofiel is een veiligheidszone van 15 meter opgenomen om te voorkomen dat gedurende het baggeren van de veenlaag de bestaande kade wegzakt. In een nadere uitwerking van deze uitvoeringswijze is deze afstand mogelijk te verkleinen. Er is dus sprake van een maximale afstand vanaf de huidige kade.

In de uitvoeringsvariant **Compact** (in Verkenningrapport LCV2) wordt de veenlaag niet verwijderd en is de nieuwe kade zo dicht mogelijk tegen de bestaande kade aangelegd. Bepalend voor de ligging is de minimale breedte van de binnenberm, die aansluit op de bestaande teensloot. Met specifieke uitvoeringmethoden wordt de restzetting beperkt tot de vastgelegde maximale restzetting van 30 cm. In het deelrapport bodem en zettingen is hier nader op ingegaan.



Figuur 3.4 Dwarsprofiel Zuidkade, uitvoeringsmethode Compact

Bij dit profiel horen de volgende dimensies:

Kruinhoogte: 2,37 m

Binnenberm: 15 m

Talud/kruin/talud: 15 m

Verschuiving buitenteen tov huidig: 19 m

Buitenberm: 14 m

Ongeacht de wijze van uitvoering moet de Zuidkade aan de volgende eisen¹ voldoen:

- De kruinbreedte is 3 meter; op de kruin ligt een voetpad (fietsen toegestaan) met een breedte van 2 meter.
- Binnen- en buitentalud hebben een helling van 1:3.
- Bij oplevering is de restzetting voor 50 jaar maximaal 30 cm.

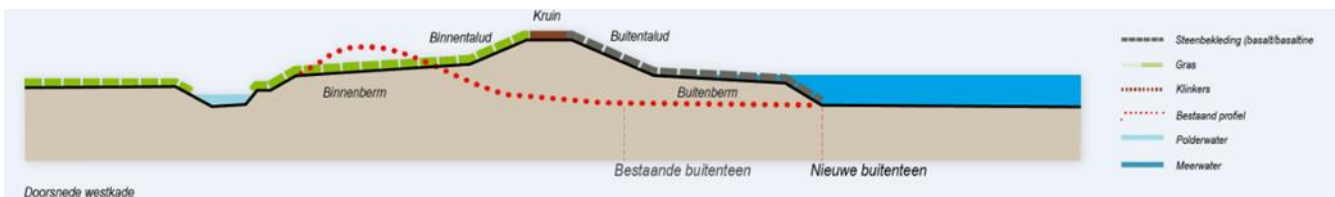
Op deze wijze ontstaat een Zuidkade die zich ongeacht de wijze van uitvoering op een eenduidige wijze toont. Alleen de locatie van de kade is binnen het uitgangspunt van een buitenwaartse versterking op basis van de wijze van uitvoering variabel binnen de volgende bandbreedte

- Maximale afstand waarbinnen maatregelen op de onderwaterbodan kunnen plaatsvinden: 50 meter vanaf de buitenteen van de huidige kade²;
- Maximale verschuiving van de buitenteen: 35 meter;
- Maximale verschuiving van de kruin: 35 meter.

3.4

De Westkade

De Westkade wordt buitenwaarts versterkt op de wijze zoals hierboven voor de uitvoeringsvariant Compact van de Zuidkade is beschreven. De huidige teensloot blijft gehandhaafd. De noodzakelijke breedte van de binnenberm is 14 meter. De centrale kade (talud/kruin/talud) vraagt ook een breedte van 14 meter en aan de buitenzijde zit een buitenberm van 11 meter. De hoogte van de Westkade is ten zuiden van de haven 2,14m +NAP en aan de noordzijde van de haven 1,97m+NAP.



Figuur 3.5 Dwarsprofiel Westkade (maximaal profiel)

Bij dit profiel horen de volgende dimensies:

Kruinhoogte: 2,14 m ten zuiden van de haven; 1,97 m ten noorden van de haven

Binnenberm: 14 m

Talud/kruin/talud: 14 m

Verschuiving buitenteen tov huidig: 15 m

Buitenberm: 11 m

¹ Het aantal eisen is veel groter; zo zijn er onder meer eisen ten aanzien van de ruimtelijke kwaliteit en de beheerbaarheid. Genoemd zijn de eisen die een directe impact op het dwarsprofiel en daarmee het ruimtebeslag van de nieuwe kade hebben.

² Dit geldt voor de fase na realisatie. In de realisatieperiode kunnen maatregelen buiten deze zone noodzakelijk zijn.

3.5

Knikken in de kades

De nieuwe ringdijk om Marken is strakker en hoekiger dan de bestaande. De rechte strekken worden gebaseerd op bestaande rechtstanden in de dijk. Deze liggen onder verschillende hoeken. De verbinding van de rechtstanden zorgt voor een scheggerig beeld en bepaald de 'onregelmatige afwisseling tussen lange en korte rechtstanden'.

Langere rechtstanden zijn voor de beleving van de wandelaar minder aangenaam. 'Bescheiden hoekjes' moeten de belevingswaarde en het verhalend vermogen van de dijk vergroten. Deze worden onder meer gevonden bij de oude locaties van sluizen, oude dijktracés en het Goudriaankanaal.

Mogelijke restanten hiervan in het huidige dijklichaam kunnen zichtbaar worden gemaakt in de steunberm van de nieuwe dijk. De 'couleur locale' wordt daarnaast ingevuld door het herstel van strandjes en natuurwaarden in en aansluitend op de buitenberm.

Een en ander leidt tot de inpassing van de West- en de Zuidkade zoals aangegeven in figuur 3.6. In het MER is de keuze van de knikpunten nader toegelicht.



Figuur 3.6 Knikken in de West- en Zuidkade

3.6

Ontwerp van de specials

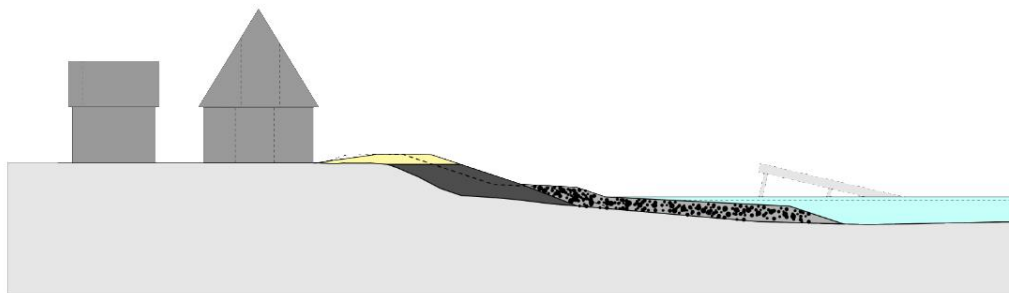
3.6.1

Rozewerf

De Rozewerf en het daarnaast gelegen archeologisch monument De Heuvel vormen een afzonderlijke sectie binnen de Zuidkade. Om redenen van ruimtelijke kwaliteit (het beeld van de huizen op de werf aan het water en het beeld van het water vanaf de werf) wordt hier geen nieuwe kade aan de buitenzijde gerealiseerd maar vindt de buitenwaartse versterking op een andere wijze plaats.

De verbetering van de waterveiligheid op deze locatie wordt vooral gerealiseerd door het aanbrengen van een voorberm aan de buitenzijde van de terp en een eventuele ophoging op de rand van de terp met een kleine grondkade. De maximale ophoging van de kade op de Rozewerf is 50 cm. Om hiervoor de ruimte te creëren tussen de woningen op de Rozewerf en het water wordt de terp aan de waterzijde mogelijk met maximaal 3 meter uitgebreid. De precieze uitwerking voor deze sectie wordt uitgewerkt in een Werkplan voorafgaand aan de realisatie en wordt met bewoners van de Rozewerf afgestemd. Tussen de voorberm en de werf is mogelijk een technische constructie zoals een damwand noodzakelijk om de stabiliteit van de woningen te borgen. Op de locaties waar onvoldoende ruimte resteert tussen de teensloot en het binnentalud van de nieuwe kade om met een binnenberm de stabiliteit te garanderen wordt deze geborgd met een technische constructie, bijvoorbeeld een damwand. Binnen de sectie Rozewerf en de Heuvel betreft dit het dijktraject tussen Rozewerf en De Heuvel, naar de westzijde de kade tussen de Rozewerf en net ten westen van het gemaal en aan de oostzijde van de Heuvel het eerste gedeelte totdat de nieuwe kade voldoende afstand van de teensloot heeft.

Een referentie-uitwerking voor de Rozewerf is aangegeven in de figuur 2.7 die de oplossingsruimte voor de Rozewerf weergeeft.

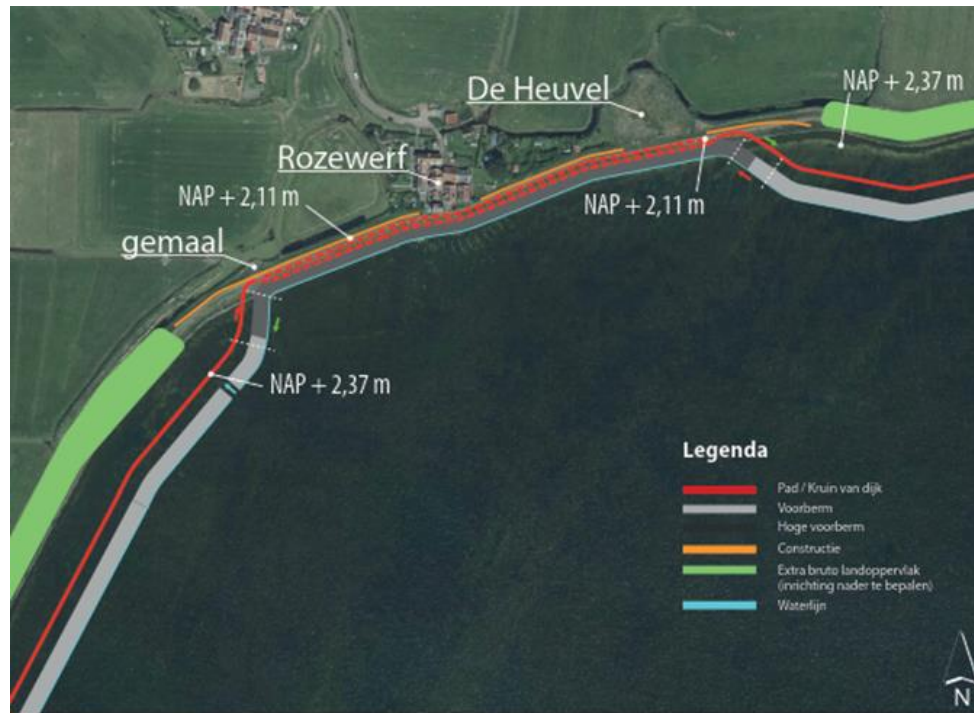


Figuur 2.7 Versterking bij de Rozewerf in dwarsprofiel

De exacte uitvoering op deze locatie wordt binnen de randvoorwaarden van het Projectplan waterwet in afstemming met de bewoners van de Rozewerf en de gemeente (toets op ruimtelijke kwaliteit) nader bepaald. De hier aangegeven ophoging van kruin, voorberm en onderwateroever geldt daarbij als een maximale ingreep.

Langs de dijktrajecten tussen de Rozewerf en de Heuvel, ten westen van de Rozewerf en ten oosten van de Heuvel is een constructieve oplossing (bijvoorbeeld een damwand) in de binnenteen van de dijk noodzakelijk om de stabiliteit te borgen. Deze constructie wordt in de kade aangebracht en is niet zichtbaar. Om de dijk te kunnen beheren komt er tussen de Rozewerf en het gemaal en ten oosten van De Heuvel ook een 3 meter brede binnenberm. Hierdoor schuift de dijk over een afstand van circa 3 meter naar buiten.

Het resulterende ruimtelijke beeld is aangegeven in figuur 3.8.



Figuur 3.8 Inpassing Versterking nabij Rozewerf. In deze illustratie is voor de nieuwe kade aan weerszijden uitgegaan van de uitvoeringswijze Zandcunet

Om meer privacy en ruimte voor de huizen voor de bewoners van de Rozewerf te creëren, wordt het pad op de kruin ter hoogte van de knik in de dijk richting de werf naar beneden gelegd, aansluitend op de voorberm. Dit pad en de ruimte van de voorberm dient tevens als route voor onderhouds- en calamiteitenverkeer. Dezelfde oplossing wordt bij de Heuvel toegepast. Het strandje en de zwemsteiger worden teruggebracht.

3.6.2

Omgeving Vuurtoren

De nieuwe Zuidkade wordt bij de vuurtoren aangesloten op de Noordkade. De dijksectie waarop de dam naar de vuurtoren aansluit wordt circa 20 meter buitenwaarts verplaatst en op de voor de Zuidkade noodzakelijke hoogte gebracht. De nieuwe dijk wordt haaks op de dam richting de vuurtoren gelegd. De kade wordt in dit dijkvak aangelegd conform de uitvoeringswijze Compact. De ringdijk krijgt continuïteit door de as van de Zuidkade (NAP + 2,37 m) aan te sluiten op de as van de Noordkade (NAP + 1,60 m). Het hoogteverschil wordt opgelost vanaf de knik van de nieuwe dijk terug naar de Noorderkade in een helling van 1:20.

De nieuwe kade gaat ten koste van een stuk strand en ligweide. Om dit te compenseren wordt een nieuw strand langs de Zuidkade aangelegd tot aan de eerste knik ten westen van de vuurtoren.



Figuur 3.9 Inpassing Versterking en strand bij de vuurtoren bij variant Zuidkade Zandcunet

3.6.3 De Haven

Noordzijde haven

De aansluiting van de nieuwe dijk op de noordzijde van de haven wordt zo veel als mogelijk in grond gedaan. Hierbij is rekening gehouden met het terrein van de KNRM, de aansluiting op de kade van de haven, de aanliggende bouwwerken op het buitentalud, de bedrijfszekerheid van de steiger van de KNRM en het doorlopen van de teensloot en de sloot achter de Havenbuurt.

De kruin van de nieuwe dijk wordt met een vloeiende boog aangesloten op het verlengde van de kade van de haven. De NAP-hoogten van de kade en de nieuwe dijk zijn vrijwel gelijk. Onderhoud van het straatwerk van weg en de taluds langs de haven zal in dezelfde periode plaatsvinden. Hierdoor ontstaat een vloeiende overgang tussen de nieuwe dijk en de kade langs de haven.

De buitenberm komt voor het veldje van de KNRM te liggen. Dit mag de functionaliteit van de aanlegsteiger niet aantasten. Een remmings-/geleidewerk zorgt ervoor dat reddingsschepen veilig en zonder risico op aanvaring van de berm de aanlegsteiger kunnen gebruiken.

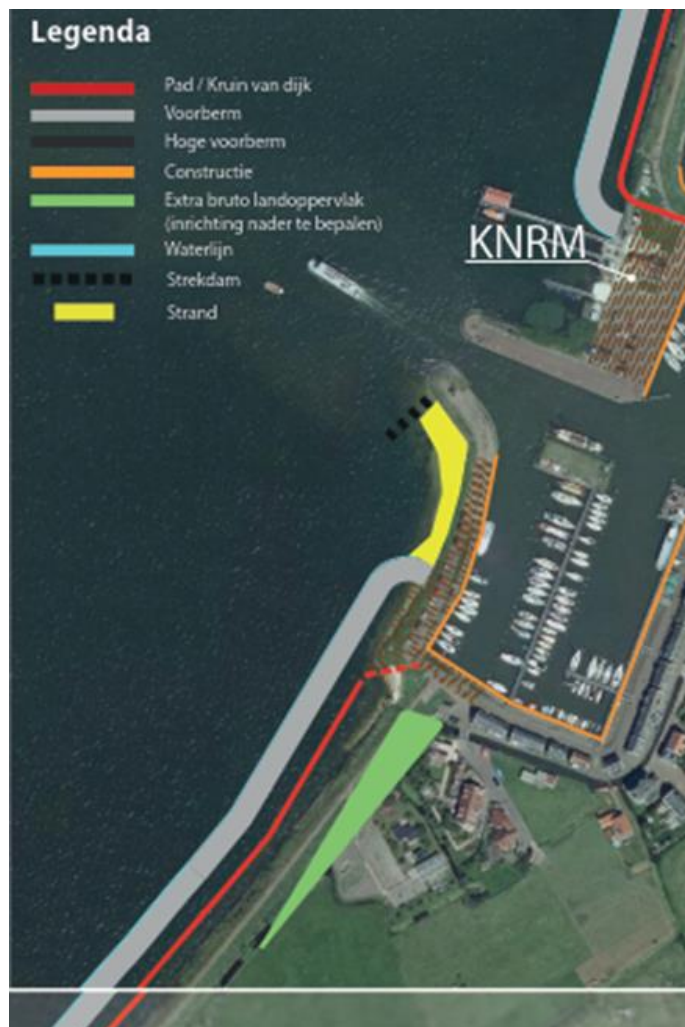


Figuur 3.10 Inpassing Versterking aan de noordzijde van de haven

Zuidzijde haven

Bij de aansluiting van de nieuwe dijk op de zuidzijde van de Haven wordt deze voor de huidige kade langs geschoven. De dijk sluit met een knik aan op de havendam.

De huidige kade van de Haven heeft een hoogte van 1,60 m+NAP. De nieuwe dijk komt op 2,14 m+NAP te liggen. Dit is een hoogteverschil van circa 50 cm. Voor een logische verbinding met het pad op de dijk wordt deze in het binnentalud van de dijk de kruin afgeleid (1:20) en aangesloten op de hoek van de Havenkade. Waar de dijk voor de kade schuift wordt het binnentalud afgewerkt met klinkers en stenen zoals deze ook in de kade van de Haven zijn toegepast. Het zwemstrand komt tussen het havenhoofd en de voorberm te liggen. Dit is met een pad toegankelijk vanaf de dijk. Met een boeienlijn worden zwemmers op voldoende afstand van de havenmond gehouden. Aan de noordzijde wordt het strand beëindigd met een strekdam. Deze strekdam dient tevens om verzanding en aanslibbing van de haven te voorkomen.



Figuur 3.11 Inpassing Versterking aan de zuidzijde van de haven

Binnen de haven

De damwanden (zie figuur 3.12) worden aangepast om de stabiliteit van de kades te borgen. Dit kan bijvoorbeeld door het alsnog verankeren van deze damwanden, rekening houdende met de funderingen van de bebouwing en de resultaten van aanvullend grondonderzoek. In een Werkplan Binnenzijde Haven wordt dit voorafgaand aan de realisatie nader uitgewerkt.

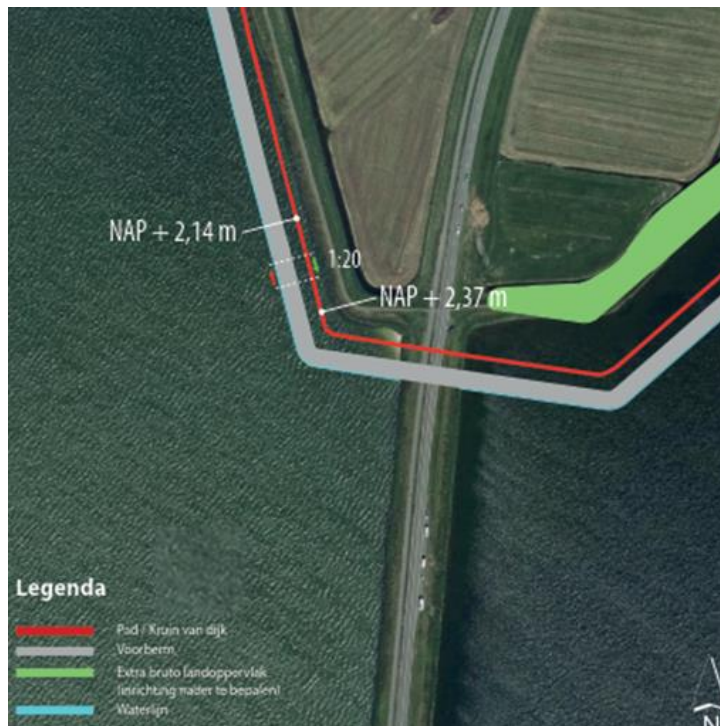


Figuur 3.12 Aan te passen damwanden binnen de haven. De in bruin, groen, rood en blauw aangegeven kadedelen worden aangepast.

3.6.3.1. Aansluiting Verbindingsdijk

Bij de verbindingsweg komen Zuid- en Westkade samen. De kruinen van de beide nieuwe dijken verschuiven naar het zuiden, worden op elkaars verlengde gelegd en haaks op de verbindingsweg. De nieuwe dijk wordt strak en hard tegen de Verbindingsweg aangelegd met scherpe hoeken en gelijke kruinhoogte om het gewenste continue beeld te krijgen. Het hoogteverschil tussen Zuid- en Westkade, (respectievelijk NAP + 2,37 m en NAP + 2,14 m) wordt opgelost direct na de eerste knik in de Westkade in een helling van 1:20. De entree naar Marken is daarmee eenduidig.

Er is geen verschil tussen de uitvoeringsvarianten Zandcunet en Compact voor de Zuidkade; dit onderdeel van de Zuidkade wordt in beide varianten aangelegd conform de uitvoeringswijze Compact.

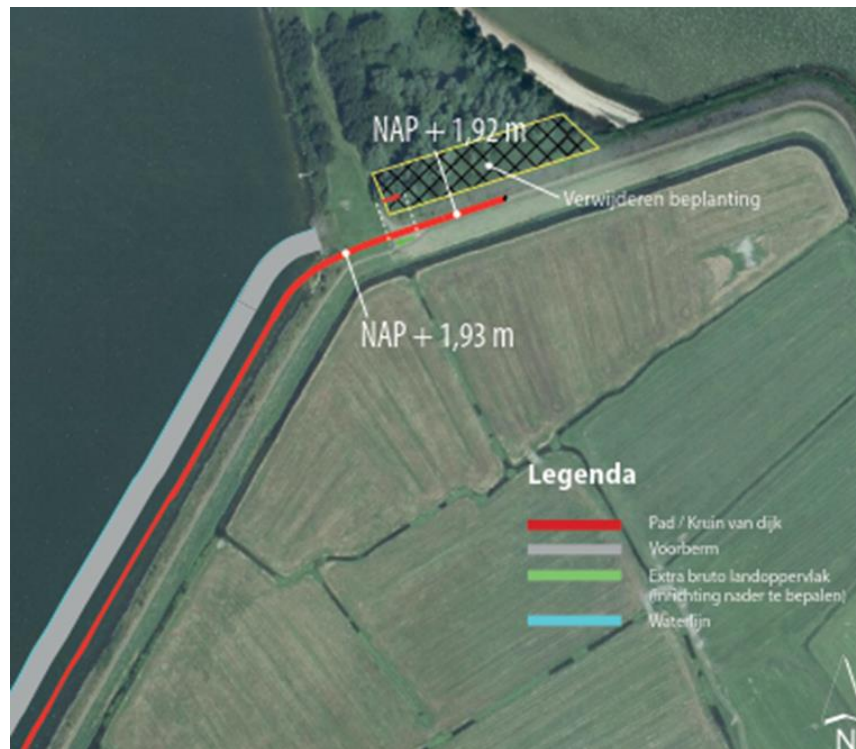


Figuur 3.13 Inpassing Versterking bij de aansluiting Verbindingsdijk (Zuidkade maximaal ruimtebeslag)

3.6.4

Aansluiting Bukdijk

De ringdijk krijgt continuïteit door de as van de nieuwe Westkade (NAP + 1,93 m) aan te sluiten op de as van de kruin van de Noordkade (ca. NAP + 1,90). De nieuwe Westkade wordt strak en hard tegen de Bukdijk aangelegd met scherpe hoeken. De benodigde aansluiting op de Noordkade geeft aanleiding de kruin te benadrukken ten behoeve van het beeld van een doorlopende dijk rond Marken en ruimte te scheppen tussen de Bukdijk en de ringdijk. Hiertoe wordt het overgangsgebied naar de Bukdijk verlaagd tot onder de kruin van de Westkade. Hierbij wordt een aantal bomen verwijderd.



Figuur 3.14 Aansluiting Versterking Westkade bij de Bukdijk

3.7

Meest Milieuvriendelijk Alternatief

In het MER is een Meest Milieuvriendelijk Alternatief (MMA) ontwikkeld. Dit MMA bestaat uit de versterking van de Zuidkade in de compacte variant, de versterking van de Westkade en de realisatie van de meekoppelkansen voor natuur. In het MMA is ook nader ingegaan op de suggesties die zijn opgenomen in het deelrapport duurzame leefomgeving. De effecten van het MMA zijn beschreven in het MER en deze zijn daarin ook vergeleken met de effecten van de “reguliere” varianten.

4 Huidige situatie en autonome ontwikkeling

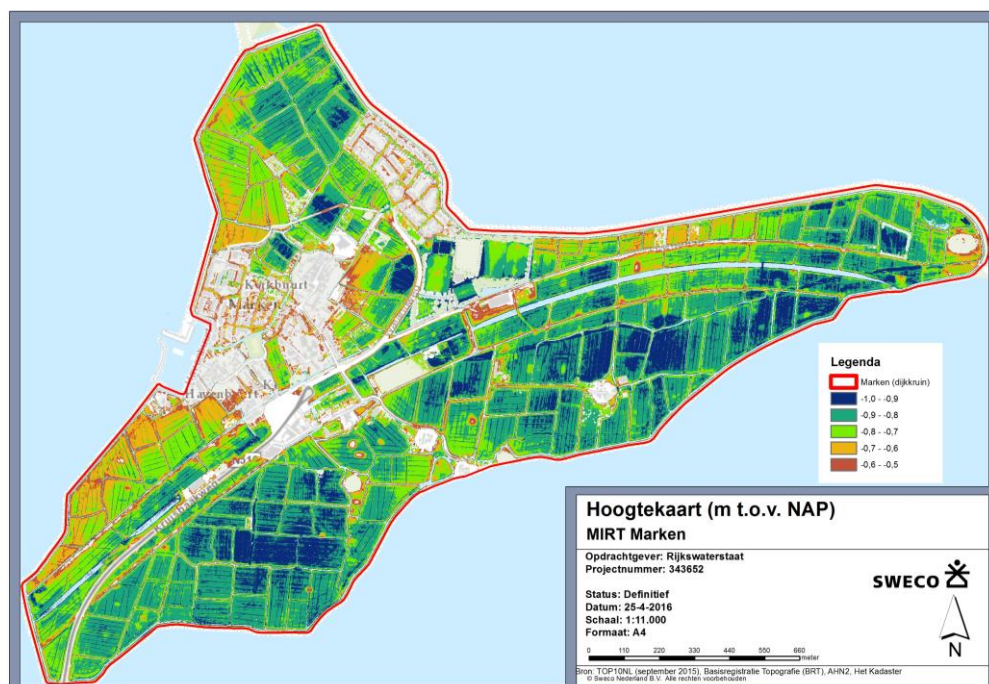
4.1 Huidige situatie

4.1.1 Bodemopbouw

Marken behoort tot het oude zeekleilandschap. Dit landschapstype kenmerkte zich in het Pleistoceen door wadvlakten die werden doorsneden door krekken. Op deze vlakten hebben zich na de laatste IJstijd veenkussens ontwikkeld. Door klink en oxidatie zijn de veenkussens uiteindelijk grotendeels weer verdwenen en is het onderliggende landschap weer aan de oppervlakte gekomen. De krekken vormen nu hooggelegen ruggen in het landschap en de wadvlakten zijn laaggelegen kommen. Doordat het oude zeekleilandschap als veengebied is ontgonnen zijn ook nu nog de karakteristieke kenmerken van een veenlandschap op het eiland zichtbaar: een regelmatige blokverkaveling met veel sloten.

In de ondergrond bevindt zich nog een flink veenpakket, dat door ophoging en/of grondwaterstandswijzigingen kan inklinken. Bij eerdere dijkversterkingen is dit ook tot uiting gekomen door verzakkingen van de dijken zowel in de lengte als soms over de breedte.

Het maaiveld van het eiland ligt gemiddeld op 0,8 meter beneden NAP (met uitzondering van de zogenaamde werven, verhogingen in het landschap waarop de woningen werden gebouwd). De dijk steekt hier bovenuit met gemiddeld 1,5 meter boven NAP.



Figuur 4.1: Hoogtekaart (AHN)

Beschouwde dwarsprofielen

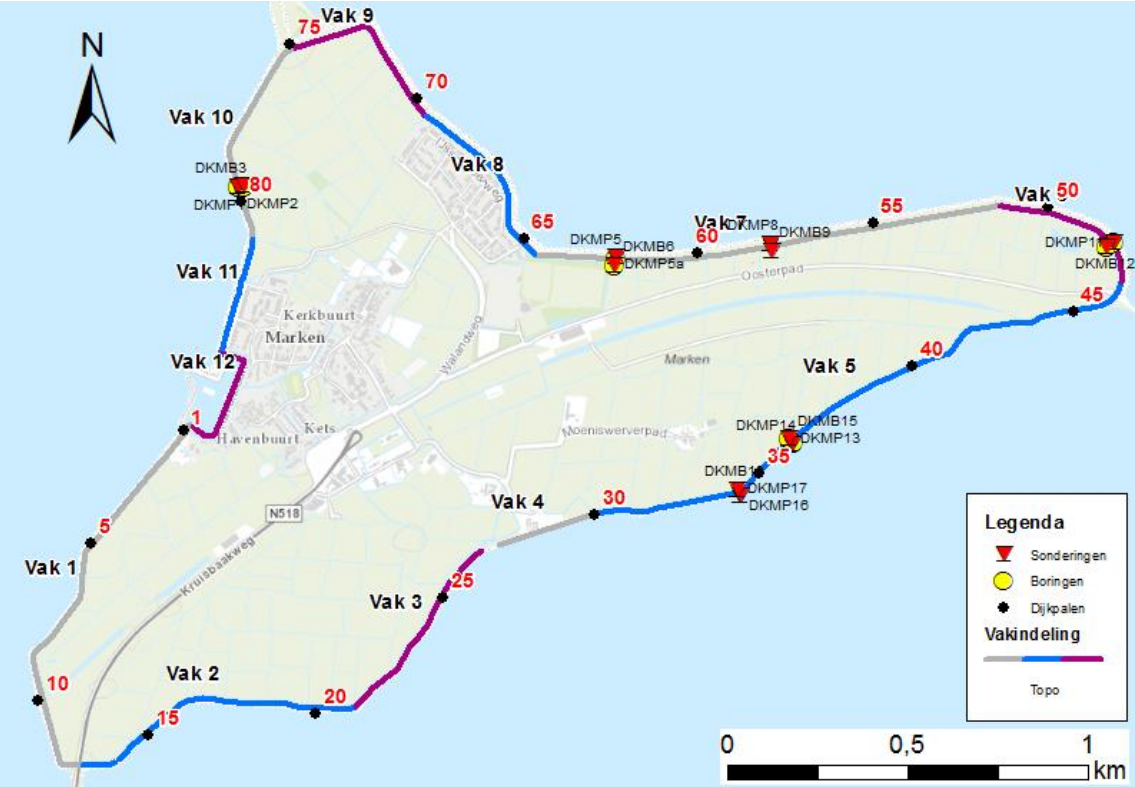
De locaties van de beschouwde dwarsprofielen worden overgenomen uit de Verkenningfase. Alle dwarsprofielen worden waar mogelijk nieuw samengesteld op basis van inmeting van geometrie en grondonderzoek uit de verkenningfase³ en de planuitwerkingsfase⁴. Voor de vakken waar geen recent grondonderzoek beschikbaar is, wordt uitgegaan van een grondopbouw uit het naastgelegen vak.

Tabel Fout! Geen tekst met de opgegeven stijl in het document..1Vakindeling

Vak	Dijkpaal		Dwarsprofiel	Grondonderzoek (Fugro)	Grondonderzoek (Arcadis)
Zuidkade					
2	13 – 21	Van de Verbindingsweg tot gemaal	14		B17, B18, B19
3	21 – 26	Van gemaal tot Rozewerf	25		B17, B18, B19
4	27 – 30	Rozewerf (special)	27		
5	30 – 46	Tussen Rozewerf en vuurtoren	40	DKMP13, DKMP14, DKMB15, DKMP16, DKMP17	B14, B15, B16
Westkade					
1	1 – 12	Tussen haven en Verbindingsweg	6		B01, B02, B03
10	76 – 81	Tussen Bukdijk en vak 11	80	DKMP1, DKMP2, DKMP3	B04, B05, B06
11	81 – 84-1	Ten noorden van de haven	83		B04, B05, B06
12	-	Haven (special)	n.t.b.		

³ Aanvullende werkzaamheden West-, Zuid- en Noordkade Marken – Geotechnisch veld- en labonderzoek. Fugro, 1315-0132-001.KR01, 10 september 2015

⁴ Geotechnisch onderzoek Marken, WBI parameters S, m en POP, zaaknummer 31119388, 14 april 2017, Arcadis



Figuur 4.2: Locaties terreinonderzoek 2015



Figuur Fout! Geen tekst met de opgegeven stijl in het document..3 Locaties terreinonderzoek 2016

Geotechnische uitgangspunten

Bodemopbouw

De bodemopbouw is in de verkenningsfase gebaseerd op het geotechnisch lengteprofiel wat gebruikt is in de toetsing, aangevuld met boringen en sonderingen die uitgevoerd zijn door Fugro in 2015 in de verkenningsfase van de dijkversterking. De aanvullende boringen en sonderingen zijn uitgevoerd in 6 raaien verdeeld over de drie verschillende secties (zie onderstaande figuur).

De grondopbouw wordt ten opzichte van de verkenningsfase opnieuw geschematiseerd op basis van het beschikbare grondonderzoek.

Naamgeving

In voorgaande projecten en fases zijn verschillende (zowel lithologische als lithostratigrafische) benamingen aangehouden voor grondlagen. Voor de planuitwerkingsfase is gekozen de officiële lithostratigrafische indeling van TNO aan te houden, die ook de basis vormt voor het SOS. Hiermee sluiten we aan op de Basisregistratie Ondergrond, vereenvoudigen we de overstap naar een volgende beoordelingsronde en maken we het project beter toegankelijk voor degenen die niet bij eerdere fasen betrokken zijn geweest.

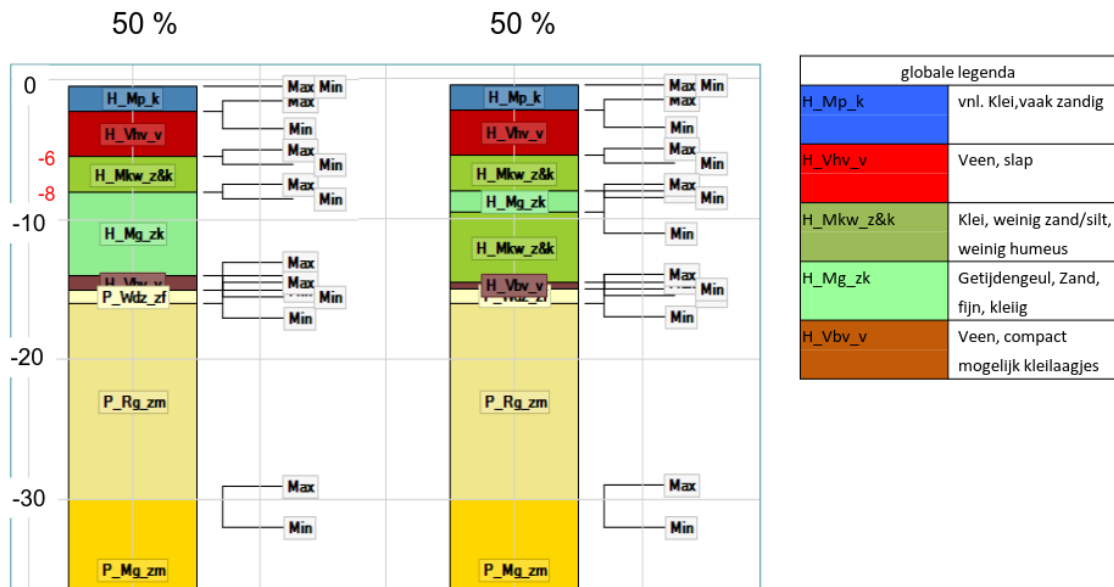
Ondergrond

In de verkenningsfase en het onderzoek door Arcadis⁵ is geconcludeerd dat de ondergrond uniform is. In het beperkte aanvullende grondonderzoek van Arcadis is een mogelijke geul aangetroffen. In het expertteam is besproken dat de interpretatie en met name het onderscheid tussen *klei*, *zandig* en *zand, kleilig* (waarop de interpretatie van de geul gebaseerd is) moeilijk te maken is. Het voorkomen van geulen kan niet uitgesloten worden op basis van de beschikbare informatie. Omdat op basis van de beschikbare informatie niet bepaald kan worden waar eventuele geulen zich bevinden wordt er in de Planuitwerkingsfase zo lang er geen aanvullende informatie beschikbaar is van uit gegaan dat de ondergrond van Marken uniform is. Op basis van de resultaten van het aanvullend grondonderzoek volgt of er ter plaatse van de West- en Zuidkade geulen voorkomen. Indien geulen worden geconstateerd zal de bijdrage van de geulvorming ten aanzien van zettingen en stabiliteit relatief beperkt zijn, gezien het voorkomen van bovenliggende dikke veenpakket. Door het verrichten van een gevoeligheidsberekening kan dit nader aangetoond worden.

De uniforme ondergrond wordt gekarakteriseerd door een dik pakket slappe lagen met daaronder een Basisveenlaag op circa NAP -14 m en daaronder het watervoerende Pleistocene laagpakket. Het Holocene slappe lagenpakket bestaat uit een afwisseling van meer kleiige en meer zandige getijdeplaat- en kwelderafzettingen behorende tot het Laagpakket van Wormer binnen de Naaldwijkformatie. Rond NAP -4,0 m bevindt zich een veenlaag van circa 2 meter dikte behorende tot het Hollandveenpakket binnen de Formatie van Nieuwkoop. De kleilagen die aanwezig zijn boven het Hollandveenpakket behoren tot het Laagpakket van Walcheren binnen de Naaldwijkformatie. Een uitsnede van het WTI-SOS is weergegeven in de volgende figuur. Voor de stabiliteits- en zettingsberekeningen is uitgegaan van de maatgevende bodemopbouw met meer kleilagen (linker bodemopbouw in figuur 4.4). Het referentieontwerp is ingestoken (zoals gebruikelijk voor bepaling van de haalbaarheid en uitvoerbaarheid) op basis van de maatgevende bodemopbouw per dijkvak. Met het verrichten van een

⁵ Geotechnisch onderzoek Marken, WBI parameters S, m en POP, zaaknummer 31119388, 14 april 2017, Arcadis

gevoeligheidsberekening kan de bandbreedte van de minimale en maximale zetting nader worden bepaald.



Figuur Fout! Geen tekst met de opgegeven stijl in het document..4 Uitsnede WTI-SOS

Tabel Fout! Geen tekst met de opgegeven stijl in het document..2 In het ontwerp gebruikte grondsoorten en SOS-naam

Grondsoort	SOS-naam
Dijksmateriaal klei	H_Aa_k
Dijksmateriaal zand	H_Aa_zf
Klei, Walcheren ¹	H_Mp_k
Hollandveen onder	H_Vhv_v
Hollandveen naast	H_Vhv_v
Klei zandig, Wormer ²	H_Mkw_z&k
Zand kleilig, Wormer ²	H_Mg_zk
Basisveen	H_Vbv_v
Zand Pleistoceen	P_Rg_zm
Ophoogmateriaal klei	H_Aa_k
Ophoogmateriaal zand	H_Aa_zm
Stortsteen	-

Dijklichaam

De opbouw van het dijklichaam is niet voor alle secties gelijk, maar bestaat voornamelijk uit klei voor de Zuidkade en de Westkade.

4.1.2

Geohydrologisch onderzoek

Geohydrologische uitgangspunten

Markermeer

Voor het Markermeerpeil wordt uitgegaan van het peilbesluit IJsselmeergebied.

Huidige streefpeilen voor het Markermeer zijn:

- Zomer: vast peil van NAP -0,20 m;

- Winter: minimumpeil van NAP -0,40 m.

De voorgenomen streefpeilen voor het Markermeer zijn:

- Zomer: fluctuerend tussen NAP -0,10 m en NAP -0,30 m;
- Winter: gemiddeld peil van NAP -0,25 m.

Polderpeilen

Macrostabieleit

Het polderpeil is in toetsrondes en de verkenningsfase aangehouden op NAP -1,00 m. Op basis van het peilbesluit van het Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier (ontvangen 1 december 2015) is gebleken dat het polderpeil NAP -1,05 m is. Voor de planuitwerkingsfase van het project is het polderpeil aangepast.

Vanwege bodemdaling, neerslag en overslag wordt er voor de berekeningen uitgegaan van een volledig met water verzadigd achterland. Daarom is in de berekeningen aan macrostabiliteit polderpeil op maaiveld aangehouden.

Voor de bepaling of opbarsten of opdrijven plaatsvindt wordt uitgegaan van een waterniveau gelijk aan polderpeil in de huidige legger: NAP -1,05 m.

Piping

Voor de bepaling of opbarsten plaatsvindt wordt uitgegaan van een waterniveau gelijk aan polderpeil in de huidige legger: NAP -1,05 m.

In de verkenningsfase is op basis van het peilbesluit van het Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier (ontvangen 1 december 2015) gebleken dat het polderpeil NAP -1,05 m is. De berekeningen in de verkenningsfase waren op dat moment al vergevorderd, en zijn hierop niet aangepast. Voor de vervolgfases van het project wordt aanbevolen het polderpeil hierop aan te passen.

Voor de planuitwerkingsfase is het polderpeil conform dit advies aangepast.

Stijghoogte

Ten behoeve van de tweede toetsronde zijn door GeoDelft waterspanningsmetingen peilbuizen geplaatst. Voor het opstellen van het document 'Definitief ontwerp Dijkverbetering West- en Zuidkade Marken' is de stijghoogte opnieuw beschouwd. De stijghoogte is door DHV voor zowel zand behorende tot de afzettingen van Calais (in Holocene laagpakket) als het Pleistocene zand beschouwd.

Laagpakket van Wormer, formatie van Naaldwijk

In eerdere toetsingen en het ontwerp van DHV zijn de afzettingen van het laagpakket van Wormer, formatie van Naaldwijk, voorheen bekend als Calais (een kleiige zandlaag) tussen NAP -8,0 m en de bovenkant van het Pleistoceen als watervoerende laag aangehouden. Op basis van de uitgevoerde

In het expertoverleg van 24 september 2015 (Verkenningsfase) is besproken of de Afzettingen van Calais als watervoerend aangehouden moeten worden. De experts hebben geconstateerd dat van de zandige kleilaag onder de Klei van Calais voldoende is onderbouwd dat deze niet watervoerend is; deze kan als zodanig worden meegenomen in de schematisatie.

Voor de planuitwerkingsfase is het advies uit de verkenningsfase overgenomen.

waterspanningsmetingen en het ondergrondmodel SOS-WTI heeft Deltares in het rapport 'Gevoeligheidsanalyse ongedraineerd rekenen' geconstateerd dat deze laag sterk kleihoudend is en afgewisseld met kleilaagjes. Er is in de uitgevoerde sonderingen geen sprake van een hydrostatische opbouw, voor deze laag wordt dan ook aangenomen dat deze niet watervoerend is.

Pleistocene zandpakket

De gemiddelde stijghoogte onder dagelijkse omstandigheden wordt op basis van REGIS II (www.dinoloket.nl) en de beschouwde peilbuizen uit DINO (www.dinoloket.nl) aangehouden op NAP -2,5 m. Aanvullende peilbuismetingen (sinds 2017) zijn (nog) niet gebruikt vanwege de geringe variatie in meerpeil gedurende de meetperiode. Daarom wordt uitgegaan van de metingen die ook voor eerdere fasen zijn gebruikt.

DHV is in het ontwerp uitgegaan van een respons van 80% van de stijghoogte in de watervoerende zandlagen op fluctuaties in het meerpeil. Naar verwachting is een respons van 80% aan de hoge kant gezien de dikte van het slappe lagenpakket. Op basis van metingen uit het verleden is in de Verkenningsfase voor de schematisaties voor het Pleistoceen een respons van 40% aangehouden. Uit de gevoeligheidsanalyse blijkt dat stijghoogte geen significante invloed heeft op de stabiliteit. Dit komt doordat de maatgevende glijcirkels door de bovenste grondlagen lopen, waar de waterspanningen bepaald worden door de freatische lijn en niet door de stijghoogte. De respons van 60% wordt dus aangehouden in de Planuitwerkingsfase. Hiermee wordt mede robuustheid ingebouwd voor mogelijke toekomstige veranderingen door zandwinning e.d.

De geschematiseerde stijghoogte in het Pleistocene zandpakket in de stabiliteitssommen wordt bepaald door de volgende formule:

$$Stijghoogte_{MHW} = Stijghoogte_{dagelijkse\ omstandigheden} + (60\% \times (ontwerpwatervstand - gemiddelde\ watervstand))$$

(Grond)waterstanden

Omdat zettingen over een langere periode worden berekend is uitgegaan van de gemiddelde grondwaterstand uit de peilbuismetingen die uitgevoerd zijn in opdracht van Arcadis [ARC 2017]. Gedurende een periode van ruim 8 maanden (20 december 2016 tot 27 augustus 2017) is elk uur de waterstand gemeten. De locaties van de peilbuizen zijn weergegeven in de volgende figuur.



Figuur 4.5 Locaties peilbuizen [ARC 2017]

Voor de waterstand in de kruin is het gemiddelde genomen van peilbuismeting PB-RW-02 en PB-RW-03, aangezien nog geen betrouwbare gemiddeld lage grondwaterstand (GLG) kan worden bepaald gezien de relatief korte meetperiode van 8 maanden van de peilbuizen ter plaatse van de Rozewerf. De waterstand in de werf is bepaald aan de hand van de gemiddelden van PB-RW-05 en PB-RW-06. De waterstand in het achterland is bepaald met het gemiddelde van PB-RW-07. Onderstaande tabel geeft van de gehanteerde gemiddelden een overzicht.

Tabel 4.3 Gehanteerde waterstanden voor de freatische lijn

Locatie	Peilbuizen	Gemiddelde waterstand in m t.o.v. NAP
Waterstand	Meetpunt open water	-0,33
Kruin	PB-RW-02, PB-RW-03	-0,20
Rozewerf	PB-RW-04, PB-RW-05	0,94
Achterland	PB-RW-07	-0,54

Rozewerf

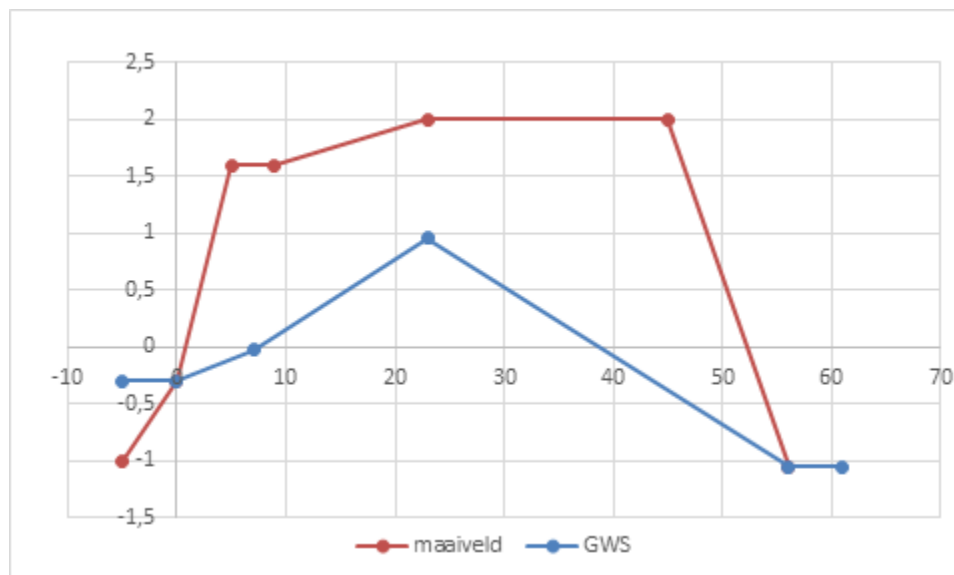
De Rozewerf is als dwarsprofiel beschouwd. De afstand tussen het buitenwater aan de Markermeerzijde en de sloot aan de achterzijde van de terp bedraagt circa 56 m.

In de huidige situatie zijn de volgende hydraulisch randvoorwaarden van invloed op de ligging van de freatische lijn in de terp:

- Buitenwaterstand: deze ligt onder dagelijkse omstandigheden redelijk constant op NAP -0,2 à -0,4 m.

- Slooppeil: dit is op basis van de Legger Marken aangenomen op NAP -1,05 m. Zijdelingse afstroming van grondwater uit de terp is verwaarloosd in deze tweedimensionale beschouwing.
- Netto neerslag: gemiddeld valt er circa 2 mm neerslag per dag, inclusief verdamping. Aangenomen is dat 50% hiervan in de grond infiltreert, het overige deel stroomt via het maaiveld en riolering weg.
- Inzijging in de ondergrond: onder normale omstandigheden ligt de stijghoogte in de watervoerende zandlaag op ca. NAP -2,5 m. Dit is conform metingen uit een eerdere fase van het Markensonderzoek. Dit betekent er inzijging plaatsvindt van de grondwaterstand naar de watervoerend zandlaag.

De ligging van de freatische lijn volgt uit peilbuismetingen van Inpijn-Blokpoel uit de periode december 2016 tot en met september 2017. Het niveau van de grondwaterstand blijkt binnen een bandbreedte van 0,5 à 1,0 m te variëren, afhankelijk van het neerslagverloop. De gemiddelde grondwaterstand in de kruin van de dijk op 7 m van de waterlijn (PB-RW-03) ligt op NAP -0,03 m. De gemiddelde grondwaterstand in de Rozewerf op 23 m van de waterlijn (PB-RW-05) ligt op NAP +0,96 m. Er lijkt dus sprake van een opbolling door neerslag. PB-RW-05 is het enige meetpunt in de Rozewerf zelf. Deze meting hoeft niet representatief te zijn voor de hele Rozewerf, omdat deze wordt beïnvloed door de wijze waarop op deze ene plek hemelwater langs de bebouwing en het maaiveld wordt afgevoerd, of juist ophoopt. In onderstaande figuur is het verloop van de gemiddelde gemeten grondwaterstand weergegeven in een schematische dwarsprofiel over de Rozewerf.



Figuur 4.6 Gemiddelde grondwaterstand in huidige situatie

De huidige situatie is theoretisch goed verklaarbaar met de opbollingsformule van Ernst. Dit is een geohydrologische formule uit 1954 voor de berekening voor homogene en 2-lagenprofielen, waarbij de laagscheiding niet hoeft samen te vallen met de draindiepte. Als wordt uitgegaan van een verticale doorlatendheid van de grond in de terp van 0,5 m/d op basis van expert judgement dan wordt een opbolling berekend van 1,24 m.

4.1.3 Bodemkwaliteit

Uit bodemonderzoek⁶ blijkt dat er binnen het projectgebied (de te versterken delen van de dijk) geen bodemverontreinigingen voorkomen. Op Marken is 1 spoedlocatie aanwezig, namelijk Havenbuurt 28/29. Deze locatie is inmiddels gesaneerd. Dit blijkt ook uit de gegevens op bodemloket.nl, waarop te zien is dat in 2012/2103 een sanering heeft plaatsgevonden aan de zuidzijde van de haven (zie onderstaande figuur). De gemeente Waterland heeft in 2013 een bodembeheernota aangenomen welke randvoorwaarden voor de uitvoering vastlegt. Bij werkzaamheden hier moet mogelijk rekening worden gehouden met restverontreinigingen.

Uitgangspunt is dat er voor de dijkversterking geen belemmeringen optreden wat betreft de bodemkwaliteit.



Figuur 4.7: Saneringsactiviteit haven Marken (Bron: bodemloket.nl, 30-01-2018)

4.1.4 Waterbodemkwaliteit

De uitbreiding van de dijk vindt buitenwaarts plaats. Dat betekent dat uitbreiding plaatsvindt in het Markermeer. Langs de Westkade en in de variant Compact langs de Zuidkade gebeurt dit door het aanbrengen van grond op de bestaande waterbodem. In de variant Zandcunet langs de Zuidkade, wordt eerst een veenlaag afgegraven en vervangen door een Zandcunet. Bij waterbodems wordt de bovenste sliblaag, en daarmee de waterbodemkwaliteit, beïnvloedt door erosie- en sedimentatieprocessen. Hierdoor is alleen toetsing aan de actuele sliblaag ten aanzien van de waterbodemkwaliteit zinvol. De onderliggende waterbodem is nog niet onderzocht en hiervan is de kwaliteit nog niet bekend.

4.1.5 Bodemdaling en zetting

Marken ligt op een ondergrond van veen en kleilagen. Dit leidt ertoe dat door zettingen de bestaande dijken continue langzaam maar zeker wegzakken in het veen.

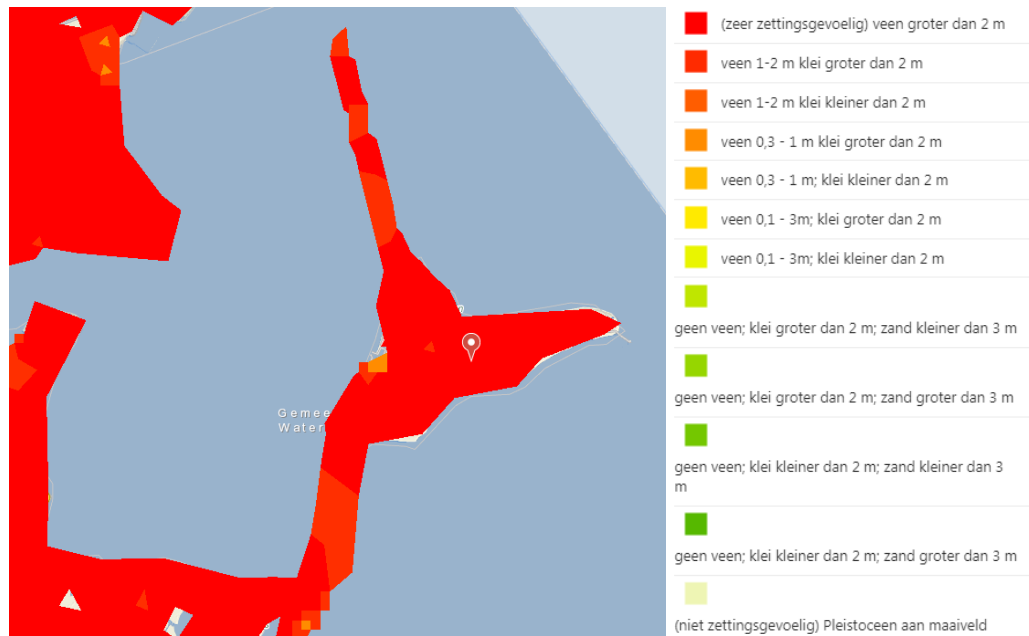
4.2 Autonome ontwikkeling

De bodemsamenstelling verandert in de autonome ontwikkeling niet. Wel kan er mogelijk nog een autonome bodemdaling optreden.

De autonome bodemdaling is bepaald op basis van de documenten (1) 'Deformatiemetingen bij project 'Versterken omringkade Marken' met behulp van satelliet radarinterferometrie' en (2) de memo 'Hoogte omringkade Marken en prognose kruindaling'. Bij het uitvoeren van de metingen zijn twee perioden

⁶ Bodemonderzoek Marken, DHV, 2012

beschouwd tussen 1992 en 2010. De resultaten laten een bodemdaling zien van 2-7 mm/jaar. Op basis van de kaartenbijlage van de Bodemvisie Provincie Noord-Holland blijkt dat heel het eiland Marken als zeer zettingsgevoelig is aangeduid (zie onderstaande figuur).



Figuur 4.8: Zettingsgevoeligheid (Bron: kaart 3: bouwen op slappe grond, bodemvisie provincie Noord-Holland)

5 Effecten

5.1 Beoordelingscriteria

Binnen het thema bodem worden de alternatieven/varianten beoordeeld op de volgende criteria:

Thema	Criterium	Methodiek
Bodem	Invloed op de criteria: - Bodemkwaliteit - Geohydrologie - Zettingen - Hoeveelheid grondverzet.	- Bodemkwaliteit kwalitatief; - Geohydrologie kwalitatief - Zettingen kwantitatief op basis van ontwerp kader. - Grondverzet kwantitatief op basis van het ontwerp (relatieve vergelijking).

De beoordeling van de effecten vindt plaats op basis van een 5-punts +/- schaal met de volgende betekenis:

- ++ groot positief effect
- + positief effect
- 0 (vrijwel) geen effect
- negatief effect
- groot negatief effect

In onderstaande tabel zijn de uitgangspunten opgenomen die worden gehanteerd bij de beoordeling van de effecten.

Criterium	Score	Omschrijving
Bodemkwaliteit	++	n.v.t.
	+	n.v.t.
	0	0 (potentieel) ernstige of spoedeisende bodemverontreinigingen.
	-	1 (potentieel) ernstig of spoedeisende bodemverontreiniging.
	--	2 of meer (potentieel) ernstige of spoedeisende bodemverontreiniging
Geohydrologie	++	n.v.t.
	+	n.v.t.
	0	De verandering in stijghoogte, grondwaterstand, kwel & waterbalans leidt niet tot (grondwater)overlast (< gemiddeld 15 cm verhoging grondwaterstand, < 1 mm kwel, < 1% toename huidig afvoer)
	-	De verandering in stijghoogte, grondwaterstand, kwel & waterbalans leidt tot beperkte (grondwater)overlast (tussen gemiddeld 15 cm – 30 cm verhoging grondwaterstand, tussen 1 mm en 5 mm kwel, tussen 1% - 5 % toename huidig afvoer)
	--	De verandering in stijghoogte, grondwaterstand, kwel & waterbalans leidt tot aanzienlijke (grondwater)overlast (> 30 cm verhoging grondwaterstand, > 5 mm kwel, > 5 % toename huidig afvoer)

Zettingen ⁷	++	n.v.t.
	+	n.v.t.
	0	Restzetting van maximaal 0,1 m.
	-	Restzetting tussen 0,1 m en 0,3 m.
	--	Restzetting > 0,3 m.
Hoeveelheid grondverzet	++	n.v.t.
	+	n.v.t.
	0	er hoeft 0 tot 10.000 m ³ grond afgevoerd worden en 0 tot 100.000 m ³ grond aangevoerd te worden
	-	er moet 10.000 tot 25.000 m ³ grond afgevoerd en 100.000 tot 250.000 m ³ grond aangevoerd worden
	--	er moet meer dan 25.000 m ³ grond afgevoerd worden en meer dan 250.000 m ³ grond aangevoerd worden

5.2

Uitvoeringsmethode

De uitvoeringsmethode is uitgewerkt voor de variant Compact van de West- en Zuidkade en de variant Zandcunet Zuidkade, zoals beschreven in de ontwerpnota. In het ontwerp is uitgegaan van aanbrengen van overhoogte t.b.v. zettingscompensatie in de tijd en qua ruimtebeslag. Extra overhoogte (voorbelaasting) is niet nodig om binnen de beschikbare uitvoeringstijd te voldoen aan de gestelde restzettingseis met toepassing van verticale drains. Opgemerkt wordt dat voor verdere uitwerking gekozen is voor de uitvoeringsvariant met brede stortsteenberm om het uitvoeringsrisico te beperken (NB: bij de uitvoeringsvariant voorbelaasting dient namelijk de effectiviteit van de voorbelaasting (verhoging POP) te worden aangetoond en bij tegenvallende resultaten zijn aanvullende beheersmaatregelen nodig). Voor nadere achtergronden wordt verwezen naar de 'Ontwerpnota dijkversterking Marken – Planuitwerkingsfase, Zuid- en Westkade (VO) en Rozewerf (VO plus)', referentienummer SWNL0218356, status concept, d.d. 20-12-2017.

Algemene uitgangspunten

Voor de varianten zijn de volgende algemene uitgangspunten van toepassing:

- De uitvoering van de versterking wordt gedaan in kleine uitvoeringsvakken van circa 100 m. Te beginnen met bouwvak 1, fase 1 realiseren perswal en opspuiten door middel van een sproeiponton (voorbelaastingsfase 1). Na realiseren van de eerste fase van bouwvak 1 wordt in bouwvak 2 fase 1 gerealiseerd, etc. Zo worden in de voorbelaastingsperiode (aanleg 1 jaar) alle 4 bouwfasen afgerond. Per bouwfase worden de bekledingsmaterialen zoals stortstenen en zetstenen eerst verwijderd tot de hoogte van de betreffende fase. Aan het eind van fase 4 is de Markermeerzijde van de dijk beschermd met stortstenen en is de huidige dijk (klei) nog aanwezig, ten behoeve van de waterveiligheid. Na de zettingsperiode (1 jaar) en afwerkfase (1 jaar) van bijvoorbeeld bouwvak 1 wordt de huidige dijk afgegraven en wordt vrijkomende klei uit dijk vak 1 deels hergebruikt in dijk vak 2, enz.

⁷ Omdat er slechts een fietspad op de dijk ligt, wordt het niet nodig geacht strengere eisen m.b.t. restzetting te stellen voor wegen of verhardingen. Om die reden is dit niet meegenomen als afweging in het beoordelingskader.

- Na het realiseren van de eerste vakken met voldoende waterkerende hoogte en bekleding en waterkerende aansluitingen, kan de bestaande dijk gefaseerd worden afgegraven, de vrijkomende materialen, mits bruikbaar, worden in de volgende vakken hergebruikt. Voor verschillende materialen worden de volgende waarden aangehouden op basis van civieltechnische gronden:
 - 100% van het stortsteen zal worden hergebruikt.
 - 50% van de klei kan worden hergebruikt. De kwaliteit is nu onbekend. Dit zou in een vervolgfase uitgezocht moeten worden.
 - Zetstenen van basalt worden bij de Rozewerf hergebruikt, overig materiaal wordt afgevoerd.
 - 100% van het vrijkomende filtermateriaal wordt hergebruikt als filtermateriaal onder de basalt (overige dijkvakken) en zetstenen van basalt voor de Specials (Rozewerf, vuurtoren, verbindingsdijk en haven).
 - 75% van de vrijkomende straatklinkers wordt ook hergebruikt, er wordt van uitgegaan dat 25% is gebroken of onbruikbaar is.
- De bouwtijd zal bestaan uit 1 jaar aanbrengen voorbelasting (ophoging), 1 jaar zettingstijd en 1 jaar realisatietijd (afwerken) van de dijk, tezamen is de totale bouwtijd 3 jaar.
- Aanbrengen van stortsteen en zandophoging onder de waterstand (eerste fase) gebeurt vanaf het water met drijvend materieel. Boven de waterstand vindt ophoging (tweede, derde en vierde fase) plaats door het uitrijden van het zand.
- Vanwege de uitvoeringsstabiliteit is het niet mogelijk om de ophoging in een slag aan te brengen, uitgegaan wordt van een gefaseerde ophoging in combinatie met geotechnisch monitoring ter bewaking van de uitvoeringsstabiliteit en zettingen.
- Aanvoer van materiaal en materieel zal geschieden over het water. Door het overplaatsen van materiaal en materieel vanaf het water worden de ontsluitingswegen van Marken ontzien. Het materiaal/materieel wordt door middel van een kraan op een ponton met spudpalen over de tijdelijke perswal op de eerste voorbelasting fase geplaatst.
- De materialen welke vrijkomen worden direct verwerkt. Indien dit niet mogelijk is, worden deze opgeslagen in beunschepen/bakken met bovenafdichting op het water.
- Indien er gedurende de werkzaamheden in het stormseizoen (15 oktober – 15 april) schade optreedt aan het buitentalud van de ophoging, bestaande of nieuwe talud van de waterkering, dient de opdrachtnemer deze direct te verhelpen.
- De stabiliteit van de bestaande waterkering mag in de ophoog- en zettingsfase geen schade oplopen aangezien dit gedurende deze tijd de waterkering is. De aangebrachte ophoging is in deze fase geen onderdeel van de waterkering en behoeft nog niet te voorzien worden van een waterkerende bekleding

5.3

Bodemkwaliteit

Ten aanzien van bodemkwaliteit wordt onderscheid gemaakt tussen landbodem en waterbodem. Voor alle alternatieven/varianten geldt dat er aan de landzijde relatief weinig gebeurt wat de bodemkwaliteit beïnvloed. De bestaande dijk zal worden verwijderd, de teensloot blijft liggen.

Aan de waterzijde wordt in alternatief Westkade en in variant Zuidkade, Compact de nieuwe dijk aangebracht bovenop de bestaande waterbodem. In de variant Zuidkade, Zandcunet wordt eerst een veenpakket afgegraven en vervangen door een Zandcunet. Dit gebeurt om de stabiliteit van de dijk te verbeteren (minder zetting).

Effecten Zuidkade

Binnen het plangebied zijn geen bodemverontreinigingen op land aanwezig. In de variant Compact is er alleen sprake van het aanbrengen van nieuwe grond op de waterbodembodem. In de variant Zandcunet wordt eerst een veenlaag afgegraven en vervangen door een Zandcunet. Daarbij komt een grote hoeveelheid baggerspecie vrij. Deze wordt in den natte ontgraven, afgevoerd met een schip naar een nader te bepalen locatie en verwerkt conform de hiervoor geldende wettelijke eisen (afhankelijk van de kwaliteit van het slib, die wanneer voor deze variant wordt gekozen, nader onderzocht moet worden).

De werkzaamheden en de aanpassing van de dijken leidt niet tot verontreiniging / achteruitgang van de toestandsklasse van de (water)bodem.

Effecten Westkade

Binnen het plangebied zijn geen bodemverontreinigingen op land aanwezig. Bij de versterking van de Westkade is alleen sprake van het aanbrengen van nieuwe grond op de waterbodembodem. De werkzaamheden en de aanpassing van de dijken leidt niet tot verontreiniging / achteruitgang van de toestandsklasse van de (water)bodem.

5.4

Geohydrologie

Door de werkzaamheden aan de dijk kan verandering optreden in het grondwatersysteem. Dit kan leiden tot veranderende kwelstromen of verandering in grondwaterstanden, met mogelijk overlast voor woningen of landbouw tot gevolg.

Schematisatie freatische lijn en stijghoogte voor Macrostabieleit

Voor de faalmechanismen Macrostabieleit buiten- en binnenwaarts is het verloop van de freatische lijn en de stijghoogte geschematiseerd.

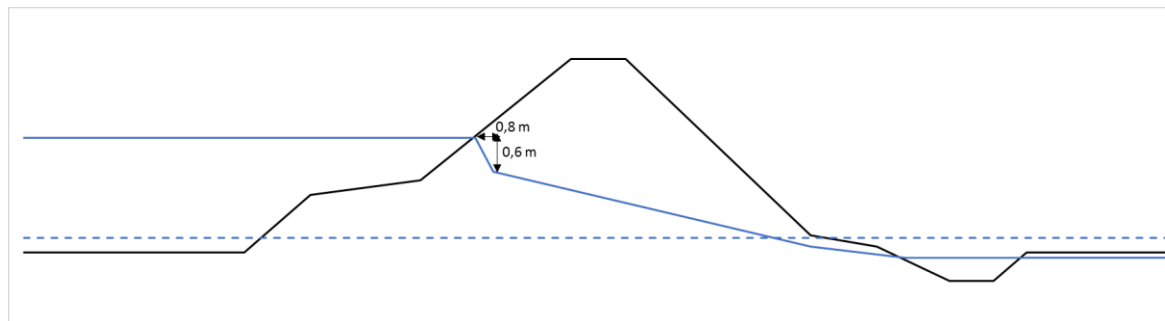
Verloop freatische lijn in dwarsrichting

Voor het ontwerp wordt net als in de Verkenningsfase de schematisatie van de freatische lijn aangehouden conform de werkwijze van Arcadis in de hertoetsing van de Noordkade. De in de deze hertoetsing geschematiseerde freatische lijn is conservatiever dan aangehouden in het document 'Definitief ontwerp Dijkverbetering West- en Zuidkade Marken'. Aangezien de schematisaties van Arcadis gebaseerd zijn op peilbuismetingen worden deze gegevens geprefereerd boven de lijnen in het ontwerp van DHV. Daarmee worden de metingen aan de Noordkade representatief gesteld voor de overige secties. Een nadere onderbouwing van deze afweging en de aangehouden schematisatie van het horizontale verloop van de freatische lijn voor zowel een klei- als een zanddijk is gegeven in Bijlage 2. In de verkenningsfase is het verloop van de freatische lijn niet aangepast ten opzichte van modellering in een hertoets door Arcadis **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden..** In de planuitwerkingsfase wordt dit verloop ook aangehouden voor de situatie met hoogwater. In bijlage 2 staat een onderbouwing van de afleiding.

In de verkenningsfase is de volgende afweging gemaakt: Wanneer een groter overslagdebiet wordt toegelaten, heeft dit mogelijk gevolgen voor het verloop van de freatische lijn. Voor grotere overslagdebieten dan 1,0 l/m/s zijn op dit moment geen handreikingen beschikbaar. Als conservatieve aanname wordt in het OI2014v3 aangehouden dat bij een overslagdebiet van meer dan 1,0 l/m/s het gehele dijklichaam verzadigd is. In overleg met Rijkswaterstaat (intern overleg TM 6 november 2015) is besloten om gezien de opbouw van de dijk bestaande uit klei bij het gehanteerde overslagdebiet van 5,0 l/m/s geen rekening te houden met een volledig verzadigde dijk. Voorwaarde is dat voor de realisatie gebruik wordt gemaakt van ondoorlatende klei voor het dijklichaam alsmede de binnenberm. Aanbevolen wordt om in vervolgfases dit uitgangspunt te heroverwegen en aan te sluiten bij de laatste stand van zaken binnen het OI2014v4 en WBI2017.

Verloop stijghoogte

In de berekeningen wordt een lineaire interpolatie van de stijghoogte vanuit het Pleistocene zandpakket over de basisveenlaag en de kleiige zandlaag (laagpakket van Wormer) richting de freatische waterstand aangehouden. In bovenliggende lagen wordt de freatische waterstand aangehouden.



Figuur 5.1 Schematisatie van freatische lijnen voor kleidijk (getrokken blauwe lijn: freatische waterstand; onderbroken blauwe lijn: stijghoogte)

Stijghoogte diepe zandlagen

In het document 'Definitief ontwerp Dijkverbetering West- en Zuidkade Marken' zijn door DHV peilbuismetingen uit DINO beschouwd om de respons van een stijging van het Markermeerpeil op de stijghoogte in het Pleistoceen en de zandlaag van Calais te bepalen.

Metingen stijghoogte Pleistoceen

De destijds beschouwde peilbuislocaties zijn weergegeven in onderstaand figuur.



Figuur 5.2 Locaties beschouwde peilbuizen

Uit eerdere analyses van GeoDelft naar aanleiding van een storm begin jaren '70 is gebleken dat de gemeten respons in het Pleistocene laagpakket beperkt is. De gemeten respons is 40%.

Tabel 5.1 Respons op basis van stijghoogtemetingen tijdens een storm in 1971

Meting	Basis	Stormsituatie	Vershil
	Hoogte [NAP m]	Stijghoogte [NAP m]	
Meerpeil	-0,48	-0,03	0,45 m
Stijghoogte filter op NAP -25,0	-2,55	-2,37	0,18 m
Respons			40%

De gemiddelde stijghoogte onder dagelijkse omstandigheden wordt op basis van REGIS II (www.dinoloket.nl) en de beschouwde peilbuizen uit DINO (www.dinoloket.nl) aangehouden op NAP -2,5 m.

Metingen stijghoogte laagpakket van Calais

In de periode 2012 – 2013 zijn peilbuismetingen uitgevoerd ter hoogte van de haven en de Noordkade ten behoeve van een hertoetsing. De filters in de betreffende peilbuizen zijn geplaatst rond NAP -1,0 m en NAP -8,0 m. De metingen in de laag op NAP -8,0 m zijn geplaatst in het laagpakket van Calais in een kleiige zandlaag. Gedurende de periode waarin de metingen plaatsvonden is het Markermeerpeil van winterpeil naar zomerpeil en van zomerpeil naar winterpeil gegaan. Deze peilbuizen geven geen (duidelijke) respons aan van de stijghoogte als gevolg van peilverandering op het Markermeer.

In eerdere toetsingen is de kleiige zandlaag tussen NAP -8,0 m en de bovenkant van het Pleistoceen als watervoerende laag (zandlaag van Calais) aangehouden. Op basis van de uitgevoerde waterspanningsmetingen en het ondergrondmodel SOS-

WTI heeft Deltares geconstateerd dat deze laag sterk kleihoudend zijn en afgewisseld met kleilaagjes. Er is in de uitgevoerde sonderingen geen sprake van een hydrostatische opbouw.

Op basis van bovenstaande bevindingen wordt aangenomen dat het laagpakket van Calais niet watervoerend is. De enige als watervoerend beschouwde laag is het Pleistocene zand.

Rozewerf

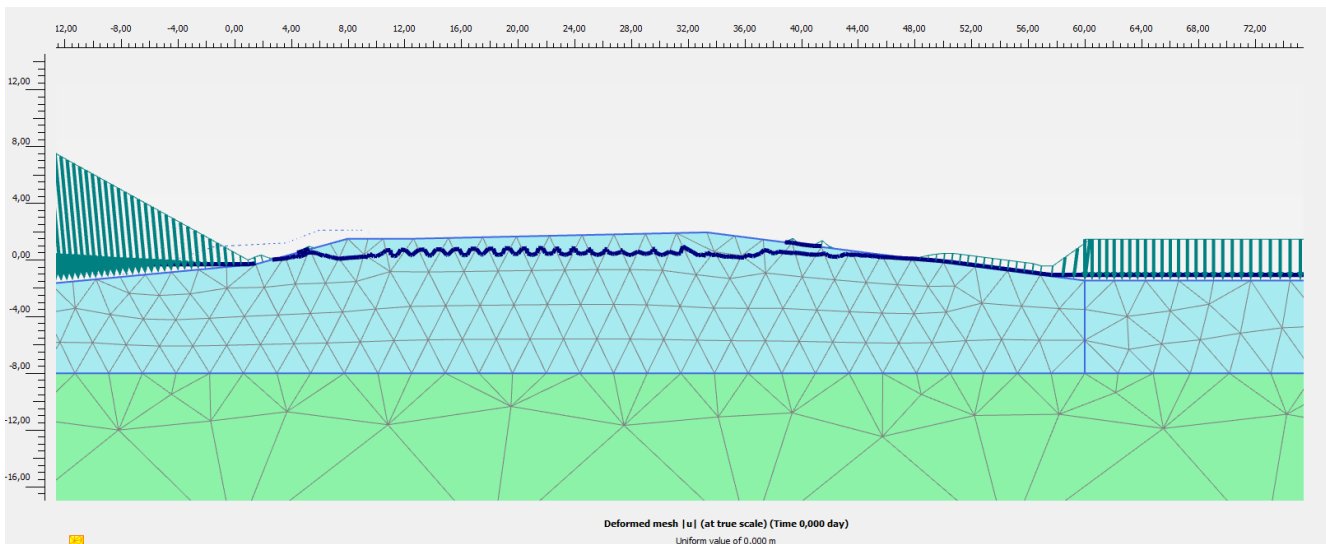
Beïnvloeding grondwaterstand

De voorziene dijkversterkingsmaatregel beïnvloedt de grondwaterstand in de terp van de Rozewerf. Dit komt, doordat zowel de buitendijkse aanvulling als een damwand in de kruin de infiltratie van buitenwater in de dijk beperken. Dit effect wordt barrièrewerking genoemd. Als de grondwaterstand langdurig en structureel lager komt te liggen, dan zullen de korrelspanningen in de terp toenemen en kunnen extra zettingen ontstaan. De kans op schade aan de grotendeels op staal gefundeerde panden op de Rozewerf kan hierdoor toenemen. Als de grondwaterstand langdurig en structureel hoger komt te liggen dan kan de drooglegging van kelders en kruipruimtes minder worden en kan er wateroverlast ontstaan. Beide situatie zijn onwenselijk. Daarom is dit fenomeen nader beschouwd.

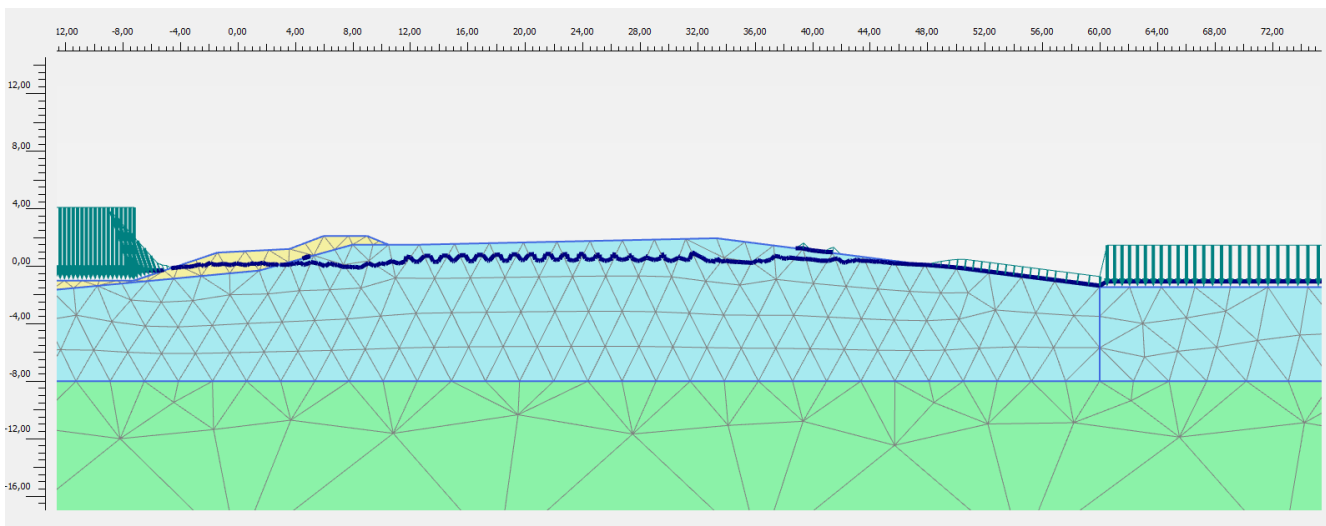
Toekomstige situatie

Voor de Rozewerf is alleen de variant Compact voorzien en niet de variant met Zandcunet in verband met de lokale inpassing (zo beperkt mogelijk verschuiven van de dijk buitenwaarts met handhaving van de bebouwing aan het water). In de toekomstige situatie zal de waterlijn 5 m verder naar buiten komen te liggen. De opbolling in de terp zal hierdoor toenemen. Volgens de Formule van Ernst neemt de opbolling dan met ca. 0,10 m toe. Dit is nog exclusief het waterremmende effect van een damwand in de kruin. Bovendien zal de relatieve gemiddelde grondwaterstand ten opzichte van maaiveld, zonder ingrijpen, in de toekomst toenemen, omdat er sprake is van autonome bodemdaling.

De huidige situatie (zoals gemeten met peilbuizen) en de toekomstige situatie (zoals bepaald met de Formule van Ernst) zijn geverifieerd door middel van een geavanceerde eindige elementenberekening met PlaxFlow (zie figuur 10-17 en figuur 10-18). Dit blijkt vrij complex, omdat het gepaard gaat met lange rekentijden en het programma om onverklaarbare redenen numeriek instabiel kan worden en geen uitkomst geeft. In PlaxFlow moeten waarden worden ingevuld als de bergingsconstanten en stijfheden, die van invloed zijn op de uitkomst, maar die niet nauwkeurig uit het beschikbare grondonderzoek kunnen worden herleid. Een hogere nauwkeurigheid van de Plaxflow-berekeningen is niet haalbaar vanwege de aannames op basis van de beschikbare grondonderzoeksgegevens. Door het rekenen met een driehoeksmesh wordt een golvend verloop van de freatische lijn gevonden, dat niet strookt met de werkelijkheid. Het verkregen resultaat laat zien dat de metingen en analytische berekeningen globaal kunnen worden gereproduceerd, maar leveren nog geen meerwaarde op.



Figuur 5.3 Resultaat PlaxFlow voor de huidige situatie bij de Rozewerf



Figuur 5.4 Resultaat PlaxFlow voor de toekomstige situatie bij de Rozewerf

Conclusies en aanbevelingen

De voorziene dijkversterking met extra grond aan de buitenzijde en een damwand in de kruin zal waarschijnlijk leiden tot een vernatting van de Rozewerf. Dit zal dus niet leiden tot zettingen of schade aan de bebouwing. Wel kan wateroverlast ontstaan door de berekende vernatting, omdat de waterstand in kelders en kruipruimtes iets omhoog gaat. Hiervoor wordt verwezen naar de bovenstaande verrichte analyse naar beïnvloeding van de grondwaterstand in de toekomstige situatie voor de Rozewerf. Op basis van de uitgevoerde analyse is verdroging aan de binnenzijde van de damwand bij de Rozewerf niet te verwachten. Andere fenomenen (golfoverslag, klimaatverandering, autonome bodemdaling) kunnen dit nog versterken.

Aanbevolen wordt om de huidige peilbuismonitoring te continueren om de invloed van de seizoenen beter in kaart te brengen. Geadviseerd wordt om een extra raai met peilbuizen in de kruin en in de Rozewerf te plaatsen om lokale verstoringen van de metingen te kunnen uitsluiten. Aanbevolen wordt om geotechnische monitoring

(meting horizontale en verticale vervormingen) te verrichten ter plaatse van de voorziene ophoging en bebouwing bij de Rozewerf. Bij voorkeur wordt er gemonitord tot een paar jaar na afronding van de dijkversterking om het effect van de dijkversterking goed te kunnen vaststellen.

In het definitieve versterkingsontwerp moet worden getoetst of wateroverlast door vernatting van de terp kan worden uitgesloten. Aanbevolen wordt om achter de damwand in de kruin een regelbare drain te plaatsen. De precieze mate van drainage dient te worden geregeld na oplevering van de dijkversterking op basis van de resultaten van de peilbuismonitoring. Een andere mogelijkheid is het aanbrengen van sparingen in de damwand om de huidige geohydrologische situatie zo weinig mogelijk te wijzigen.

5.5

Zetting

Raakvlak grondonderzoek en OI/WBI:

In verband met de invoering van het OI2014 (versie 4) en WBI2017 moeten de ontwerpberoekeningen voor de dijkversterking in de planuitwerkingsfase uitgevoerd worden met ongedraineerde (CSSM) sterkteparameters voor grondlagen onder de freatische lijn. In het aanvullend grondonderzoek in 2016/2017 [ref 35 en 38] zijn ongedraineerde grondparameters bepaald en opgenomen in het Kader Technische Uitgangspunten (KTU).

Met het KTU wordt invulling gegeven aan het advies van de commissie MER om het OI2014v4 specifiek te maken voor Marken door het uitwerken van de veiligheidseisen, het opnemen van grondparameters, belastingen en overige randvoorwaarden afgestemd op de situatie op Marken.

Op basis van de verrichte gevoeligheidsberoekeningen voor vergelijking van de macrostabiliteit binnen- en buitenwaarts, op basis van gedraineerde sterkte parameters (MC) vanuit de verkenningsfase en ongedraineerde parameters (CSSM) in de planuitwerkingsfase, blijkt dat de stabiliteit binnen- en buitenwaarts fors lager is met de ongedraineerde parameters. Dit wordt verklaard door de lagere schuifsterkte bij toepassing van ongedraineerde parameters. Gevolg is dat in de planuitwerkingsfase de benodigde dimensies van de steunbermen binnen- en buitenwaarts zijn toegenomen.

Zetting

In de ondergrond van Marken zijn slappe veen- en kleilagen aanwezig. Hierdoor is de zettingsproblematiek een belangrijk aandachtspunt binnen deze versterkingsopdracht. Het gaat om zowel verticale vervorming (zetting) als horizontale grondvervormingen. Daarnaast kan er sprake zijn van andere grondvervormingen, zoals squeezing en gronddeformaties door ontgravingen. In de uitwerking van de verschillende alternatieven is uitgebreid gekeken naar de mogelijkheden om de negatieve effecten van gronddeformaties te beperken. Daarnaast is er sprake van autonome bodemdalingsprocessen.

Gronddeformaties kunnen verschillende oorzaken hebben en ten gevolge van vervormingen kunnen verschillende faalmechanismen optreden van een grondlichaam. Oorzaken van gronddeformaties:

- Autonome processen (bodemdaling, klink);
- Ophoging en aanvullingen;
- Afgraving of graven van een cunet/sloot;
- Trillingen (door bv. installeren damwanden).

Bovenstaande oorzaken kunnen o.a. tot de volgende (faal)mechanismen leiden:

- Zetting: samendrukken van grondlagen als gevolg van bovenbelastingen. Vooral klei- en veenlagen ondergaan relatief grote zettingen. Dit is meestal een langdurig proces.
- Horizontale vervorming: aan de randen van ophogingen treden horizontale spanningen op, die leiden tot horizontale vervormingen. De vervormingen kunnen relatief groot zijn en tot een tiental meters voorbij de teen van de ophoging waarneembaar zijn.
- Afschuiving (macrostabiliteit): evenwichtsverlies van weinig draagkrachtige grond t.g.v. bijvoorbeeld ophogingen.
- Squeezing (zijdelingse wegpersing): als een weinig draagkrachtige laag, bovenop een zandlaag, wordt belast door een ophoging, kan de tussenliggende slappe laag horizontaal worden weggeperst. Hierbij zal de onderliggende laag nauwelijks vervormingen ondergaan en de bovenliggende laag zal alleen zettingen ondergaan.

In de ontwerpen van de alternatieven/varianten is reeds zoveel mogelijk rekening gehouden met bovenstaande faalmechanismen. Hierbij is rekening gehouden met squeezing (eenvoudige berekeningen) en op basis van deze berekeningen is squeezing in de maatgevende bouwphase voldoende gewaarborgd. Dit geldt ook voor de uitvoeringsstabiliteit, inclusief geotechnische monitoring (zakbaken en waterspanningsmetingen) tijdens uitvoering. Uitgangspunt is daarom dat alleen zetting nog kan leiden tot effecten. Daarom is voor de alternatieven/varianten een nader onderzoek uitgevoerd naar de restzetting en de eindzetting die optreden na de dijkversterking. In deze berekeningen is de autonome bodemdaling daarbij als hydraulische randvoorwaarden meegenomen.

Toeslagen

In onderstaande tabel zijn opgenomen de toeslagen op meerpeil. Hiernaast worden toeslagen op golfparameters toegepast conform de database en Hydra-NL.

Tabel Fout! Geen tekst met de opgegeven stijl in het document..2 Toeslagen op meerpeil

	Zuidkade	Westkade
Autonome bodemdaling	+0,40 m	+0,25 m
Klimaatverandering	+0,10 m	+0,10 m
Slingering meerpeil	+0,10 m	+0,10 m
Totaal	+0,60 m	+0,45 m

De toeslagen worden meegenomen als een opzet op het meerpeil. Deze werkwijze is in overeenstemming met de Verkenningfase en afgestemd met de Helpdesk water.

Effecten Zuidkade

Bij een dijkversterking waarbij de bestaande dijk wordt aangevuld met grond is de verwachting dat in de veenlagen en het daaronder gelegen slappe kleipakket zetting gaat optreden. Dit kan op langere termijn tot circa 2,5 m oplopen afhankelijk van het alternatief en de locatie in het dwarsprofiel. Voor de Zuidkade zijn voor het representatieve dijkvak 3 onderstaand de zettingen weergegeven.

Voor beide varianten van de Zuidkade is berekend wat de restzetting 2 jaar na oplevering is⁸. Voor de variant Zandcunet is deze op de buitenberm en op de kruin minimaal (minder dan 0,05 m). Voor de variant Compact (met toepassing van

⁸ Ontwerpnota dijkversterking Marken – Planuitwerkingsfase, Zuid- en Westkade (VO) en Rozewerf (VO plus), referentienummer SWNL0218356, status concept, d.d. 20-12-2017

verticale drainage) is deze op de buitenberm en op de kruin 0,10 m. Dit verschil wordt verklaard door de grondverbetering die in variant Zandcunet wordt toegepast. Voor de binnenberm zijn de berekende restzettingen voor beide varianten respectievelijk 0,7 m en 0,4 m en voldoen niet aan de restzettingseis. Ter plaatse van de binnenberm is (aanvullend) toepassing van zettingsversnelde maatregelen (verticale drainage) benodigd om te voldoen aan de restzettingseis.

Voor beide varianten is ook berekend wat de eindzetting (zetting na 50 jaar) is. Hieruit blijkt dat in variant Zandcunet een eindzetting wordt verwacht van 0,2 m op de kruin. De eindzetting van variant Compact ligt een stuk hoger met 2,1 m op de kruin.

Effecten Westkade

De dijk wordt buitenwaarts verplaatst richting tot dusver minder belaste ondergrond. Voor het representatieve dijkvak 10 (met toepassing van verticale drainage) zal een restzetting optreden van 0,2 m op de binnenberm, 0,1 m op de kruin en 0,1 m op de buitenberm. De berekende eindzetting na 50 jaar is fors en bedraagt 3,2 m op de kruin.

5.6

Hoeveelheid grondverzet⁹

De uitvoering van de versterking vindt plaats in kleine uitvoeringsvakken van circa 100 m. Na het realiseren van de eerste vakken kan de bestaande dijk worden afgegraven. De vrijkomende materialen worden, mits bruikbaar, in de volgende vakken hergebruikt. Uitgangspunt is dat het stortsteen voor 100% wordt hergebruikt, van de vrijkomende klei wordt 50% hergebruikt. Omdat nu nog niet bekend is wat de kwaliteit van de vrijkomende klei is, wordt er vanuit gegaan dat de overige 50% niet bruikbaar is. Overige grond (zand, klei) zal worden aangevoerd.

Variant Zandcunet Zuidkade

Bij de variant Zandcunet wordt een deel van de huidige kade afgegraven, maar wordt in het kader van de grondverbetering ook vooral veen uit de waterbodem weggehaald (ca. 205.100 m³).

In de waterbodem wordt voor de opbouw van de nieuwe kade in die plaats zand aangebracht. Een deel van de vrijkomende grond (klei) kan in het werk worden hergebruikt. Het deel dat niet bruikbaar is voor de dijkversterking zal afgevoerd worden.

Daarnaast is voor de dijkversterking voor de variant Zandcunet ca. 39.800 m³ klei, ca. 456.600 m³ zand en ca. 19.800 m³ teelaarde benodigd, dat aangevoerd moet worden.

Grondbalans Zuidkade Zandcunet

Zuidzijde ZandCunet							
	Ontgraven	Benodigd	Afvoeren	Hergebruik	Aankoop		
	m3	m3	m3	m3	m3		
Zand		447.100,00			447.100,00		
Klei*	85.700,00	78.600,00	21.400,00	42.850,00	35.800,00		
Veen	205.100,00		205.100,00				
teelaarde		39.800,00		21.400,00	18.400,00		

⁹ Onderbouwing volgens hoeveelheden bepaling in kostenraming op basis van Civil 3D (AutoCad)

Zuidzijde ZandCunet RW					
	Ontgraven	Benodigd	Afvoeren	Hergebruik	Aankoop
	m3	m3	m3	m3	m3
Zand		9.500,00			9.500,00
Klei*		4.000,00			4.000,00
teelaarde		1.400,00			1.400,00
Klei wat wordt afgegraven , 50% hergebruik als klei, 25 Hergebruik al teelaarde, 25% afvoeren					

Variant Compact Zuidkade

In de variant Compact wordt in de waterbodembodem voor de opbouw van de nieuwe kade geen grondverbetering toegepast, daar vindt dus geen afgraving plaats. Wel wordt uiteindelijk een deel van de huidige kade afgegraven.

Een deel van de vrijgekomen grond van de huidige kade kan in het werk hergebruikt worden. Een deel is niet voor de dijkversterking geschikt en zal afgevoerd moeten worden. Daarnaast is voor de variant Compact ca. 21.400 m³ klei, ca. 343.200 m³ zand en ca. 71.200 m³ teelaarde benodigd, dat aangevoerd moet worden.

Grondbalans Zuidkade Compact

Zuidzijde Compact					
	Ontgraven	Benodigd	Afvoeren	Hergebruik	Aankoop
	m3	m3	m3	m3	m3
Zand		334.500,00			334.500,00
Klei	78.900,00	57.250,00	19.725,00	39.450,00	17.800,00
teelaarde		89.725,00		19.725,00	70.000,00

Zuidzijde Compact RW					
	Ontgraven	Benodigd	Afvoeren	Hergebruik	Aankoop
	m3	m3	m3	m3	m3
Zand		8.700,00			8.700,00
Klei		3.600,00			3.600,00
teelaarde		1.200,00			1.200,00

Klei wat wordt afgegraven , 50% hergebruik als klei, 25 Hergebruik al teelaarde, 25% afvoeren

Aanvoer van grond zal in beide varianten overigens via het water plaats kunnen vinden, waardoor overlast op het eiland door grondtransport beperkt blijft.

Westkade

Aan de noordkant van het eiland komen de Westkade en de Noorkade bij elkaar. Op dit punt takt de Bukdijk af richting vaste land. Onderdeel van het project is dat hier aan de buitenzijde van de Westkade een deel van de Bukdijk plaatselijk met circa 30 cm wordt verlaagd, om zo de continuïteit van de Westkade naar de Noorkade als omringkade duidelijker te profileren.

Voor de dijkversterking aan de Westkade zal uiteindelijk een deel van de huidige kade worden afgegraven een deel daarvan is herbruikbaar. Daarnaast moet ca. 11.100 m³ voor de dijkversterking geschikte klei aangevoerd worden.

En voor de dijkversterking van de Westkade is daarnaast ca. 208.400 m³ zand benodigd en 2.400 m³ teelaarde.

Aanvoer van grond zal overigens via het water plaats kunnen vinden, waardoor overlast op het eiland door grondtransport beperkt blijft.

Grondbalans Westkade

Westzijde Compact							
	Ontgraven	Benodigd	Afvoeren	Hergebruik	Aankoop		
	m3	m3	m3	m3	m3		
Zand		173.300,00			173.300,00		
Klei	40.000,00	23.500,00	10.000,00	20.000,00	11.100,00		
teelaarde		12.400,00		10.000,00	2.400,00		
Klei wat wordt afgegraven , 50% hergebruik als klei, 25 Hergebruik al teelaarde, 25% afvoeren							
N518							
	Ontgraven	Benodigd	Afvoeren	Hergebruik	Aankoop		
	m3	m3	m3	m3	m3		
Zand		35.100,00			35.100,00		
Klei							
teelaarde							

6 Beoordeling en conclusies

6.1 Bodemkwaliteit

Binnen het plangebied zijn aan de Zuidkade en de Westkade voor hoever bekend geen (potentieel) ernstige of spoedeisende bodemverontreinigingen aanwezig. Er treedt daarom geen effect op de bodemkwaliteit op (effectbeoordeling: 0).

In de variant Zandcunet voor de Zuidkade treedt een wijziging in de grondpakketten plaats, door het afgraven van veen en de toplaag van de waterbodem. Deze grond wordt afgevoerd en verwerkt conform de hiervoor geldende wettelijke eisen (afhankelijk van de kwaliteit van het slib, die wanneer voor deze variant wordt gekozen, nader onderzocht moet worden). Wanneer de waterbodem van minder kwaliteit zou zijn, is het verwijderen van een laag en vervangen van deze laag door schone grond (zand) een positief effect. Voor de beoordeling gaan we er vanuit gegaan dat ook dit op de bodemkwaliteit geen effect heeft (effectbeoordeling: 0).

6.2 Geohydrologie

De huidige geohydrologische situatie (geen wijziging geohydrologische situatie) is uitgangspunt geweest voor de ontwerpen voor de nieuwe dijk, om een veilige dijk te ontwerpen. Alle varianten voldoen hieraan, met lokaal toepassing van mitigerende geohydrologische maatregelen. Hierbij moet gedacht worden aan toepassing van een regelbare drain achter de voorziene damwand of sparingen in de damwand ter plaatse van de Rozewerf en aansluitende delen waar een doorlopende damwandscherm in de binnenteen is voorzien. Er is dan ook geen onderscheid en geef effect voor de varianten (effectbeoordeling: 0).

6.3 Zettingen

In de variant Compact voor de Zuidkade wordt de dijk buitenwaarts verplaatst richting tot dusver minder belaste ondergrond. Er vindt in deze variant geen grondverbetering plaats, wel toepassing van verticale drainage. De restzetting van deze variant is daardoor enigszins hoger circa 0,10 m, maar voldoet nog ruim aan de gestelde restzettingseis van 0,30 m voor 50 jaar (planperiode). De restzettingseis is gebaseerd op basis van de inventarisatie van restzettingseisen en resultaten gevoeligheidsberekeningen (separate notitie 'Restzettingseisen Marken, opgesteld door Fugro, d.d. 22 juni 2017 en overgenomen door het Expertteam Techniek). De onzekerheid over het behalen van de restzettingseis binnen de uitvoeringstijd van 2 jaar is groter en dit is beschouwd als een negatief effect (effectbeoordeling -).

In de variant Zandcunet voor de Zuidkade vindt eerst grondverbetering plaats door voor verplaatsing van de dijk eerst een veenlaag af te graven en te vervangen door een zandcunet. Voor deze variant wordt een beperkte restzetting verwacht van 0,03 m. Dit is een beperkte restzetting en wordt daarom beschouwd als een neutraal effect (effectbeoordeling: 0).

Aan de Westkade wordt een restzetting tussen 0,13 en 0,21 m verwacht. De restzetting voldoet aan de gestelde restzettingseis van 0,30 m. Gezien de onzekerheid over het behalen van de restzettingseis binnen de uitvoeringstijd van 2 jaar is dit beschouwd als een negatief effect (effectbeoordeling -).

6.4

Hoeveelheid grondverzet

De dijkversterkingopgave geldt voor de Zuidkade en de Westkade. In het geval van de Zuidkade variant Zandcunet samen met de versterking van de Westkade zal ca. 738.100 m³ grond (zand, klei, teelaarde) aangevoerd worden. Daarnaast zal ca. 205.100 m³ veen aan de zuidzijde afgegraven worden, dat uit de waterbodem wordt weggehaald ten behoeve van de toepassing van grondverbetering. Veen bevat echter veel vocht, dus wanneer dit uit de waterbodem wordt uitgegraven, zal het vocht verliezen en zal de daadwerkelijk af te voeren hoeveelheid kleiner zijn. Ook wordt ca. 31.400 m³ klei afgevoerd.

Gezien de hoeveelheden af te voeren en aan te voeren grond scoort dit zeer negatief (effectbeoordeling: - -).

Bij de combinatie van de Zuidkade variant Compact met de versterking van de Westkade zal ca. 657.700 m³ grond (zand, klei en teelaarde) aangevoerd worden. De hoeveelheid af te voeren klei bedraagt hier ca. 29.725 m³.

Gezien de relatief lagere hoeveelheid aan te voeren (t.o.v. Zuidkade Zandcunet met Westkade Compact) en de veel lagere hoeveelheid af te voeren grond scoort deze combinatie negatief (effectbeoordeling: -).

6.5

Conclusie

De beoordeling levert het onderstaand overzicht op.

Beoordeling	Zuidkade variant Zandcunet	Zuidkade Variant Compact	Westkade Variant Compact
Bodem			
Bodemkwaliteit	0	0	0
Geohydrologie	0	0	0
Zetting	0	-	-
Grondbalans	- -	-	-

Begrippenlijst

- Aanleghoogte: hoogte bij oplevering
- Autonome bodemdaling: bodemdaling die optreedt onafhankelijk van de dijkversterking, in dit geval bestaat het uit tektonische kanteling en bodemdaling door processen als klink en oxidatie
- Eindzetting: de totale hoeveelheid zetting die in 50 jaar optreedt
- Netto ophoging: verschil tussen huidig en toekomstig maaiveld of waterbodem
- Ontwerphoogte: hoogte na 50 jaar, na optreden zetting en autonome bodemdaling
- Overhoogte: de dikte die aangebracht moet worden om de optredende zetting te compenseren (in dit geval gelijk aan zettingscompensatie)
- Restzetting: de hoeveelheid zetting die optreedt na oplevering. Restzetting = eindzetting – zetting tijdens uitvoering
- Voorbelasting: dikte die wordt aangebracht en voor oplevering verwijderd om meer zetting tijdens de uitvoering te laten optreden. Hierdoor wordt restzetting verminderd en de grensspanning verhoogd
- Zettingscompensatie: de dikte die aangebracht moet worden om de optredende zetting te compenseren (in dit geval gelijk aan overhoogte)

Literatuur

Arcadis, 14 april 2017: *Geotechnisch onderzoek Marken, WBI parameters S, m en POP*

DHV, 2012, *Bodemonderzoek*

Inpijl-Blokpoel, 17-10-2016, *Geotechnisch onderzoek, grondboringen*

Sweco - Fugro, 22 juni 2017, *Nota Restzettingen, nummer: 1216-0097-000.TN02v2*

Aanvullende werkzaamheden West-, Zuid- en Noordkade Marken – Geotechnisch veld- en labonderzoek. Fugro, 1315-0132-001.KR01, 10 september 2015;

Geotechnisch onderzoek Marken, 06P002846-RG-01, Inpijn-Blokpoel, 28 november 2016

Sweco, Kader Technische uitgangspunten, 2017

Bijlagen

Bijlage 1: Inpijl-Blokpoel, 17-10-2016, *Geotechnisch onderzoek, grondboringen*

Bijlage 2: Sweco - Fugro, 22 juni 2017, *Nota Restzettingen, nummer: 1216-0097-000.TN02v2*