
Opdrachtgever:

Ministerie van Infrastructuur en Milieu
Rijkswaterstaat
Dienst Programma's Projecten en Onderhoud (PPO)
HWBP2

PROJECTPLAN

Pilot voorlandoplossing Houtribdijk

Ontwerp, uitvoering, monitoring en resultaten

Definitief

28 mei 2014



Rijkswaterstaat
Ministerie van Infrastructuur en Milieu



Colofon

PROJECTPLAN PILOT VOORLANDOPLOSSING HOUTRIBDIJK

OPDRACHTGEVER:

Programmadirecteur Hoogwaterbeschermingsprogramma van Rijkswaterstaat / GPO

STATUS:

Definitief

AUTEUR:

Sonja Ouwerkerk (HKV)

Vincent Vuik (HKV)

Ellis Penning (Deltares)

Henk Steetzel (Arcadis)

GECONTROLEERD DOOR:

Henk Steetzel (Arcadis)

VRIJGEGEVEN DOOR:

Henk Steetzel (Arcadis)

28 mei 2014

EcoShape, Building with Nature

Burgraadt Gebouw

Burgemeester de Raadsingel 69

3311 JG Dordrecht

Tel: +31 (0)78 6111 099

Fax: +31 (0)78 6111 090

E-mail: info@EcoShape.nl

Website: www.EcoShape.nl

Inhoud

1	Inleiding	1
1.1	Achtergronden.....	1
1.2	Doelstelling van het pilotproject.....	2
1.3	Doelstelling van dit rapport.....	2
1.4	Leeswijzer	2
2	Kennisagenda en onderzoeksvragen	1
2.1	Inleiding	1
2.2	Onderzoeksvragen Ontwerp	1
2.3	Onderzoeksvragen Aanleg.....	3
2.4	Onderzoeksvragen Beheer en onderhoud.....	4
2.5	Onderzoeksvragen Toetsing	5
2.6	Onderzoeksvragen Opschaalbaarheid.....	7
2.7	Overzicht onderzoeksvragen	7
3	Locatiekeuze en randvoorwaarden.....	9
3.1	Inleiding	9
3.2	Locatiekeuze.....	9
3.2.1	Markermeer.....	9
3.2.2	Houtribdijk	10
3.2.3	Locatie langs de Houtribdijk.....	10
3.3	Hydraulische randvoorwaarden	13
3.3.1	Meerpeil	13
3.3.2	Lokale waterstand.....	13
3.3.3	Windcondities.....	14
3.3.4	Golfcondities	15
4	Ontwerp van de proefsectie	17
4.1	Inleiding	17
4.2	Typen voorlandoplossingen (in het algemeen).....	17
4.3	Uitgangspunten ontwerp proefsectie.....	19
4.3.1	Veiligheidsontwerp versus ontwerp proefsectie	19
4.3.2	Materiaalkeuze.....	19
4.3.3	Evenwichtsprofiel	19
4.4	Geometrie van de proefsectie	20
4.4.1	Vorm van de proefsectie in bovenaanzicht	20
4.4.2	Stabiele oriëntatie van de waterlijn	20
4.4.3	Afmetingen in bovenaanzicht.....	20
4.4.4	Indeling in proefvakken	21
4.4.5	Taludhelling.....	21
4.4.6	Kruinniveau vlakke deel	23
4.4.7	Geometrie aanvulling in drie dimensies	25
4.4.8	Combinatie met bestaande dijk en bodem.....	Error! Bookmark not defined.
4.4.9	Benodigd zandvolume volgens ontwerpprofiel	28
4.5	Opsluitconstructie.....	28
4.5.1	Type constructie.....	28

4.5.2	Positie damwandconstructie.....	28
4.5.3	Dimensionering damwand.....	29
4.5.4	Sonderingsonderzoek	30
4.5.5	Aansluiting damwand op de dijk	31
4.6	Vegetatie.....	32
4.6.1	Functie van vegetatie.....	32
4.6.2	Indeling in secties, vakken en stroken.....	32
4.7	Toegankelijkheid	34
5	Aanleg van de proefsectie.....	35
5.1	Inleiding	35
5.2	Vorbereidingen	35
5.3	Aanleg proefsectie.....	36
5.3.1	Aanbrengen damwand	36
5.3.2	Aanbrengen zetbakens	36
5.3.3	Aanbrengen zandvolume	36
5.3.4	Profilering taluds.....	36
5.3.5	Aanbrengen holoceen	37
5.3.6	Aanbrengen stuifscherm	37
5.3.7	Aanbrengen vegetatie.....	37
5.3.8	Installeren monitoringsmast en meetinstrumenten	37
5.4	Afrondende werkzaamheden.....	40
6	Vergunningen	41
6.1	Inleiding	41
6.2	Vergunningenregister.....	41
6.3	Vergunningenmanagement	42
6.3.1	Vooroverleggen.....	42
6.3.2	Indienen vergunningaanvragen	43
6.3.3	Controle beschikkingen.....	43
6.3.4	Huidige stand van zaken.....	43
7	Monitoringsprogramma	45
7.1	Inleiding	45
7.2	Nulmeting.....	46
7.3	Monitoringsprogramma	46
7.3.1	Meteorologische en hydraulische condities	46
7.3.2	Morfologische ontwikkeling	47
7.3.3	Vegetatieontwikkeling.....	48
7.4	Databeheer en -analyse	48
8	Project- en organisatiemanagement	49
8.1	Inleiding	49
	Referenties.....	50
	Bijlage A: Afleiding randvoorwaarden	53
	Bijlage B: Voorlandoplossingen	71
	Bijlage C: Evenwichtsoriëntatie oeverlijn.....	75

Bijlage D: Kennisoverzicht vegetatie	81
Bijlage E: Voorbeeld-factsheets	85
Bijlage F: Risicodossier	88

1 Inleiding

1.1 Achtergronden

Voorlandoplossingen in het hoogwaterbeschermingsprogramma

Op dit moment zijn binnen het hoogwaterbeschermingsprogramma (HWBP) verschillende projecten volop in ontwikkeling. Voor een aantal projecten, zoals de dijkversterking van de Markermeerdijk tussen Hoorn en Amsterdam en de Houtribdijk, wordt expliciet een afweging gemaakt tussen het gebruik van traditionele oplossingen voor dijkversterking, en andere, meer natuurlijke alternatieven zoals een voorlandoplossing. Dit wordt gedaan aan de hand van de veronderstelde technische haalbaarheid en inschattingen over de aanwezige onzekerheden en benodigde kosten, en gebeurt binnen de strakke randvoorwaarden van het tijdpad en kenmerkende krachtenveld van een versterkingsproject in uitvoering.

Alternatieve oplossingen blijken in de praktijk veelvuldig te sneuvelen, omdat ze, mede als gevolg van de relatief grote onzekerheden, te duur uit lijken te vallen. Tegelijkertijd leeft wijdverbreid het gevoel dat dergelijke oplossingen, ook op langere termijn, wel degelijk goedkoper kunnen zijn, mits slim ontwikkeld en geïmplementeerd. In het voorjaar van 2013 heeft Rijkswaterstaat WVL daarom een consortium van Ecoshape partners gevraagd een haalbaarheidsstudie uit te voeren naar een proefsectie voorlandoplossing langs de Houtribdijk (Arcadis, 2013).

Deze haalbaarheidsstudie heeft er mede toe geleid dat de Stuurgroep HWBP-2 op 18 september jl. haar goedkeuring heeft verleend aan de ontwikkeling van een Pilot Voorlandoplossing langs de Houtribdijk, als onderdeel van het programma 'Natuurlijk Goedkoper'. Dit programma is op initiatief van de Stichting Ecoshape en in samenspraak met betrokken beheerders tot stand gekomen.

Doel van dit programma is *de onderbouwing van een perspectief op kostenbesparingen (of anderszins relevante meerwaarde) op lopende en toekomstige hoogwaterveiligheidsprojecten via gerichte ontwikkeling en opschaling van kennis en kunde over 'Building with Nature type' voorlandoplossingen.*

Toenemende kansen voor voorlandoplossingen

Er zijn verschillende oorzaken aan te wijzen voor het feit dat zachte oplossingen voor onveilig getoetste harde waterkeringen in de praktijk vaak duurder uitvallen dan een traditionele dijkversterking. Formele leidraden en empirische kennis voor het ontwerpen van meer natuurlijke alternatieven ontbreken, waardoor de ontwerpen veelal nodeloos robuust worden vormgegeven. Daarnaast is men in Nederland niet gewend om de benodigde zandwinning in combinatie met versterking aan te pakken en zijn er (al dan niet terecht) zorgen ten aanzien van de status van natuurlijke keringen (binnen de legger) en het beheer ervan (meer functioneel).

Het gevoel is echter dat door slim te ontwikkelen en te implementeren dergelijke oplossingen wel degelijk goedkoper kunnen zijn. Daarnaast zorgt een aantal trends ervoor dat de toepassing van voorlandoplossingen in toenemende mate interessant is:

- De consequenties van meer traditionele dijkversterkingen worden steeds minder acceptabel voor omwonenden. Waterland, Noordwaard, Hondsbossche en Pettemer Zeewering en de Prins Hendrikdijk op Texel zijn typisch projecten waarbij een zachte oplossing vooral wordt ingegeven door het feit dat een traditionele oplossing zoveel onaantrekkelijker is.

- Voorlanden passen in de ambitie om Nederland mooier te maken (Deltaprogramma, programma 'Naar een rijke Waddenzee').
- Voorlandoplossingen zijn eenvoudiger, sneller en kosteneffectiever op te schalen op het moment dat de hydraulische randvoorwaarden en normstelling worden aangepast.
- Voorlandoplossingen nodigen uit tot het koppelen van grondstromen waarbij vaak ook sprake zal zijn van een PPS-constructie.

1.2 Doelstelling van het pilotproject

Het doel van het pilotproject, waarin een proefsectie met een voorlandoplossing wordt aangelegd, is om in de praktijk zoveel mogelijk kennis op te doen van hetgeen voorlandoplossingen kunnen betekenen voor toekomstige hoogwaterveiligheidsprojecten. Deze kennis moet aansluiten op de vragen die door beleidsmakers gesteld worden bij toepassing in reeds lopende en toekomstige HWBP-projecten. Het ontwerp van de pilot is dan ook nadrukkelijk gericht op kennisontwikkeling, en niet op het leveren van een bijdrage aan een eventueel benodigd versterkingsprogramma voor de Houtribdijk.

Om de kennisontwikkeling te optimaliseren, is een kennisprogramma gedefinieerd, waarin onderzoeksvragen zijn geformuleerd en een monitoringsprogramma is opgesteld.

1.3 Doelstelling van dit rapport

Dit rapport geeft een samenhangend overzicht van de gewenste kennisontwikkeling, het ontwerp, de aanleg, de benodigde vergunningen, het monitoringsprogramma, de het projectmanagement.

Het doel van dit rapport is het vastleggen en inzichtelijk maken van de keuzes die zijn gemaakt bij de totstandkoming van de pilot. Hierdoor wordt kennis geborgd, en een gedetailleerde koppeling tussen ontwerpkeuzes en resultaten van de monitoring mogelijk gemaakt.

Dit overkoepelende rapport heeft tot doel alle voor dit project benodigde informatie op een overzichtelijke manier te bundelen. Onderdelen hiervan kunnen vervolgens worden gebruikt voor de in het contract tussen RWS en EcoShape genoemde bijlagen. Te noemen zijn een bijlage waarin het ontwerp is beschreven alsmede het monitoringsplan en de op te leveren resultaten.

1.4 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 is een overzicht gegeven van de kennisagenda en zijn de vier hoofdthema's (ontwerp, aanleg, beheer en onderhoud en toetsing) toegelicht. Ook de opschaalbaarheid van deze resultaten komt hierbij aan de orde. Vanuit deze hoofdthema's zijn dertien onderzoeksvragen geformuleerd. De beantwoording van deze onderzoeksvragen kan worden gezien als het feitelijke doel van de pilot.

De pilot zelf omvat het ontwerp van de proefsectie (hoofdstuk 3 en 4), de aanleg hiervan (hoofdstuk 5) inclusief het regelen van de benodigde vergunningen (hoofdstuk 6).

Het monitoringsprogramma is beschreven in hoofdstuk 7. Dit monitoringsprogramma vormt de basis voor het zogenaamde werkprogramma waarbinnen de beantwoording van de verschillende onderzoeksvragen gefaseerd plaatsvindt.

In hoofdstuk 8 is aangegeven hoe de organisatie rondom de pilot is vormgegeven. Hierbij is geschetst hoe de betrokken partijen (RWS en EcoShape) samenwerken en welke rollen de verschillende partijen (stuurgroep, projectmanagement, projectteam en begeleidingsgroep) spelen. In dit hoofdstuk is ook ingegaan op daadwerkelijke oplevering van de resultaten van deze pilot.

2 Kennisagenda en onderzoeksvragen

2.1 Inleiding

Het doel van de pilot is de aanleg van een proefsectie en daarmee te komen tot extra kennisontwikkeling over het gebruik van zachte voorlanden binnen de huidige en toekomstige Nederlandse (zoetwater) waterveiligheidsopgaven. De kennisagenda sluit nauw aan op deze doelstelling. De onderliggende hoofdvraag van het kennisprogramma luidt:

Hoe kan een veilige, stabiele en kostenefficiënte voorlandoplossing worden gecreëerd?

Dit is de hoofdvraag voor HWBP2, waarvoor in 2016 een antwoord beschikbaar moet zijn. Om de hoofdvraag te kunnen beantwoorden, is kennis nodig van de volgende vijf deelonderwerpen:

1. het **ontwerp** van een veilig en stabiel voorland,
2. efficiënte **aanleg** van een voorland (inclusief het verkrijgen van vergunningen),
3. de benodigde monitoring en het optimale **beheer en onderhoud**,
4. geschikte **toetsingsmethoden** voor gerealiseerde voorlanden,
5. **opschaalbaarheid** naar locaties met andere karakteristieken, inclusief de meerwaarde vanuit ecologisch en economisch perspectief (medegebruik).

De eerste vier vragen (thema's) raken direct aan de hoofdvraag. De opschaalbaarheid is in deze zin overkoepelend. In de paragrafen 2.2 tot en met 2.6 zijn per deelonderwerp een of meerdere onderzoeksvragen geformuleerd. De combinatie van een geschikt ontwerp en een bijpassend monitoringsprogramma moet resulteren in een antwoord op al de geformuleerde onderzoeksvragen.

2.2 Onderzoeksvragen Ontwerp

1. Wat is de invloed van de taludhelling van het voorland op de effectiviteit en de stabiliteit van het voorland?

Een van de voornaamste ontwerpparameters is de taludhelling van het voorland. Deze bepaalt in belangrijke mate het volume van het voorland, en is daarmee mede bepalend voor de investeringskosten. Hoe flauwer het talud, hoe hoger deze kosten.

Tegenover deze kosten van een flauwer talud staan de baten in termen van effectiviteit en stabiliteit. Hierover is het volgende in kwalitatieve zin reeds bekend:

- Bij een flauw talud is een beperkte waterdiepte aanwezig over een relatief grote afstand. Hierdoor wordt de golfenergie in sterke mate gedissipeerd. De golfaanval op het talud van het voorland en op de hogere deel van de waterkering wordt dus sterker gereduceerd bij een flauw talud dan bij een steil talud.
- De helling van het talud is zowel relevant voor afslag van het profiel tijdens normale en stormcondities, als voor sedimenttransporten in langsrichting.
- Bij een flauw talud is relatief veel areaal beschikbaar waarop vegetatie kan ontwikkelen. Een bijkomend effect van de taludhelling is dat vegetatie zich makkelijker kan vestigen op flau-

were taluds, omdat de golfaanval hier door het deel van het talud onder de waterlijn al relatief sterk wordt gereduceerd. De aanwezigheid van een brede zone van vegetatie levert een aanvullende bijdrage in de dissipatie van golfenergie en reduceert de erosie.

Kwantitatieve kennis van bovenstaande zaken ontbreekt grotendeels. Met de proefsectie wordt beoogd een kwantitatieve relatie te vinden tussen de taludhelling en (1) de stabiliteit van het talud, (2) vestiging en stabiliteit van vegetatie rond de waterlijn en (3) de mate waarin vegetatie bijdraagt aan de stabiliteit van het talud.

2. Kan er gebruik worden gemaakt van een mengsel van zand en holocene klei bij de aanleg van het voorland?

De kosten van de aanleg van een voorlandoplossing worden in hoge mate bepaald door een combinatie van benodigd volume (in m^3 's) en eenheidskosten ($\text{€}/m^3$). Een reductie in de gemiddelde prijs per kuub kan worden verkregen door de toepassing van holocene klei dat (als bovenliggende toplaag) beschikbaar komt bij de winning van zand. Dit goedkopere materiaal zou in de kern van de voorlandoplossing kunnen worden toegepast, waardoor de gemiddelde prijs van de versterkingsoplossing kan reduceren.

In het voortraject is reeds vastgesteld dat dit geen realistische optie is voor aanleg van een voorland langs de Houtribdijk. De holocene klei heeft geen consistentie of verdwijnt gelijk als het in aanraking komt met water. Er bestaat nog een optie om het materiaal eerst te laten drogen, maar dit is een erg dure en tijdrovende methode, waarmee niet voldaan wordt aan de hoofddoelstelling voor het creëren van een kostenefficiënte oplossing.

Een combinatie van zand en holocene klei behoort is mogelijk nog wel een optie bij de Oeverdijk, aangezien op deze locatie grote zettingen worden verwacht. Door 'bunds' aan te leggen kan dit materiaal voor de eerste zetting zorgen.

3. Wat is de invloed van vegetatie in het dwarsprofiel op de effectiviteit en de stabiliteit van het voorland?

Vegetatie beïnvloedt de bodemstabiliteit, de golfdemping op het talud, sedimentatie en erosieprocessen en op termijn de bodemsamenstelling. Op alle zandige vooroevers zal zich na verloop van tijd vegetatie vestigen. Het is echter de vraag welke vegetatie het meest wenselijk is, en of het nodig is deze gewenste vegetatie te stimuleren om op die manier snel en efficiënt een goed ontwikkelde vegetatiebedekking te creëren, die kan bijdragen aan de stabiliteit en dus de veiligheid van de zachte voorlandoptie.

Voor grasdijken (met een veelal steiler talud) is al veel informatie beschikbaar over het effect van verschillende typen gras (dat zich onder invloed van verschillend beheer ontwikkelt) op de stabiliteit van de graslaag als dijkbekleding. Voor andere vegetatietypen, zoals rietkragen in de oeverzone, wilgenbestanden en andere struweeltypen, is hierover in kwantitatieve zin veel minder bekend. Ook de seizoensfluctuatie in de biomassa van de vegetatie beïnvloedt de mogelijke bijdrage van de vegetatie aan de stabiliteit van het talud.

Tijdens deze pilot beogen we een gedetailleerd kwantitatief inzicht te krijgen in de wijze waarop verschillende typen vegetatie bijdragen aan de effectiviteit en stabiliteit van het voorland en op welke wijze daar middels beheer in te sturen is. Op die manier kunnen we bepalen welk vegetatietype het meest effectief en dus meest gewenst is. Door metingen in zowel de zomer en winter worden ook de seizoens-fluctuaties en meerjarige ontwikkelingen gekwantificeerd, zowel voor boven- als ondergrondse biomassa, op zo'n manier dat deze aan kan leveren aan hydro-

morfodynamische modellen die ontwikkelingen in het talud kunnen voorspellen voor zowel zandige als gemengde bodems.

4. Hoe kan een dijk-voorlandstelsel worden ontworpen dat voldoet aan de veiligheidsnormen?

De functie van een voorland voor een nieuw aan te leggen of bestaande dijk is voornamelijk het reduceren van de golfaanval op de dijk. Deze reductie is relevant voor de stabiliteit van de bekleding op het buitentalud en voor de stabiliteit van het binnentalud onder invloed van golfaanval. Een voorland, bestaand uit cohesief materiaal, kan ook invloed hebben op geotechnische faalmechanismen zoals piping en afglijden.

De combinatie van de dijk en het voorland moet voldoen aan de veiligheidsnormen. De veiligheidsnormen worden op korte termijn uitgedrukt in maximaal toelaatbare overstromingskansen van een dijktraject. Deze overstromingskansen zijn gerelateerd aan faalkansen (doorbraakkansen) bij individuele locaties (met bijbehorende dwarsdoorsneden) binnen zo'n traject. De faalkans bij een bepaalde locatie betreft de gecombineerde faalkans voor alle relevante faalmechanismen, waaronder de genoemde mechanismen golfoverslag, stabiliteit van bekleding, afglijden en piping.

Om een faalkans te kunnen berekenen, moet de onzekerheid in de belasting (zoals waterstand en golfcondities) en de onzekerheid in de sterkte worden gekwantificeerd met behulp van kansverdelingen. Het is dus van belang dat dit pilotproject niet alleen de kennis oplevert zoals beschreven in de voorgaande twee vragen, maar deze ook voorziet van een beschrijving van de onzekerheid c.q. spreiding in de resultaten.

Het unieke aan de inzet van Building with Nature voor waterveiligheid is de sterke rol van natuurlijke variabiliteit. Enerzijds leidt dit tot relatief grote onzekerheden, wat leidt tot relatief hoge faalkansen. Anderzijds biedt Building with Nature de mogelijkheid tot een natuurlijke ontwikkeling van de benodigde sterkte. Er is niet alleen een antwoord nodig op de vraag hoe een dijk-voorlandstelsel er direct na aanleg bij zal liggen, maar ook op de vraag hoe de sterkte van het gecombineerde stelsel zich in de tijd zal ontwikkelen. Ook hierbij spelen onzekerheden een centrale rol. Monitoring, beheer en onderhoud kunnen worden ingezet om de ontwikkeling van een voorland bij te sturen en om de onzekerheden te reduceren.

Een belangrijk proces is de zetting van de ondergrond onder druk van het gewicht van het voorland. Deze zetting beïnvloedt eigenschappen van het voorland zoals de kruinhoogte en de positie van de waterlijn (en de vegetatie daaromheen) op het talud.

Methoden en protocollen om al deze aspecten mee te nemen in ontwerp, monitoring, beheer en onderhoud en toetsing ontbreken nog of zijn incompleet. Doel van de pilot is hier zo veel mogelijk informatie aan toe te leveren. Met nadruk moet er op worden gewezen dat het formuleren van een toetsingsprocedure dus geen onderdeel is van deze pilot.

2.3 Onderzoeksvragen Aanleg

5. Hoe ziet het vergunningproces voor de aanleg van een voorland eruit?

Het vergunningenproces voor zachte voorlanden verschilt van het proces voor harde keringen. Bij zachte voorlanden spelen bepaalde aspecten een rol, die voor harde keringen niet relevant zijn, zoals vertroebeling door baggerwerkzaamheden en verstuiving van de toplaag van het voorland. Deze pilot leidt tot een overzicht van de te verwachten procedures en de benodigde vergunningen voor toekomstige projecten, waarbij een voorlandoplossing wordt overwogen.

6. Hoe kan het beoogde talud worden aangelegd met minimale inspanning?

De investeringskosten voor de aanleg van een voorland zijn behalve van het benodigde volume (deelvraag 1) ook afhankelijk van de benodigde profilering van het talud. Wanneer deze zeer precies uitgevoerd moet worden, vraagt dit om meer tijd en kosten dan wanneer hier minder eisen aan worden gesteld. Relevante vragen zijn:

- Welke nauwkeurigheid moet betracht worden bij de aanleg van een voorland met een bepaald volume en een bepaalde taludhelling?
- Kunnen de werkzaamheden in één werkslag uitgevoerd worden?
- Hoe kan rekening gehouden worden met mogelijk optredende zettingen?
- Welke rol speelt de natuur bij het ontstaan van een talud met een bepaalde evenwichtshelling?

7. Hoe kan de beoogde vegetatie zo snel mogelijk worden gerealiseerd?

Om zo snel mogelijk een stabiel voorland gecreëerd te hebben, is het nuttig vegetatie zo snel mogelijk te laten ontwikkelen zodat het kan bijdragen aan deze stabiliteit, en daarmee aan de veiligheid. Grondsamenstelling beïnvloedt het type vegetatie dat zich daar ontwikkelt. Op zandige bodems komen andere soorten voor dan op bodems van gemengde samenstelling (naast zand ook silt en klei en organische fracties, samen met de bijbehorende voedingsstoffen). We verwachten dat het bijmengen van holoceen materiaal uit het Markermeer een positieve invloed zal hebben op de snelheid van vestiging en dat er in deze gemengde bodems ook een robuustere vegetatie kan ontwikkelen.

Deze vraag hangt samen met vraag 3, welke ook antwoord geeft op de vraag wat de meest ideale en dus beoogde vegetatie is. Deze vraag richt zich specifiek op de wijze van aanleg van de vegetatie. Is de aanlegstrategie van invloed op de snelheid van de ontwikkeling, en in welke mate heeft de keuze van de soortensamenstelling en bodemsamenstelling hierbij een rol? De aanlegstrategie kan worden opgedeeld in spontane vestiging, inzaaien, inplanten en het toevoegen van rijsmatten in de oeverlijn, waarvan bekend is dat vegetatie zich er moeilijk kan vestigen door de hoge dynamiek.

2.4 Onderzoeksvragen Beheer en onderhoud

8. Welk beheer en onderhoud is benodigd voor het behoud van een stabiel talud?

Langs de Nederlandse kust treedt regelmatig duinafslag op. Onder invloed van golven en wind wordt materiaal tijdens rustigere weeromstandigheden echter weer omhoog gebracht in het profiel, waardoor een natuurlijk, dynamisch evenwicht ontstaat. Dit herstellende potentieel is niet op alle locaties (voldoende) aanwezig.

Naast afslag tijdens stormen speelt ook structurele erosie een rol. Wanneer langdurig sprake is van scheve golfaanval ten opzichte van de oeverlijnoriëntatie, treedt netto langstransport op,

waardoor herverdeling van het sediment optreedt. Dit proces kan leiden tot terugschrijdende erosie voor (een deel van) de proefsectie. Na enige tijd resulteert dit in instabiliteit van het talud.

De balans tussen structurele erosie, afslag tijdens stormen en natuurlijk herstel van stormschade bepaalt de stabiliteit van het talud op lange termijn. Mogelijk is deze balans zodanig dat beheer en onderhoud nodig zal blijken te zijn. Indien dit het geval is, moet duidelijk worden om welk type onderhoud dit gaat, en bij welke grenstoestand overgegaan moet worden tot onderhoud. Beheer en onderhoud zijn gerelateerd aan monitoring (vraag 12).

9. Welk beheer en onderhoud is gewenst voor de ontwikkeling en instandhouding van vegetatie?

De aan- of afwezigheid van vegetatie zal de erosie en sedimentatiedynamiek op het talud beïnvloeden. Omdat vegetatie zich door de tijd heen ontwikkelt, is het mogelijk dat beheer en onderhoud nodig zijn om een gewenst vegetatietype in stand te houden. Van grasdijken is bijvoorbeeld bekend dat het maaien en afvoeren van het maaisel leidt tot stevigere wortelstelsels en dat dit type beheer dus bijdraagt aan dijkveiligheid. Ook het type bemesting is daarin sturend bij grasdijken. Vegetatie op grasdijken is niet gebaat bij veel eenjarigen, die in het winterseizoen als zaden in de bodem wachten op het volgende groeiseizoen en dus juist in die periode niet bijdragen aan de stabiliteit van het talud.

In deze pilot zullen we als bemestingsvorm een deel van het talud van extra holoceen materiaal voorzien in de toplaag om te kwantificeren hoeveel dit bijdraagt aan een robuster vegetatietype (meer, en sterkere boven- en ondergrondse biomassa).

Over de wijze waarop we beheer en onderhoud exact zullen toetsen is nog weinig concreets te zeggen zolang niet duidelijk is wat de beoogde vegetatie exact is, en hoe snel die zich zal vestigen en ontwikkelen. Pas als dat duidelijk is kan worden nagedacht over het 'wanneer en waarom' daarna moet worden ingegrepen als de vegetatie 'te oud', 'te open', 'te kwetsbaar' wordt. In deze pilot ligt de nadruk op (wilg-)struweel en riet als meest logische vegetatie op de voorlanden. Daarom zal de nadruk liggen op een langjarige ontwikkeling in plaats van kortdurende fluctuaties (de seizoensgebonden biomassaveranderingen niet meerekenend). We voorzien dat er twee jaar na aanleg pas meer duidelijkheid is te geven op de vraag hoe we het effect van verschillende typen beheer in de relatief korte periode van 4 jaar effectief kunnen kwantificeren door bijvoorbeeld verschillende secties te snoeien.

2.5 Onderzoeksvragen Toetsing

10. Hoe kan getoetst worden of een dijk-voorlandstelsel voldoet aan de veiligheidsnormen?

In principe is het eenvoudiger om een bestaand dijk-voorlandstelsel te toetsen aan de veiligheidsnormen dan om dit te doen voor een ontwerp (onderzoeksvraag 3). Bij een bestaand systeem is meer kennis beschikbaar over de actuele toestand van het voorland, en de optredende ontwikkeling in de tijd. Hierdoor reduceren de onzekerheden, en voldoet mogelijk een voorland met kleinere dimensies dan bij de aanleg noodzakelijk werd geacht. Om dergelijke beslissingen te kunnen nemen, zijn toetsprotocollen voor dijkbeheerders noodzakelijk.

11. Wat is de rol van vegetatie in de toetsing?

Vegetatie zal bijdragen aan de wijze waarop het talud zich vormt, maar is aan seizoendynamiek onderhevig. Daardoor is het belangrijk te kwantificeren hoe vegetatiedichtheid en type bijdraagt aan de lange termijn ontwikkeling van het talud en daarmee aan de additionele veiligheid die de vegetatie biedt ten opzichte van het kale talud. Vegetatiedynamiek moet dus meegenomen worden in de nieuw te ontwikkelen toetstingsmethodieken voor zachte voorlanden. Waar voor grasdijken al veel bekend is, geldt dat niet voor riet- en (wilgen-)struweel. De focus in de pilot ligt dan ook op het vullen van deze kennisleemtes.

Het kunnen kwantificeren van de invloed van vegetatie op de morfologische ontwikkelingen van het talud middels modellen helpt bij het vervolgens kunnen opschalen naar nieuwe situaties. Onzekerheden met betrekking tot de vegetatieontwikkelingen zullen hierbij van groot belang zijn.

Deze pilot beoogt validatie data te generen over het effect van vegetatie en gemengd sediment op een stabiel voorland die nodig is om een goed toetsingskader voor zachte voorlanden te ontwikkelen. Daarbij zijn zowel metingen in de dagelijkse omstandigheden als ook onder extreme situaties nodig. Deze validatiedata wordt ingezet om generieke kennis om te zetten in bruikbare en betrouwbare modellen en tools die nodig zijn voor een toetsingskader voor zachte voorlanden.

Idealiter wordt de validatiedata onder extreme omstandigheden gecreëerd middels een proef in de deltagoot, zodat er op gecontroleerde manier een hoge kwaliteit data gegenereerd kan worden voor situaties met verschillende vegetatiedichtheid, sedimentsamenstelling, en vegetatietype. Op die manier is de gootproef ook gelijk de toets die aantoont of de geteste situatie tegen extreme condities bestand is.

12. Welke monitoringsfrequentie is nodig om de veiligheid van het systeem te waarborgen?

Beheer en onderhoud spelen een belangrijke rol bij de ontwikkeling van de faalkans van het dijk-voorlandstelsel in de tijd. Om te kunnen beslissen over al dan niet benodigd beheer en onderhoud, is periodieke monitoring nodig. Naast periodieke monitoring, kan incidentele monitoring worden ingezet om de impact van zware stormen op het systeem in kaart te brengen.

Systeemcomponenten die monitoring behoeven met het oog op veiligheid zijn het zandvolume, vorm en erosiebestendigheid van het talud en de toestand van de vegetatie. De benodigde monitoringsfrequentie hangt af van de snelheid van de mogelijk op te treden achteruitgang in sterkte van het voorland, en van de toestand van het systeem in relatie tot veiligheidsnormen (oversterkte). Wanneer de (over)sterkte van het systeem toeneemt in de tijd, kan mogelijk de monitoringsfrequentie worden teruggebracht na verloop van jaren.

Deze pilot beoogt een zo efficiënt mogelijke monitoring van de eerste vier jaar van een zacht voorland uit te voeren. Daarnaast zal ook moeten worden nagedacht over de vraag hoe monitoring op langjarige schaal plaats moet vinden. Welke parameters moeten met welke frequentie worden gemonitord om de veiligheid op lange termijn te garanderen. Deze pilot beoogt hiervoor richtlijnen op te stellen.

2.6 Onderzoeksvragen Opschaalbaarheid

13. Hoe kan de proefsectie worden opgeschaald naar locaties met andere karakteristieken?

De aanleg van een proefsectie met een voorland langs de Houtribdijk is nadrukkelijk een pilot-project. Het doel van een pilotproject is het opdoen van kennis, waardoor voorlanden ook op andere locaties kunnen worden toegepast. De proceskennis die uit de veldmonitoring komt, wordt benut bij het ontwikkelen van beter gekalibreerde rekenmodellen om generieke voorspelkracht te krijgen voor het functioneren van zachte voorlandoplossingen. Generieke kennis van de talud in relatie tot de hydraulische forcering e

Het betreft vooral de opschaalbaarheid van kennis op het gebied van de invloed van vegetatie en gemengd sediment op de stabiliteit van het talud.

Het pilotproject moet het potentiële toepassingsbereik van voorlandoplossingen duidelijk maken, wat opschaling van dit type Building with Nature oplossingen mogelijk maakt. Opschaling moet mogelijk zijn voor al de genoemde hoofdthema's: ontwerp, aanleg, beheer en onderhoud en toetsing. Relevante aspecten daarbij zijn bijvoorbeeld:

- verschillen in hydraulische belastingen,
- verschillen in bodemligging en beschikbare ruimte,
- verschillen in mogelijkheden voor vegetatieontwikkeling met oog op de connectiviteit met aansluitende gebieden,
- verschillen in benodigde realisatie- en onderhoudskosten,
- verschillen in omgevingseffecten en vergunningverlening,
- verschillen in beheer en onderhoud,
- verschillen in toetsprotocollen,
- Verschillen in meerwaarde van een voorlandoplossing voor bijv. recreatie en ecologie.

2.7 Overzicht onderzoeksvragen

In Tabel 2-1 is een samenvattend overzicht gegeven van de eerder in meer detail beschreven onderzoeksvragen.

Hoofdthema	Onderzoeksvraag	Opmerking
A - Ontwerp	1 - Taludhelling	
	2 - Gebruik mengsel	
	3 - Invloed vegetatie	
	4 - Veiligheidsontwerp	
B - Aanleg	5 - Vergunningenproces	
	6 - Efficiënte aanleg	
	7 - Vegetatie initiatie	
C - Beheer en onderhoud	8 - Behoud stabiel talud	
	9 - Instandhouding vegetatie	
D - Toetsing	10 - Toetsprotocollen	
	11 - Rol vegetatie	
	12 - Monitoringsfrequentie	
Opschaalbaarheid	13 - Toepassingsbereik	

Tabel 2-1: Overzicht onderzoeksvragen.

De pilot richt zich op het beantwoorden van de beschreven onderzoeksvragen. De opschaling is specifiek van belang voor het gebruik van deze resultaten binnen andere reeds lopende of toekomstige projecten. De beantwoording van genoemde onderzoeksvragen zal in de loop van het project plaatsvinden. In hoofdstuk 8 is hiervoor een stappenplan uitgewerkt.

3 Locatiekeuze en randvoorwaarden

3.1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt beschreven hoe de locatiekeuze voor de proefsectie tot stand is gekomen. Vervolgens wordt een overzicht gegeven van de geldende meteorologische en hydraulische randvoorwaarden op deze locatie.

3.2 Locatiekeuze

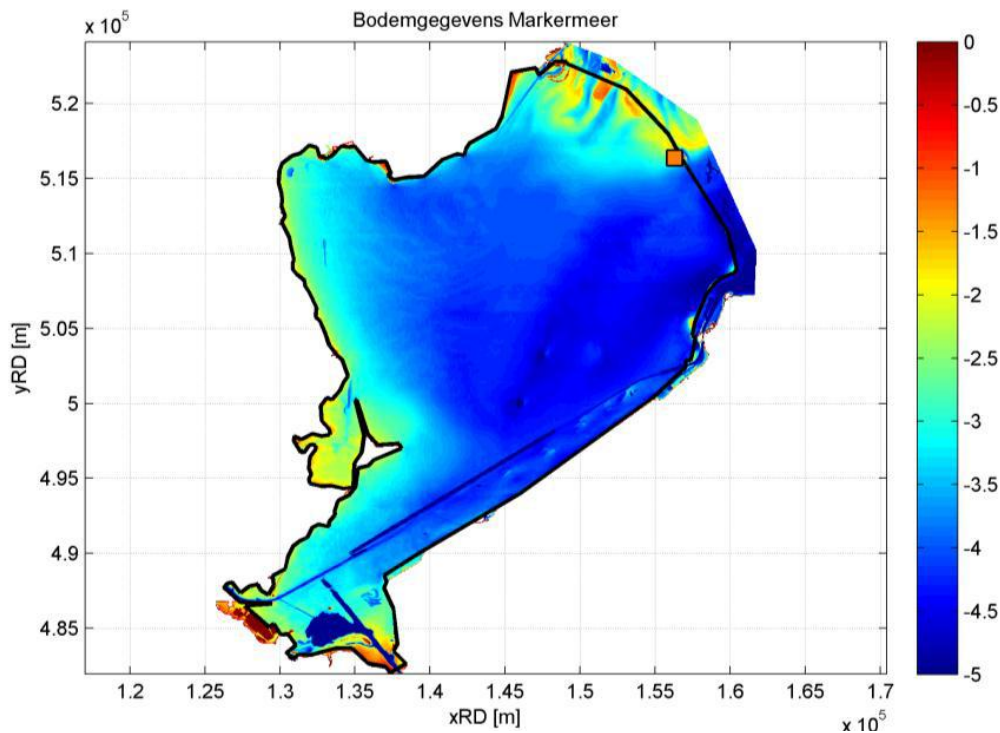
Bij de locatiekeuze spelen de volgende aspecten een voorname rol:

1. Kosten voor de aanleg van een proefsectie met een voorland;
2. Te verwachten complicaties voor het verkrijgen van de benodigde vergunningen;
3. Heersende belastingcondities die een bepaalde locatie van een voorlandoplossing op voorhand interessant maken;
4. Verschillende praktische aspecten, zoals bereikbaarheid.

3.2.1 Markermeer

Er is gekozen voor het Markermeer als watersysteem voor de aanleg van een proefsectie met een voorlandoplossing. Hiervoor zijn verschillende redenen.

Het Markermeer is betrekkelijk ondiep (zie Figuur 3-1), waardoor een voorland met een relatief beperkt volume kan worden gerealiseerd, en dus kostentechnisch interessant kan zijn. Dit is een van de bijkomende voordelen voor de keuze van een voorland als voorkeursalternatief voor de dijkversterking van de Markermeerdijk tussen Hoorn en Amsterdam.



Figuur 3-1 Bodemgegevens van het Markermeer [m+NAP] op basis van het 'Actueel Diepte Bestand IJsselmeergebied' uit 2005.

In het Markermeer zijn door peilbeheer de meerpeilvariaties beperkt. Zeker in het winterseizoen wordt het streefpeil van NAP-0,40 m vrij consequent gehandhaafd, hoewel het gemiddelde meerpeil rond NAP-0,30 m ligt. De belasting van de dijken rond het Markermeer wordt dan ook sterk gedomineerd door de heersende windcondities. De maatgevende belastingcondities zijn hierdoor vrij voorspelbaar, en ontstaan bij opwaaiing in combinatie met golfaanval. Bij het ontwerp van een voorland (positionering van stabiele taluds en vegetatie) kan dankbaar gebruik worden gemaakt van deze voorspelbaarheid.

3.2.2 Houtribdijk

De Houtribdijk lijkt een ideaal traject langs het Markermeer om een dergelijke proefsectie aan te leggen om de volgende redenen:

1. Kosten: er is hier een relatief ondiepe vooroever aanwezig, wat de benodigde zandvolumes, en daarmee de realisatiekosten beperkt houdt. Daarnaast is er in de directe omgeving zand (zandwinputten en vaarweg Amsterdam Lemmer) en klei (bodem Markermeer) beschikbaar, wat de kosten per kuub drukt.
2. Vergunningverlening: De omgeving is weinig complex, wat vergunningverlening vereenvoudigt.
3. Heersende belastingcondities: de golfaanval is in deze hoek van het Markermeer het sterkst door de dominantie van de zuidwestelijke windrichting.
4. Praktische aspecten: vanwege de weg die over de dijk loopt is een proefsectie in principe goed toegankelijk tijdens de aanleg en de monitoring.

3.2.3 Locatie langs de Houtribdijk

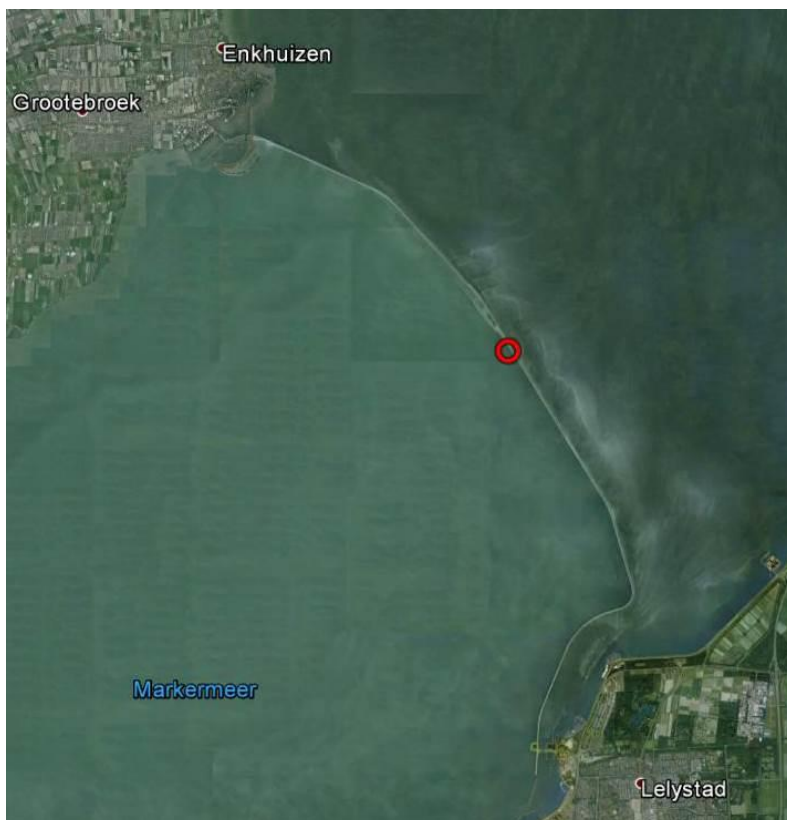
Uit Figuur 3-1 blijkt dat het Markermeer langs de Houtribdijk aan de zijde van Lelystad aanmerkelijk dieper is dan aan de zijde van Enkhuizen. Op basis van benodigd volume ligt daarom een

locatie nabij Enkhuizen voor de hand. In dit gebied bevindt zich echter waardevolle natuur (waaronder het Enkhuizerzand), waardoor aanleg van een pilot hier vergunningtechnisch moeilijk zou kunnen zijn. Er is daarom gekozen voor een locatie ter hoogte van Trintelhaven, zie Figuur 3-2. Hier is de diepte nog relatief beperkt, maar zijn minder beperkingen te verwachten met het oog op natuurwaarden.

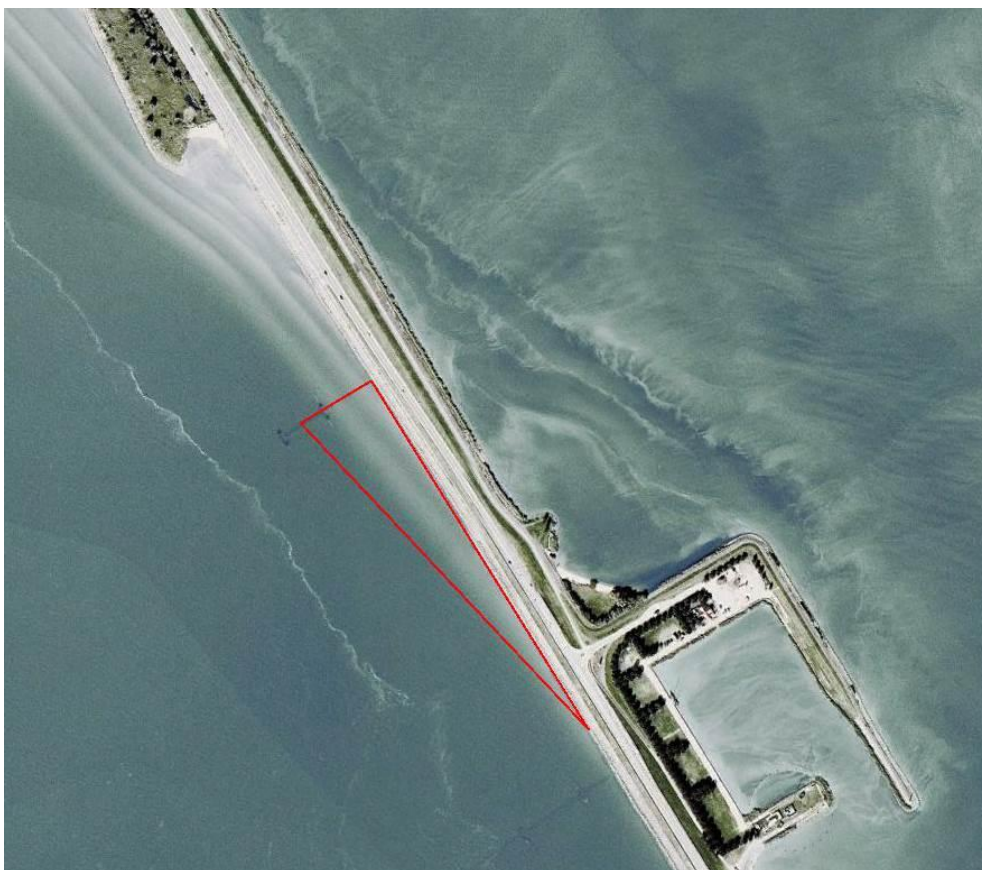
De dijk bij Trintelhaven is ook om andere reden een geschikte locatie voor de proefsectie: bij Trintelhaven is tijdsgemiddeld sprake van scheve golfaanval waardoor er, in combinatie met een opsluitconstructie aan de noordwestzijde, een in langsricting stabiele driehoekige proefsectie kan worden gerealiseerd. De zandige uitbouw varieert daarmee binnen de proefsectie 'automatisch' in omvang waarmee dus mogelijkheid bestaat om in een enkele proefsectie meerdere varianten van een zandige versterking te onderzoeken. Figuur 3-3 toont de geometrie van het Markermeer ter hoogte van Trintelhaven (het haventje aan de IJsselmeerzijde van de Houtribdijk). De ligging van de waterlijn bevestigt de invloed van scheve golfaanval op deze locatie.

De aanwezigheid van de vegetatie ten noorden van Trintelhaven (Figuur 3-4) maakt duidelijk dat het ontstaan van een begroeid voorland in deze omgeving in principe goed mogelijk is, waarbij wel gezegd moet worden dat de op deze foto zichtbare begroeiing zich achter een dam bevindt.

Tenslotte biedt de parkeerplaats bij Trintelhaven een mogelijkheid tot keren en parkeren.



Figuur 3-2 Beoogde locatie van de proefsectie langs de Houtribdijk ter hoogte van Trintelhaven



Figuur 3-3 Geometrie van het Markermeer ter hoogte van Trintelhaven (januari 2005)



Figuur 3-4 Vegetatie en zandstrand in het Markermeer, ten noorden van Trintelhaven (mei 2009)

Figuur 3-5 geeft een beeld van de huidige situatie langs de dijk. Op deze positie zal de proefsectie worden aangelegd.



Figuur 3-5 Talud van de Houtribdijk aan de Markermeerzijde ten zuiden van Trintelhaven (januari 2014)

3.3 Hydraulische randvoorwaarden

In deze paragraaf worden de hydraulische randvoorwaarden gepresenteerd, zoals die van toepassing zijn ter plaatse van de te realiseren proefsectie. De afleiding van de randvoorwaarden is te vinden in bijlage A.

3.3.1 Meerpeil

Het meerpeil is gedefinieerd als de gemiddelde waterstand in het Markermeer. In de winter is het streefpeil NAP-0,40 m. In de zomer (d.w.z. vanaf 10 april tot en met 20 september), wanneer de kans op hoge afvoeren en zware stormen kleiner is, is het streefpeil gesteld op NAP-0,20 m.

Het gemeten winterpeil op het Markermeer ligt gemiddeld ongeveer 0,10 m boven streefpeil, op NAP-0,30 m. Om veiligheidsredenen blijft dit winterpeil in alle scenario's (hoekpunten) van het DP IJsselmeergebied gehandhaafd op NAP-0,30 m (DP IJsselmeergebied, 2011). Zie paragraaf A.1 uit bijlage A voor aanvullende informatie.

Volgens de huidige meerpeilstatistiek wordt ongeveer 1 keer per winterhalfjaar een waarde van NAP -0,23 m overschreden op het Markermeer. Bij terugkeertijden van 10 en 100 jaar behoren meerpeilen van respectievelijk NAP-0,01 en NAP+0,21 m.

Meer details over de meerpeilstatistiek zijn te vinden in bijlage A, paragraaf A.1.

3.3.2 Lokale waterstand

De lokale waterstand is afhankelijk van het eerder genoemde meerpeil in combinatie met de effecten van op- of afwaaiing. Opwaaiing bij de Houtribdijk treedt voornamelijk op bij zuidwes-

telijke wind. Extreme waterstanden langs de Houtribdijk zijn derhalve sterk windgedomineerd. Dit houdt in dat extreme waterstanden zeer waarschijnlijk optreden bij een combinatie van een gemiddeld meerpeil en een hoge windsnelheid vanuit richting (W)ZW. Paragraaf A.2 uit bijlage A geeft een nadere onderbouwing van deze karakteristiek.

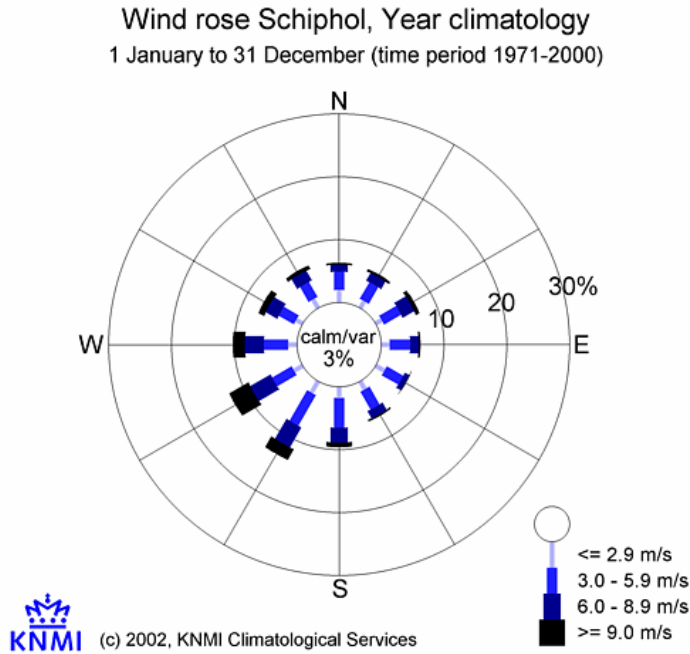
Het rekenmodel Hydra-Zoet geeft op basis van de HR2006-database bij een terugkeertijd van 10 jaar een lokale waterstand van NAP+0,55 m. Bij terugkeertijden van 50, 100, 1000 en 10.000 jaar neemt de berekende waterstand toe tot respectievelijk 0,76, 0,85, 1,20 en 1,55 m t.o.v. NAP. Al deze waterstanden hebben betrekking op winterhalfjaren. Meer details over de waterstandstatistiek zijn te vinden in bijlage A, paragraaf A.2. De waterstand die gemiddeld 1 keer per jaar wordt overschreden, valt buiten het bereik van Hydra-Zoet. Deze zal echter in de orde van NAP+0,50 m+ liggen.

3.3.3 Windcondities

Paragraaf A.3 uit bijlage A toont de windcondities, zoals deze van toepassing zijn voor het Markermeer. In het kader van de afleiding van de Hydraulische Randvoorwaarden is voor het Markermeer de statistiek voor KNMI-station Schiphol van toepassing. Voor extreme windcondities wordt een windsnelheid gegeven, behorend bij een bepaalde overschrijdingskans. Voor gemiddelde windcondities ligt het meer voor de hand om overschrijdingsduren te beschouwen in plaats van overschrijdingskansen.

Tabel A-6 uit bijlage A bevat per windrichting en per overschrijdingskans een windsnelheid. De windsnelheden zijn potentiële windsnelheden. Voor toepassing in waterbewegingsmodellen en golfmodellen dienen de waarden nog omgerekend te worden naar openwaterwindsnelheden. Voor minder extreme windcondities (meer dan 1 keer per jaar optredend) kan Tabel A-7 gebruikt worden. De tabel toont per windrichting de windsnelheden die in een bepaald percentage van de tijd worden onderschreden.

Figuur 3-6 toont de inhoud van Tabel A-7 in de vorm van een windroos. Uit deze windroos blijkt opnieuw de dominantie van de windrichtingen tussen W en ZZW. Dit zijn precies de windrichtingen waarbij de golfaanval op de Houtribdijk maximaal is.



Figuur 3-6 Windroos voor de potentiële windsnelheid bij Schiphol (www.knmi.nl/samenw/hydra)

3.3.4 Golfcondities

Paragraaf A.4 uit bijlage A toont de golfcondities, zoals deze van toepassing zijn voor het Markermeer, ter plaatse van de Houtribdijk bij Trintelhaven. Het golfklimaat is bepaald op basis van de in paragraaf A.3 beschreven windstatistiek in combinatie met een database met SWAN-resultaten. De SWAN-resultaten zijn door Arcadis gegenereerd ten behoeve van het project Oeverdijk Markermeer. Er is gerekend met een gecombineerd Delft3D-SWAN model, waardoor opwaaiing en golfgroei simultaan zijn gesimuleerd. De golfcondities zijn van toepassing op het winterhalfjaar, bij een meerpeil van NAP -0,40 m.

De hoogste golven worden gevonden bij windrichtingen rond ZW. Dit in verband met de dominantie van deze windrichting en de noordoostelijke positie van de Houtribdijk ten opzichte van het Markermeer. De tabellen A-12 t/m A-15 tonen per windrichting en per overschrijdingskans de waarden voor de parameters significante golfhoogte, piekperiode, golfrichting en lokale waterstand.

4 Ontwerp van de proefsectie

4.1 Inleiding

In dit hoofdstuk worden alle relevante aspecten van het ontwerp van de proefsectie besproken en onderbouwd. Het hoofdstuk start met een overzicht van typen voorlandoplossingen in het algemeen. Vervolgens volgen de uitgangspunten voor het ontwerp, de geometrische eigenschappen van de proefsectie, de opsluitconstructie, de vegetatie en de toegankelijkheid van het gebied.

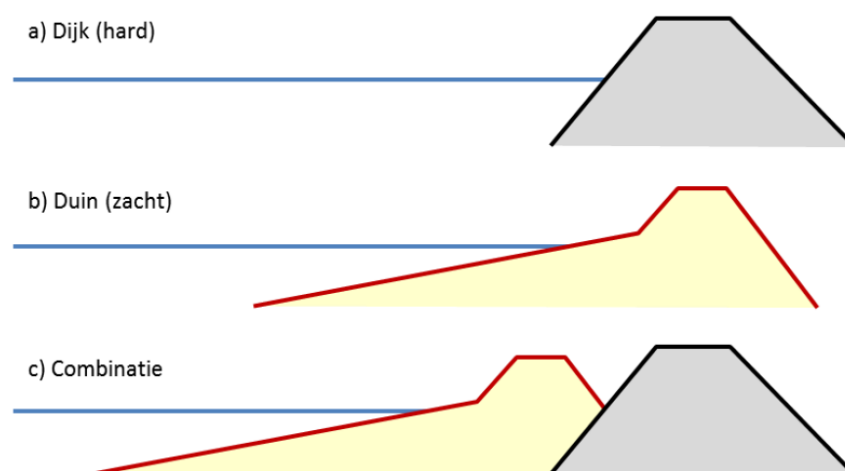
4.2 Typen voorlandoplossingen (in het algemeen)

Gewoonlijk worden drie hoofdtypen natuurlijke keringen onderscheiden (Ecoshape, 2011):

1. Volledig zachte keringen: bij deze oplossing verliest de huidige dijk zijn functie als primaire kering. Voorbeelden zijn het vervangen van een dijk door een duin of de aanleg van een zelfstandige oeverdijk voor de bestaande dijk.
2. Hybride keringen: een combinatie van vegetatie en/of een grondlichaam (bijvoorbeeld een vooroever) die de golfbelasting vermindert en een dijk.
3. Verrijkte harde keringen: dit zijn dijken die zijn verrijkt met structuren en ruwheid waardoor er meer mogelijkheden worden geboden voor natuur. Deze structuren en ruwheid kunnen daarbij golfremmend werken en zo een bijdrage leveren aan de veiligheidsopgave.

Voor een zandige versterking van een dijk in het algemeen en de Houtribdijk in het bijzonder, zijn er in principe meerdere mogelijkheden, welke grofweg variëren van het toevoegen van erg veel zand tot het aanbrengen van een zandige aanvulling van slechts beperkte omvang. Deze hele range van mogelijkheden is in deze rapportage aangeduid als een voorlandoplossing.

In Figuur 4-1 is het principe van een dergelijke zandige oplossing geschetst. De bovenste afbeelding geeft hierbij de feitelijke referentiesituatie weer met een hard element (dijk) als waterkering. De tweede afbeelding illustreert een zachte waterkering waarbij de kering feitelijk wordt vormgegeven door de combinatie van een vooroever, strand en een duin (duinwaterkering).



Figuur 4-1 Schematische weergave harde, zachte en gecombineerde waterkering (met dijk, duin en combinatieoplossing; waterlijn heeft betrekking op maatgevende omstandigheden).

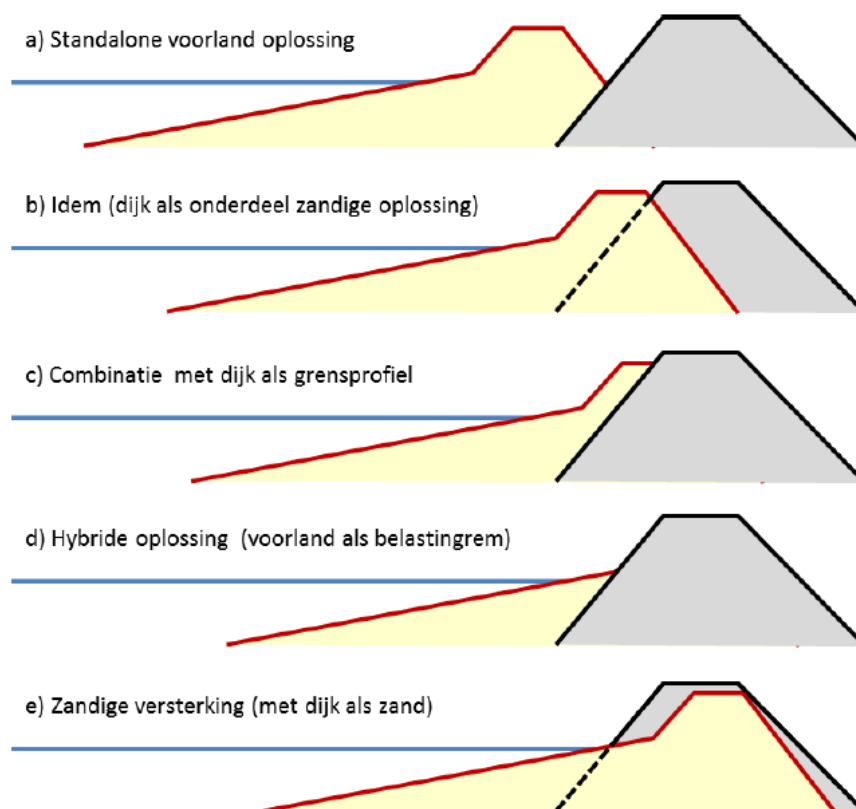
De hier beschouwde voorlandoplossing is, qua principe, geschetst in de onderste afbeelding. Het idee hierachter is dat de combinatie van de harde dijk en een zachte voorlandaanvulling een veilige waterkering oplevert.

Voor het oplossen van een veiligheidsprobleem van een bestaande dijk zijn er twee oplossingsrichtingen, namelijk:

1. het constructief versterken van de huidige dijk (om zo het sterktetekort op te lossen) of
2. het uitwerken van een combinatieoplossing waarbij het sterktetekort van de huidige dijk wordt gemitigeerd door het toevoegen van extra sterkte door middel van een voorland.

De voorliggende uitwerking richt zich op deze laatste oplossingsrichting: de voorlandoplossing. Centraal daarbij staat de rol die de huidige dijk binnen de gecombineerde versterkingsoplossing heeft.

De omvang van de benodigde veiligheidsversterking hangt direct samen met de rol van de huidige dijk binnen de nieuwe waterkering. De hierbij relevant geachte mogelijkheden zijn geschetst in Figuur 4-2. Hierbij neemt de omvang van de (benodigde) zandige aanvulling geleidelijk af.



Figuur 4-2 Schematische weergave mogelijke combinatieoplossingen met afnemende omvang benodigde zandige aanvulling.

Hierbij kan onderscheid worden gemaakt worden tussen:

- De volledig zandige oplossingen: optie a) en b);
- Een 'dijk-als-grensprofiel'-oplossing: optie c);
- Een hybride oplossing: optie d);
- Een 'duin-in-dijk-oplossing' (met dijk als zandlichaam): optie e).

In bijlage B zijn deze algemene oplossingsrichtingen nader beschreven.

4.3 Uitgangspunten ontwerp proefsectie

Deze paragraaf beschrijft enkele uitgangspunten, die zijn gehanteerd bij het ontwerpen van de proefsectie met een voorlandoplossing voor de Houtribdijk.

4.3.1 Veiligheidsontwerp versus ontwerp proefsectie

De voorlandoplossingen, zoals geschetst in de voorgaande paragraaf, hebben alle betrekking op een daadwerkelijke oplossing voor een veiligheidsprobleem van een bestaande dijk. Het doel van de pilot is, zoals beschreven in paragraaf 1.2, het ontwikkelen van kennis, en niet het (op voorhand) leveren van een bijdrage aan een eventueel benodigd versterkingsprogramma voor de Houtribdijk.

De kennis die beschikbaar komt moet wel bruikbaar zijn voor reeds lopende en toekomstige versterkingsprojecten binnen het HWBP. Vanwege de doelstelling van de pilot zullen bij het ontwerp van de proefsectie de concepten rond maatgevende afslag en sterkte van de achterliggende dijk worden losgelaten.

4.3.2 Materiaalkeuze

Het uitgangspunt is dat het voorland als een volledig zandige constructie zal worden gedimensioneerd. Inzet van holocene klei van de bodem van het Markermeer vereist ruimte (in verband met vloeijing van dit zeer dunne materiaal) en tijd (in verband met consolidatie). Gezien de kleinschaligheid van dit pilotproject en het strakke tijdschema is het gebruik van holocene klei als kernmateriaal daarom geen optie. Feitelijk is als onderdeel van het ontwerpproces dus al een eerste resultaat van een beantwoording van de onderzoeksvragen beschikbaar gekomen.

In hoofdstuk 5 zal worden besproken of en op welke wijze deze klei wel ingezet kan worden voor het stimuleren van vegetatieontwikkeling.

4.3.3 Evenwichtsprofiel

Omdat een volledig nieuw dwarsprofiel moet worden geconstrueerd, lijkt het verstandig om bij de vormgeving van het ontwerpprofiel reeds te anticiperen op de te verwachten profielontwikkeling. Deze benadering is aangeduid als de 'evenwichtsvariant'. Feitelijk komt dit erop neer dat de vorm van het ontwerpprofiel min of meer aansluit bij de aan het eind van een zware winterse storm te verwachten profielligging. De consequentie hiervan is dat het effect van dergelijke stormen op de profielvorm feitelijk marginaal wordt. Het door de natuur gewenste profiel ligt er dan immers al, en de inkomende golfenergie wordt optimaal gedissipeerd.

Ook voor normale omstandigheden geldt dat het ontwerpprofiel zo goed mogelijk moet aansluiten op de van nature te verwachte profielvormen. Dit levert niet alleen grote voordelen op ten aanzien van het onderhoud van dit deel van het dwarsprofiel, maar leidt mogelijk ook tot een reductie van de effectieve belasting op het hogere deel van het talud waardoor ook de mogelijkheden tot vegetatieontwikkeling worden vergroot.

Omdat er op voorhand onzekerheid aanwezig is over de feitelijke helling van het evenwichtsprofiel, is er bij de vormgeving van de proefsectie voor gekozen om verschillende hellingen te

hanteren (zie paragraaf 4.4.5). Op deze wijze kan inzicht worden verkregen over de daadwerkelijk optimale taludhelling.

4.4 Geometrie van de proefsectie

Deze paragraaf beschrijft de geometrische karakteristieken van het ter plaatse van Trintelhaven ontworpen voorland.

4.4.1 Vorm van de proefsectie in bovenaanzicht

Zoals in paragraaf 3.2.3 al kort is genoemd, zal een in langsrichting stabiele driehoekige proefsectie worden gerealiseerd. De zandige uitbouw varieert daarmee binnen de proefsectie 'automatisch' in omvang waarmee dus mogelijkheid bestaat om binnen deze proefsectie meerdere varianten van een zandige versterking te onderzoeken. Tijdens een hevige storm zal een deel van de proefsectie bijvoorbeeld de eigenschappen hebben van een standalone voorlandoplossing, terwijl een ander, smaller deel de eigenschappen heeft van een golfremmend voorland (hybride kering).

Bij Trintelhaven is sprake van scheve golfaanval. Dit betekent dat het mogelijk is een zandige uitbouw aan te leggen die onder evenwichtsomstandigheden qua waterlijn een hoek maakt met de huidige dijk. Om structureel zandverlies te voorkomen, moet er aan de noordwestzijde een opsluitconstructie (dam) komen. Deze wordt besproken in paragraaf 4.5.

Naast de opsluitconstructie komt de voorlandoplossing te liggen. Deze wordt in zuidoostelijke richting steeds minder breed. Op deze manier kunnen eenvoudig verschillende proefvakken worden gedefinieerd, met elk een andere functie. Een breed (en voldoende hoog) voorland biedt veel ruimte voor natuurwaarden rond de waterlijn én kan tijdens een hevige storm de eigenschappen hebben van een standalone voorlandoplossing. Een smaller voorland biedt ruimte voor natuurontwikkeling, en maakt het onderzoeken naar het gedrag van een hybride kering mogelijk.

4.4.2 Stabiele oriëntatie van de waterlijn

Omdat een stabiele oriëntatie van de proefsectie een cruciale rol speelt is hieraan extra aandacht besteed bij de invulling van de proefsectie. Het resultaat daarvan is opgenomen in bijlage C. Deze uitwerking laat zien dat de gemiddeld stabiele oriëntatie van de waterlijn op de proeflocatie ongeveer overeenkomt met een 1:5 belijning ten opzichte van de dijk. Dit betekent dus dat de waterlijn per 100 m in noordoostelijke richting 20 m verder uit de dijk komt te liggen. Onder deze omstandigheden zal er gemiddeld genomen dus sprake zijn van een situatie waarbij er slechts in beperkte mate netto langstransport van materiaal aanwezig is.

4.4.3 Afmetingen in bovenaanzicht

Er is in de haalbaarheidsstudie gekozen voor een lengte van 450 m langs de dijk. Dit resulteert bij een 1:5 belijning in een breedte van ongeveer 90 m ter plaatse van de opsluitconstructie en ter hoogte van de doorsnijding van het talud met het winterpeil.

4.4.4 Indeling in proefvakken

Het voorland van 450 m is ingedeeld in vijf vakken. Bezien van noordwest naar zuidoost worden eerst vier vakken met een lengte van 100 m aangelegd (gemeten langs de Houtribdijk). Deze vakken verschillen onderling qua taludhelling (paragraaf 4.4.5) en vegetatie (paragraaf 4.6). Het resterende vak, waarin de breedte terugloopt tot nul, heeft een lengte van 50 m. Dit vijfde vak heeft geen directe functie.

4.4.5 Taludhelling

Bij het kiezen van een taludhelling voor de verschillende proefvakken zijn de volgende overwegingen relevant:

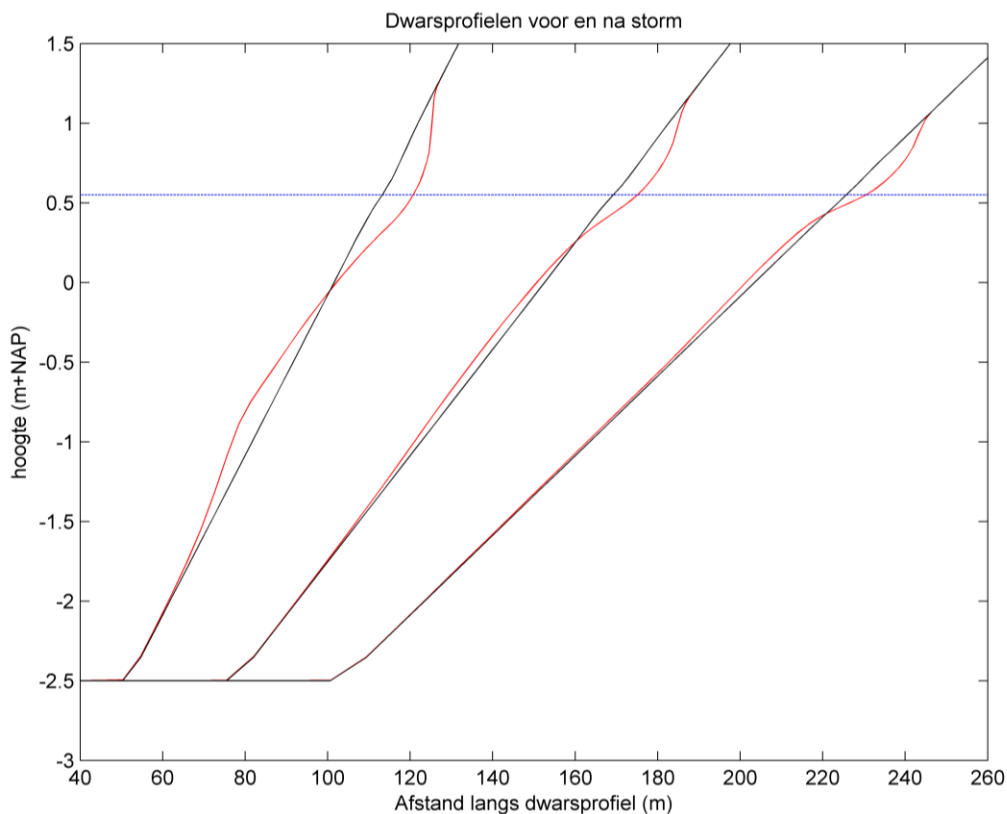
1. Het is raadzaam om het talud zo veel mogelijk in evenwicht aan te leggen, zodat er geen grote vervormingen optreden tijdens stormcondities.
2. Een belangrijk doel van de proefsectie is onderzoek doen naar mogelijke kostenbesparingen. Optimistische aannames zijn in een pilot mogelijk, en kunnen proefondervindelijk getoetst worden. Een relatief steil talud is daarom aan te bevelen.
3. Bij een flauw talud is veel areaal beschikbaar waarop vegetatie zich kan ontwikkelen. De golfaanval op een flauw talud wordt onder de waterlijn relatief sterk gereduceerd, waardoor de oeverzone rustiger is en er meer kans is dat vegetatie zich kan vestigen en handhaven.
4. Voor de acceptatie van begroeide vooroevers als veilige kering is kennis nodig over de stabilisatie van taluds door vegetatie. Bij een talud dat onbegroeid al zeer stabiel is, kan dit effect niet of niet goed worden onderzocht. Het talud moet daarom niet te flauw worden aangelegd.
5. Bij te veel variaties in taludhelling neemt de onderlinge vergelijkbaarheid van delen met verschillende typen topklaar en vegetatie (zie hoofdstuk 5) af. Daarom worden in deze proefsectie slechts twee taluds getest.

Het mag duidelijk zijn dat de overwegingen conflicteren, en dat er een zeker evenwicht gevonden moet worden. Een juiste taludhelling (ook met inbegrip van het effect van vegetatie) is een onderzoeksresultaat, en het is moeilijk om hier vooraf een gedegen onderbouwde keuze voor te maken.

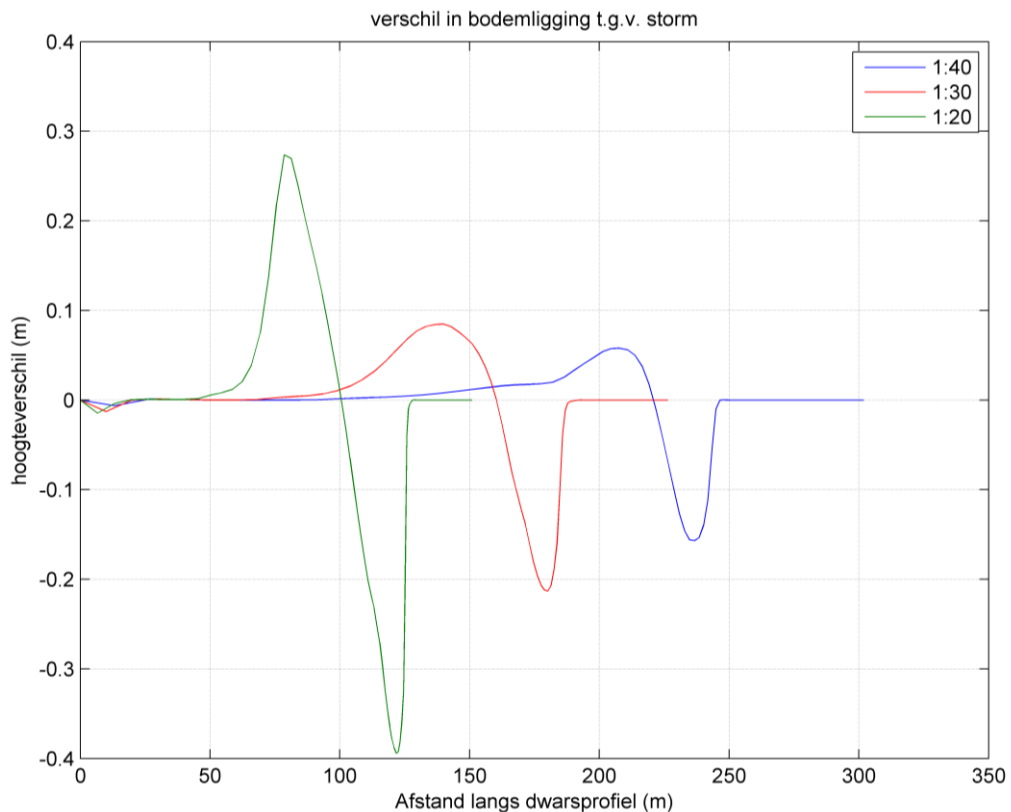
Om de gevoeligheid van de morfologische veranderingen op de taludhelling in beeld te brengen, zijn enkele verkennende berekeningen uitgevoerd met XBeach (1D). Het betreft berekeningen van een kaal, zandig talud ($D_{50} = 200 \mu\text{m}$) bij een helling van 1:20, 1:30 en 1:40. Er zijn condities opgelegd met een terugkeertijd van gemiddeld 10 jaar. De waterstand bij deze condities bedraagt NAP 0,55 m. De maximale golfhoogte wordt gevonden bij ZW wind: een significante golfhoogte van 1,19 m, met een piekperiode van 4,85 s en een golfrichting van 213 graden t.o.v. noord. Zie bijlage A voor de herkomst van deze getallen. De achterliggende windstatistiek heeft betrekking op maxima tijdens een winterhalfjaar, die minimaal 1 uur aanhouden. Als stormduur in de simulaties is 5 uur gekozen. Ook voor en na deze 5 uur zal de storm aanwezig zijn, maar zal de waterstand dalen en de golfhoogte afnemen.

De resultaten van deze indicatieve berekeningen zijn weergegeven in Figuur 4-3 (bodempligging voor en na de storm) en Figuur 4-4 (verschil in bodempligging ten gevolge van de storm). Zoals verwacht neemt het morfologische effect van de golfaanval toe met een toenemende taludhelling. Opvallend is dat de morfologische veranderingen sterker toenemen bij een toename van

1:30 naar 1:20 (toename afgeslagen volume van 66%) dan bij een toename van 1:40 naar 1:30 (toename van 40%).



Figuur 4-3 Resultaten van de berekeningen met XBeach zonder vegetatie en op basis van een zandlichaam bij (van links naar rechts) een talud van 1:20, 1:30 en 1:40. In zwart de initiële profielen, in rood de profielen na afloop van de storm.



Figuur 4-4 *Verskil in bodemligging na storm bij een talud van 1:20, 1:30 en 1:40 (zonder vegetatie, op basis van zand).*

In het veiligheidsontwerp voor de Oeverdijk Markermeer (Arcadis, 2012) is een taludhelling van 1:40 gekozen. Vanwege (1) onderzoek naar mogelijke kostenbesparingen, en (2) het mogelijk maken van onderzoek naar het effect van vegetatie op taludstabiliteit is het raadzaam om voor de pilot langs de Houtribdijk iets minder conservatief te zijn. Het betreft hier immers geen daadwerkelijk veiligheidsontwerp, maar een proefsectie.

We kiezen daarom 1:30 als uitgangspunt. De twee breedste vakken krijgen deze taludhelling. Om het effect van variaties in taludhelling in beeld te brengen, krijgen het derde en vierde vak een helling van 1:25. Ook op basis van de resultaten van de gepresenteerde XBeach-berekeningen lijkt 1:20 namelijk wel erg optimistisch te zijn.

Als 1:30 te steil zal blijken te zijn als evenwichtsprofiel, zal de natuur zelf een evenwichtsprofiel met een flauwere helling bewerkstelligen. Het is dan wel zaak om voldoende zandvolume hoog in het profiel te hebben, zodat het kantelen van het talud niet leidt tot het 'verdrinken' van de proefsectie. Met de dimensies van de pilot van 450 bij 90 m (paragraaf 4.4.3) is er bij een 1:40 talud ruimte voor een vlakke kruin in het brede deel van de proefsectie. Dezelfde oeverlijn zal worden aangehouden bij 1:30. Dit resulteert in een relatief brede horizontale kruin. Er is dan ruimte voor profielkanteling met behoud van de kruinhoogte (paragraaf 4.4.6).

4.4.6 Kruinniveau vlakke deel

De kruin bij het breedste deel van de proefsectie wordt zodanig hoog neergelegd, dat deze naar verwachting gedurende de looptijd van de proef gevrijwaard wordt van golfaanval. Op deze manier zullen golven ook tijdens zware stormen nog op het talud aangrijpen, en niet over de kruin heen slaan.

We kiezen condities met een terugkeertijd van gemiddeld 10 jaar als uitgangspunt. De waterstand bij deze condities bedraagt 0,55 m+NAP. De maximale golfhoogte wordt gevonden bij ZW wind: een significante golfhoogte van 1,19 m, met een piekperiode van 4,85 s en een golfrichting van 213 graden t.o.v. Noord. Zie bijlage A voor de herkomst van deze getallen.

Voor golfoploop wordt veelal de gemiddelde golfperiode $T_{m-1,0}$ gebruikt in plaats van de piekperiode T_p . De relatie tussen beide luidt:

$$T_{m-1,0} \approx 0,91 \cdot T_p = 4,41 \text{ s}.$$

De golflengte (op diep water) bedraagt dan:

$$L_0 = \frac{g}{2\pi} T_{m-1,0}^2 = 30 \text{ m}.$$

Op het Markermeer is tijdens deze stormcondities geen sprake van diep water. De vereenvoudiging van de dispersierelatie waar deze uitdrukking van de golfsteilheid op is gebaseerd is dan eigenlijk niet van toepassing, maar leidt tot een conservatieve bovengrens van de berekening van de golfoploop tegen het talud. De golfsteilheid op diep water s_0 is:

$$s_0 = \frac{H_s}{L_0} = 0,04.$$

Bij een talud van 1:30 leiden bovenstaande golfkarakteristieken tot de volgende waarde voor de brekerparameter ξ_0 (ook wel bekend staand als het Iribarren getal):

$$\xi_0 = \frac{\tan \alpha}{\sqrt{s_0}} = 0,17.$$

Het Technisch Rapport Golfoploop en Golfoverslag bij Dijken (TAW, 2002) geeft de volgende uitdrukking voor het 2% golfoplooppniveau (verticaal gemeten, 2% van de tijd overschreden):

$$z_{2\%} = 1,75 \cdot H_{m0} \cdot \gamma_b \cdot \gamma_\beta \cdot \gamma_f \cdot \xi_0,$$

waarin γ_b , γ_β en γ_f correctiefactoren zijn voor respectievelijk de aanwezigheid van een berm, scheve golfinval en ruwheid van het talud. Voor de pilot is alleen een reductie als gevolg van scheve golfinval relevant ($\gamma_\beta = 0,97$). Dit leidt tot een 2% golfoplooppniveau van $z_{2\%} = 0,34 \text{ m}$.

We kiezen de kruinhoogte twee maal het golfoplooppniveau boven de waterstand van NAP+0,55 m, waardoor het kruinniveau op NAP+1,23 m moet komen te liggen.

De formule uit TAW (2002) is primair van toepassing op dijken, met steilere taluds dan het zandige 1:30 talud van de vooroever. Ter vergelijking beschouwen we daarom de uitdrukking van Stockdon et al. (2006), die een representatieve waarde voor de golfoploop beschrijft voor uiteenlopende stranden. Voor lage waarden van het Iribarren getal ($\xi_0 < 0.3$) geeft hij voor het 2% golfoplooppniveau $z_{2\%}$:

$$z_{2\%} = 0,043 \cdot \sqrt{H_{m0} \cdot L_0} = 0,26 \text{ m}.$$

Deze waarde leidt tot een kruinniveau van NAP+1,07 m.

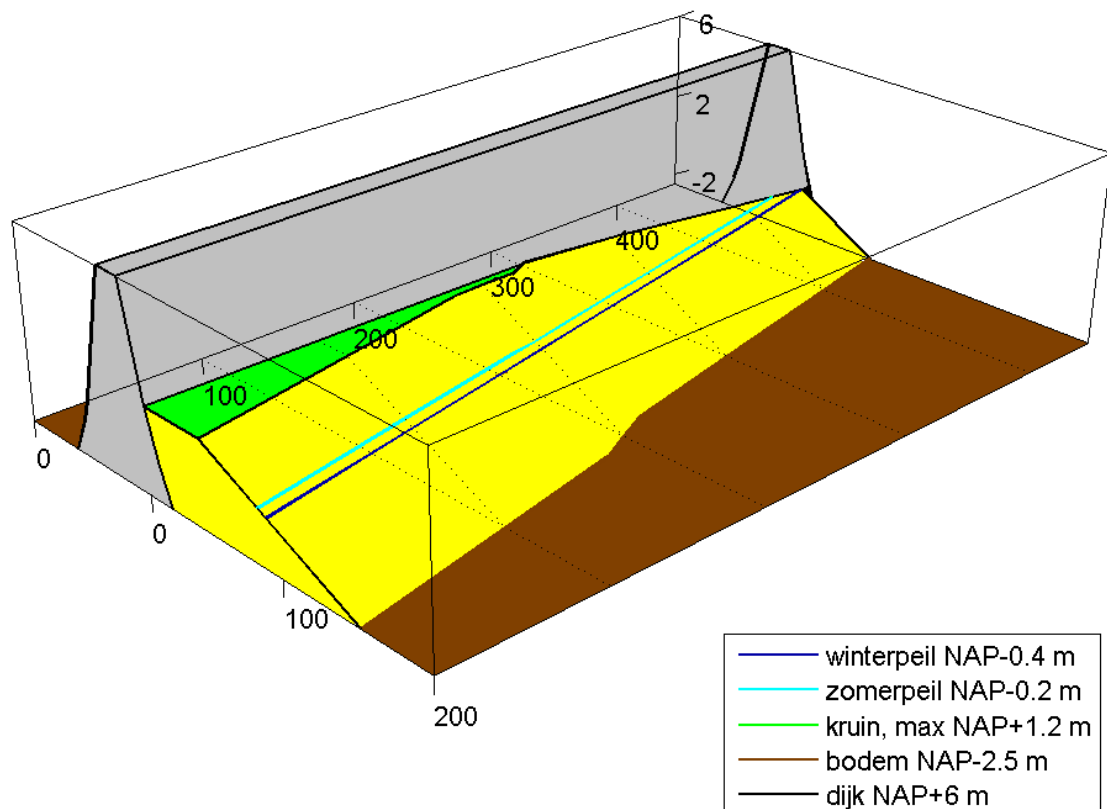
Beide resultaten (TAW (2002) voor dijken en Stockdon et al. (2006) voor stranden) beschouwend, is NAP+1,2 m dus een geschikt kruinniveau voor de pilot.

4.4.7 Geometrie aanvulling in drie dimensies

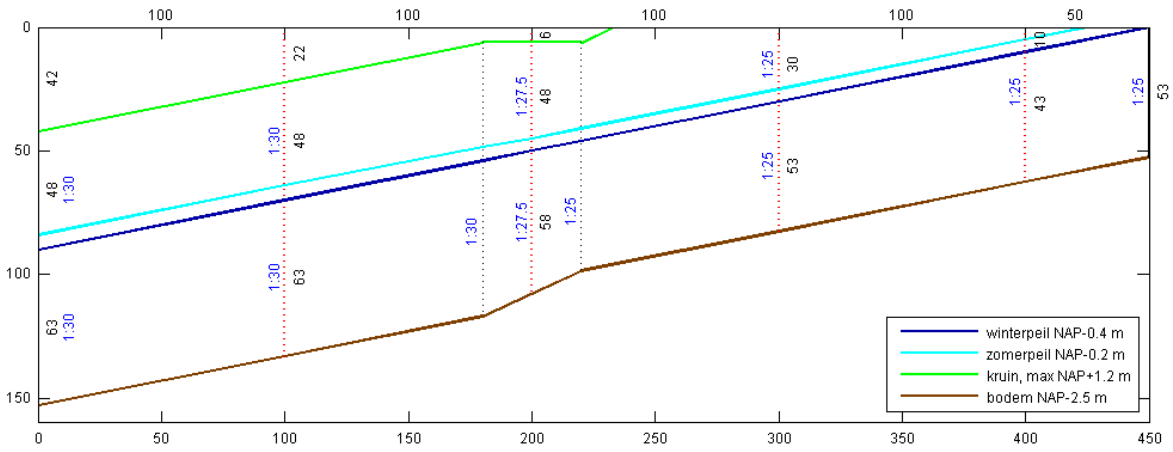
Het driedimensionale ontwerp is als volgt opgebouwd:

1. De basis is een rechte 1:5 oeverlijn ter hoogte van het winterpeil NAP-0,4 m, zie paragraaf 4.4.2.
2. Vanaf de oeverlijn is in vak 1 en 2 het 1:30 talud uitgezet van het deel onder water, tot aan de bodem (ca. NAP-2,5 m) en naar boven tot aan de bestaande dijk, of tot aan de vlakke kruin met een hoogte van NAP+1,2 m (paragraaf 4.4.6).
3. Vanaf de oeverlijn is in vak 3, 4 en 5 het 1:25 talud uitgezet van het deel onder water, tot aan de bodem (ca. NAP-2,5 m) en naar boven tot aan de bestaande dijk, of tot aan de vlakke kruin met een hoogte van NAP+1,2 m (paragraaf 4.4.6).
4. Tussen de vakken 2 en 3 kantelt het talud van 1:30 naar 1:25. Hiervoor is in beide vakken 20 m gereserveerd. Als deze kanteling tijdens de uitvoering over een kortere afstand kan worden bewerkstelligd, is dit een pluspunt. Op de grens tussen de vakken 2 en 3 is de taludhelling 1:27,5.

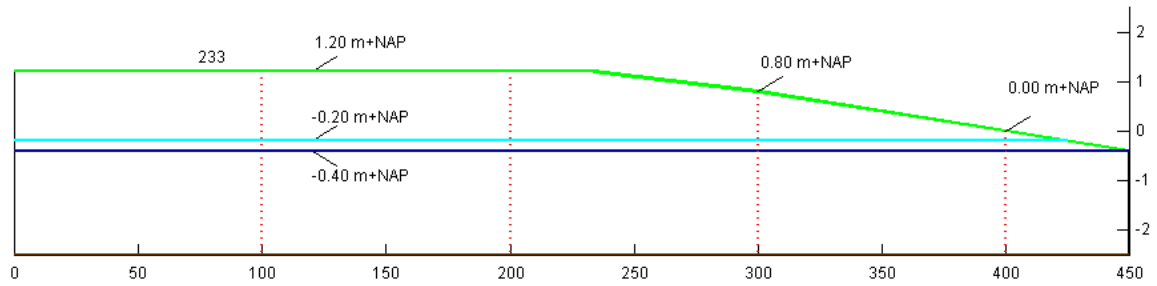
In de onderstaande figuren wordt de geometrie van het ontwerp van de proefsectie weergegeven in drie dimensies (Figuur 4-5)



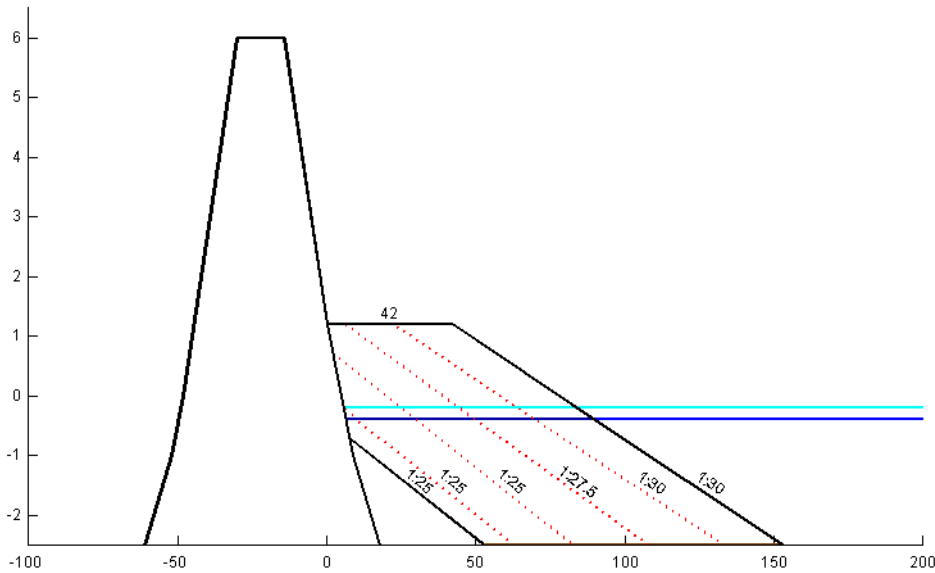
Figuur 4-5 Driedimensionale weergave van het ontwerp van de proefsectie. De vier proefvakken van 100 m breed zijn weergegeven met onderbroken lijnen. Er is een vlakke bodem (op -2,5 m+NAP) ingetekend, waar in werkelijkheid een in hoogte variërende bodem aanwezig zal zijn.



Figuur 4-6 Bovenaanzicht van het ontwerp van de proefsectie, met afmetingen in zwarte tekst, taludhellingen in blauwe tekst en vakgrenzen met rode onderbroken lijnen.



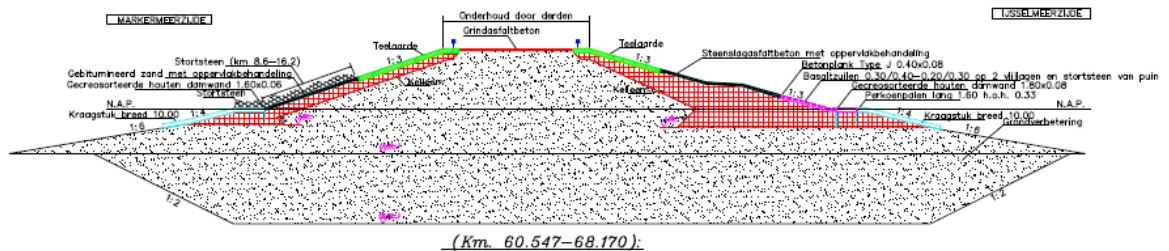
Figuur 4-7 Vooraanzicht van het ontwerp van de proefsectie.



Figuur 4-8 Zijaanzicht van het ontwerp van de proefsectie.

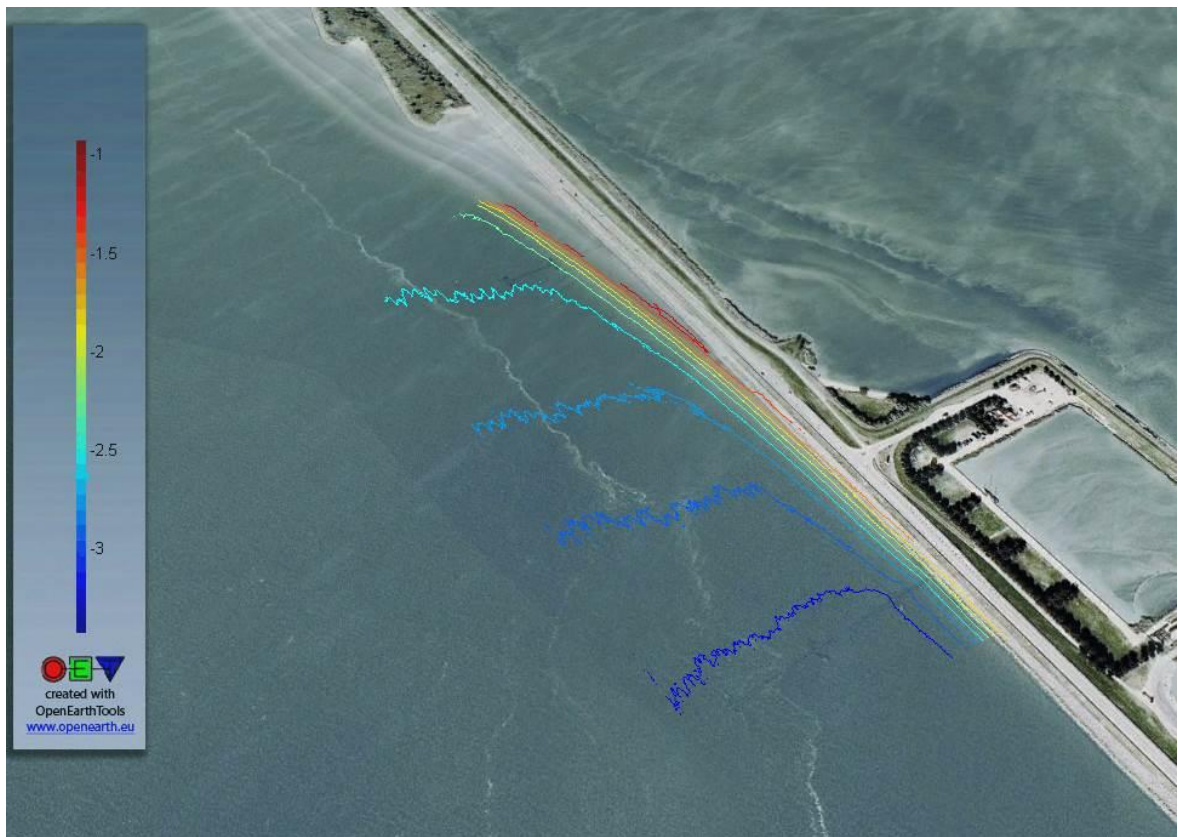
4.4.8 Combinatie met bestaande dijk en bodem

Op basis van het 3-dimensionale ontwerp, de bodemligging en de taluds van de Houtribdijk kan het benodigde zandvolume worden berekend. Figuur 4-9 geeft een typische doorsnede van de dijk ter plaatse van de proefsectie. Deze doorsnede geldt zuidelijk van km 60.17. Noordelijk hiervan ligt de weg lager en is de kruin van de dijk aan de IJsselmeerzijde gelegen. De noordelijke begrenzing van het proefvak is gelegen midden tussen hm-paal 60.7 en 60.8 (km 60.75).



Figuur 4-9 Dwarsprofiel Houtribdijk volgens de legger (vak 7), ter plaatse van de proefsectie

Figuur 4-10 geeft een beeld van de bodemligging op basis van een recent door Boskalis uitgevoerde peiling.



Figuur 4-10 Dieptecontouren (m+NAP) ter plaatse van de proefsectie volgens een peiling van Boskalis van februari 2014.

4.4.9 Benodigd zandvolume volgens ontwerpprofiel

Op basis van het ontwerp, de bodemligging en de geometrie van de Houtribdijk is het benodigde zandvolume berekend door middel van kubering met een 1x1 m grid op basis van een recent uitgevoerde peiling. Combinatie van dergelijke bodemprofielen met het ontwerp levert een gewenst zandvolume van 74.000 m³.

Dit ontwerpvolume moet nog worden verhoogd met een compensatie voor optredende zettingsverliezen. De hiervoor te rekenen toeslag is nog onbekend en daarom wordt uitgegaan van een conservatieve waarde van 30%. De nog uit te voeren sonderingen zullen meer inzicht geven in de daadwerkelijk te verwachten zettingen.

In aanvulling op deze zettingscompensatie zal ook nog rekening moeten worden gehouden met aanlegverliezen. Het totaal aan te brengen volume zal naar verwachting ongeveer 100.000 m³ bedragen¹.

4.5 Opsluitconstructie

4.5.1 Type constructie

Aan de noordwestzijde van de proefsectie moet een opsluiting worden gerealiseerd. Voor deze locatie is positie km 67,50 gekozen.

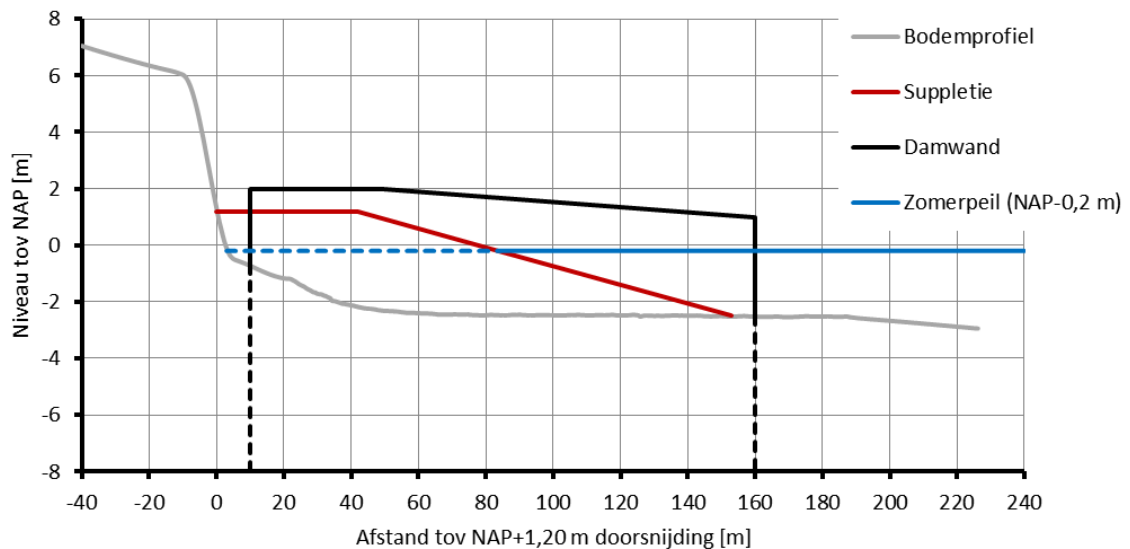
Deze constructie moet voorkomen dat er zand vanuit de proefsectie in noordelijke richting verdwijnt en het monitoringsgebied verlaat. Deze functie kan het meest eenvoudig worden vormgegeven door het plaatsen van een damwand.

Het gebruik van een damwand is ook uit het oogpunt van tijdelijkheid van een voordeel. Na afloop van de pilot (in 2018) kan de damwand immers relatief eenvoudig worden verwijderd. Bovendien heeft de damwand op deze wijze een daadwerkelijke restwaarde. De damwand kan immers weer worden verkocht.

4.5.2 Positie damwandconstructie

Figuur 4-11 toont de het bodemprofiel ter plaatse van de opsluitconstructie. Te zien is dat de voorliggende meerbodem hier rond NAP-2,5 m is gelegen.

¹ Merk op dat in de werkbegroting een conservatieve aanpak gevolgd is, gebaseerd op een maximaal aan te brengen volume van 130.000 m³ zand gemeten in het beun van het schip.



Figuur 4-11 Damwand als opsluitconstructie.

In deze figuur is ook de positie van de damwand gegeven alsmede het ontwerpprofiel van de suppletie ter plaatse van de opsluiting. Het vlakke deel (op NAP+1,2 m) reikt (conform het ontwerp) tot 42 m uit de dijk. Vervolgens verloopt deze onder 1 : 30 naar het niveau van de aanwezige bodem. Snijpunt van het ontwerpprofiel met de oorspronkelijke bodem ligt op circa 150 m uit de dijk.

De damwand zelf begint op circa 10 m uit de dijk (zie ook paragraaf 4.5.5). Voor het damwandniveau lijkt over de eerste 40 m (dus tot $x = 50$ m) een niveau van NAP+2 m een goede maat. Mogelijk moet de kruin van de suppletie immers nog extra worden opgehoogd i.v.m. zettingscompensatie. Verder richting het Markermeer mag het niveau van de bovenkant van de damwand wel afnemen. Op het uiteinde is in de ontwerpschets een niveau van NAP+1 m aangehouden.

Ten aanzien van de totale lengte van de damwand is rekening gehouden met het feit dat het profiel (nu 1 : 30) mogelijk iets flauwer zal gaan staan. Ook zal er als gevolg van variaties in golfaanval mogelijk nog een bijdraaiing van de oriëntatie van de suppletie plaatsvinden. Beide effecten leiden tot een meer vooruitgeschoven ligging van het zandprofiel. Teneinde verliezen te voorkomen (en dat willen we) lijkt een lengte van 150 m dus een goede aanname.

Bovendien is het niet nodig om damwand door te zetten tot de meest ongunstige ligging van de teen van het aanliggende dwarsprofiel. Beneden een zeker niveau zal de golfwerking immers marginaal zijn.

4.5.3 Dimensionering damwand

Naast de totale lengte van de damwandconstructie (150 m) is ook inzicht nodig in de benodigde lengte en dikte van de damwandplanken.

Voor de eerste ramingen is voornamelijk uitgegaan van standaardwaarden voor de benodigde inbrengdiepte. Uitgangspunt is dat de constructie op 'inklemming' functioneert en de zandkerende damwand haar stabiliteit ontleend aan voldoende inheidiepte.

Van belang hierbij is dat de maximale zandkerende hoogte rond $x = 40$ m ongeveer 3 m bedraagt (waarvan een deel onder water). Dit lijkt de meest kritieke situatie.

Verderop keert de damwand feitelijk niets en kan de inheidiepte dus minder minder zijn.

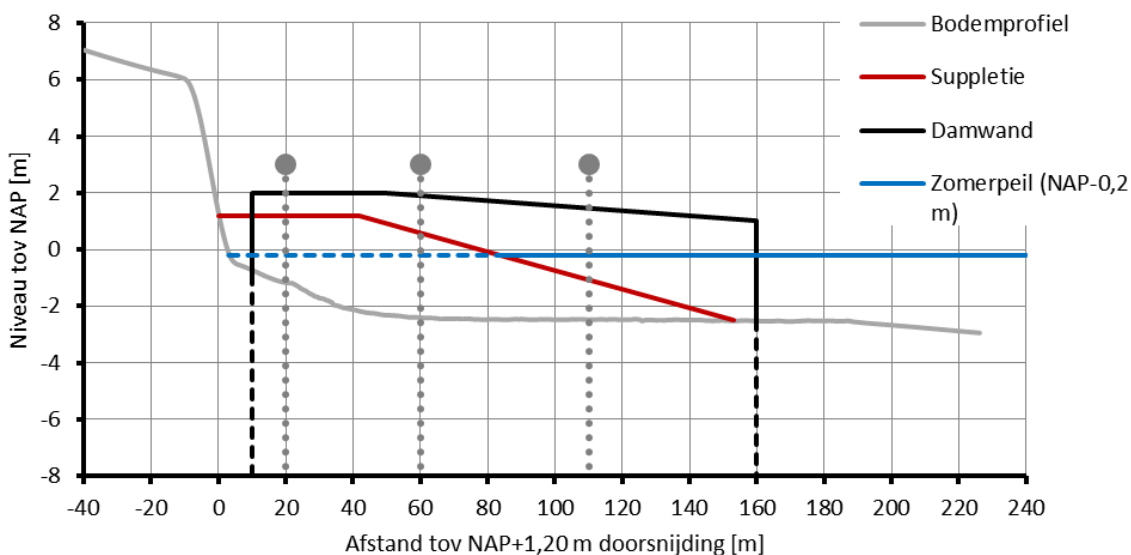
Voor de definitieve dimensionering van de damwand moet inzicht worden verkregen in de samenstelling van de ondergrond. De aanwezigheid van klei en/of veenlagen heeft een grote invloed op de benodigde inheidiepte.

4.5.4 Sonderingsonderzoek

Om hier inzicht in te krijgen zullen door Fugro in mei 2014 enkele sonderingen worden uitgevoerd. Alle sonderingen zullen worden uitgevoerd tot een diepte van minimaal 15 m beneden de meerbodem.

Ter plaatse van de damwand gaat het om drie sonderingen. De posities zijn aangegeven in Figuur 4-12. Meest nabije (S1) dus op 20 m uit de dijk. Vervolgens 40 m verder weer een (S2). Vervolgens een stap van 50 m (S3 op 110 m).

Deze sonderingen leveren inzicht in de geschiktheid van de ondergrond.



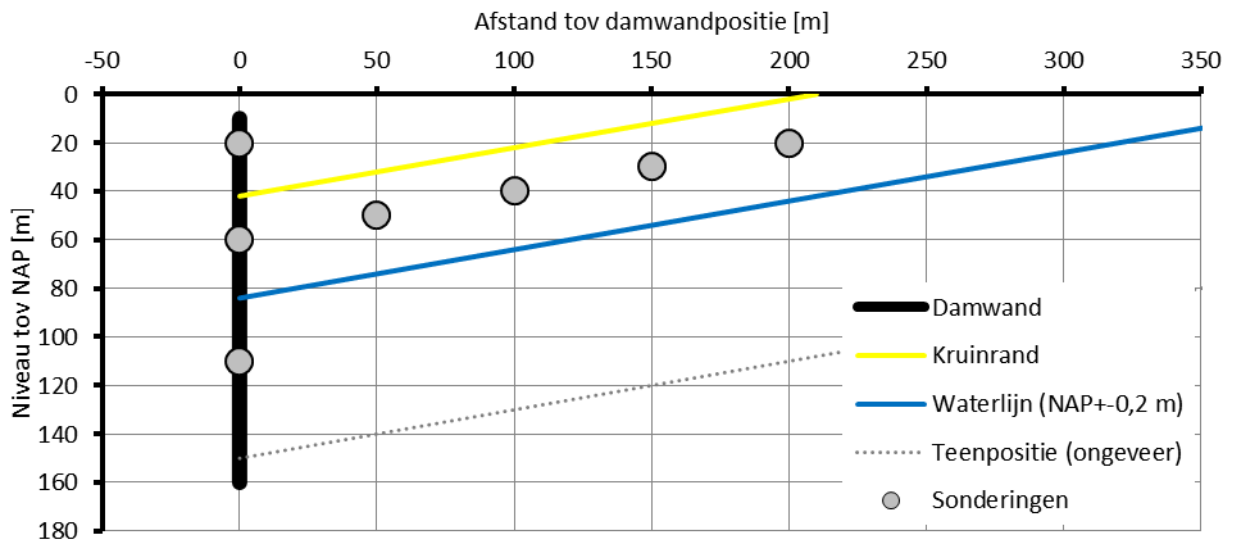
Figuur 4-12 Positie sonderingen ter plaatse van damwand/opsluitconstructie.

Op de tweede sonderingspositie (S2 op 60 m uit de dijk) worden vier andere sonderingen 'aangesloten' (S4 t/m S7). Figuur 4-13 geeft een overzicht van alle sonderingen.

De positie is ten opzichte van de tweede damwandsondering (S2) steeds 50 m langs de dijk en 10 m in de richting van de dijk verschoven.

Zo ligt deze steeds midden onder de aan te brengen versterking.

De laatste sondering (S7) bevindt zich weer op dezelfde afstand uit de dijk als de eerste (S1).



Figuur 4-13 Positie alle sonderingen ter plaatse van proefsectie.

Alle sonderingen samen geven een beeld van de ondergrond met het oog op de verwachte zettingen. Tabel 4-1 geeft een overzicht van de sonderingsposities met de posities ten opzichte van het nulpunt als normale coördinaten.

Nummer	Langspositie	Dwarspositie	xRD	yRD	Doel
S1	0	20	156490	516772	T.b.v. damwand
S2	0	60	156455	516749	T.b.v. damwand/zetting
S3	0	110	156407	516719	T.b.v. damwand
S4	50	50	156489	516713	T.b.v. zettingen
S5	100	40	156524	516674	T.b.v. zettingen
S6	150	30	156558	516634	T.b.v. zettingen
S7	200	20	156592	516595	T.b.v. zettingen

Tabel 4-1 Overzicht posities uit te voeren sonderingen.

4.5.5 Aansluiting damwand op de dijk

Omdat voor de dijk een steenbestorting aanwezig is, is het niet mogelijk de damwand door te zetten tot aan de dijk. Het begin van de damwand is derhalve op enige afstand uit de dijk gepositioneerd. Het aldus overblijvende gat zal worden dichtgezet met een aantal met zand gevulde geocontainers.

Hiermee wordt zowel het gat op een praktische manier dichtgezet als schade aan de voor de dijk aanwezige steenbestorting voorkomen.

Dit laatste past in de met het versterkingsproject Houtribdijk overeengekomen randvoorwaarden.

4.6 Vegetatie

4.6.1 Functie van vegetatie

Vegetatie is een essentieel onderdeel van de zachte voorlandoptie. Het wortelstelsel stabiliseert de bodem en maakt deze minder gevoelig voor erosie. De bovengrondse biomassa zorgt voor additionele golfremming. Bijlage D bevat een beknopt overzicht van de beschikbare relevante kennis over vegetatie.

In de aanleg van de pilot wordt specifiek aandacht gegeven aan de meest effectieve manier om vegetatieontwikkeling in het veld te stimuleren, om binnen zo kort mogelijke tijd een stabiele deklaag te creëren die erosie tegen kan gaan. De aanleg van vegetatie wordt deels door aanplanten en inzaaien gerealiseerd, en deels door het neerleggen van rijsmatten met rietplanten in de oeverzone.

Om de onderzoeksvragen te kunnen beantwoorden, worden in de pilot de volgende factoren onderzocht:

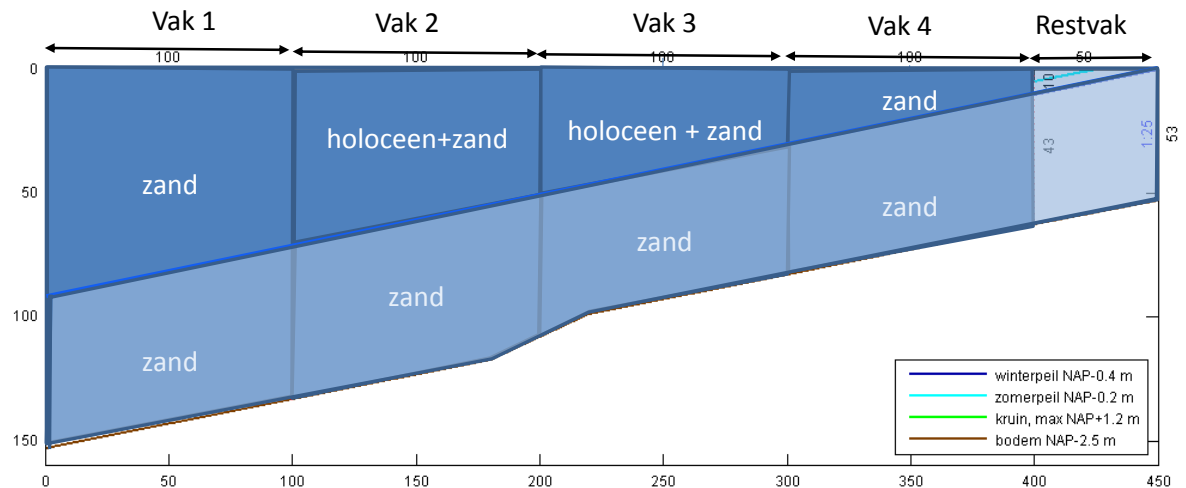
- Factor taludhelling 1:30 of 1:25,
- Factor bodemsamenstelling: zand, holoceen met zand,
- Factor planten: spontaan laten ontwikkelen, kickstart door inzaaien/aanplanten/rijsmatten,
- Factor hoogte maaiveld: 3 niveaus (struweel, riet, onderwater),
- Factor graas: wel of geen exclosures.

4.6.2 Indeling in secties, vakken en stroken

In de pilot wordt de ontwikkeling twee verschillende taluds gemonitord: 200 m met talud 1:30 in het breedste deel van de pilot en 200 m met een talud van 1:25 in het smallere deel van de pilot. Elke sectie wordt in twee vakken van ieder 100 meter breed onderscheiden, waarvan de toplaag boven de gemiddeld laagwaterlijn uit ofwel alleen uit zand bestaat ofwel uit een mengsel van holoceen materiaal uit de toplaag van de Markermeerbodembodem (klei) en zand. Het onderwatertalud bestaat overal uit zand.

Dit resulteert in vier vakken (figuur x):

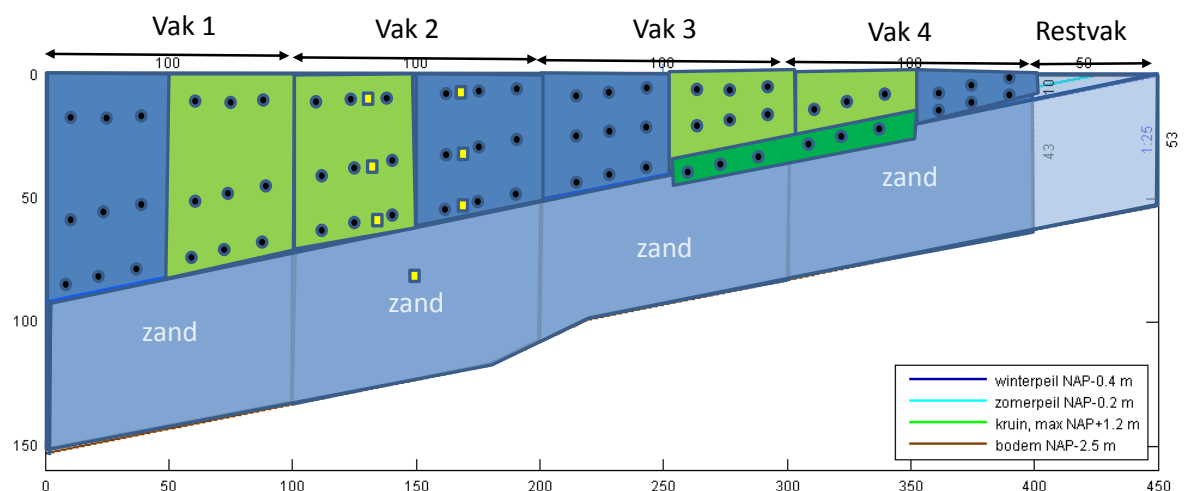
1. Taludhelling 1:30, toplaag zand;
2. Taludhelling 1:30, toplaag zand met klei boven de waterlijn;
3. Taludhelling 1:25, toplaag zand met klei boven de waterlijn;
4. Taludhelling 1:25, toplaag zand;



Figuur 4-14 Locatie vakken (1 t/m 4) en gebruikt materiaal in de toplaag: onder de waterlijn overal zand, boven de waterlijn in vak 2 en 3 een mix van holoceen materiaal en zand.

Per vak van 100 meter wordt 50 meter ingezaaid/aangeplant om vegetatieontwikkeling actief te stimuleren, of kaal gelaten zodat vegetatie spontaan tot ontwikkeling kan komen. Binnen deze 50 meter zones worden steeds drie replica's van vegetatieontwikkeling gemonitord met PQs (Permanent Quadrates) op 3 hoogtes in het talud (behalve in vak 4: daar is minder hoogte boven de waterlijn en vervalt de hoogste monitoringsreeks). De PQs zijn cirkels met straal 1,13 m en oppervlakte 4 m². Het centrum van de cirkel zal met GPS worden ingemeten. In totaal wordt de vegetatieontwikkeling dus in 72 PQs gevolgd (2 secties X 2 vakken X ingezaaid of kaal X 3 hoogtes X 3 replica's).

De factor graas wordt alleen in vak 2 onderzocht door op 3 hoogtes langs het talud exclusures te plaatsen waardoor graas door ganzen of andere herbivoren buiten wordt gesloten. In totaal worden er 7 exclusures geplaatst. 6 op het 'droge' talud, en 1 onder water.



Figuur 4-15 Overzicht van ingezaaide vlakken (lichtgroen) en kale vlakken (donker blauw) en locaties van de pq's (donkere stippen) en exclusures (gele vierkanten). In donkergroen de locatie van de rijsmatten met rietplanten die als additionele proef worden aangelegd op de grens tussen vak 3 en vak 4.

Aanvullend zal er een test worden uitgevoerd of het toepassen van rijsmatten met voorgeplant riet de ontwikkeling van waterriet kan stimuleren. Deze rijsmatten zullen op de ingezaaide oevers van vak 3 en 4 (100 m in langsrichting en 16 m dwarsrichting op de oever) worden geplaatst. De exacte keuze voor het type vegetatie en de methode van aanplanten/inzaaien wordt bepaald op een expert workshop die is voorzien op 22 april 2014.

4.7 Toegankelijkheid

De proefsectie is alleen via het water bereikbaar met een boot vanuit Lelystad haven. Het oversteken van de autoweg is niet mogelijk. Er zullen 'verboden toegang'-borden worden geplaatst om ongewilde bezoekers zoveel mogelijk te weren.

5 Aanleg van de proefsectie

5.1 Inleiding

In dit hoofdstuk staan de belangrijkste aspecten omtrent de aanleg van de proefsectie beschreven, waarbij onderscheid wordt gemaakt in de verschillende fasen van het project: voorbereidingen, realisatie en afrondende werkzaamheden. De aannemer zal tevens een stortplan opstellen, waarin in detail omschreven wordt op welke wijze het zandlichaam wordt aangelegd.

5.2 Voorbereidingen

Ter voorbereiding op de uitvoering zal een aantal sonderingen worden uitgevoerd (zie Figuur 5-1).



Figuur 5-1 Locatie sonderingen.

De sonderingen S1 tot en met S3 zijn bedoeld om de benodigde verticale lengte van de damwand te bepalen; daarnaast wordt nog een aantal aanvullende sonderingen uitgevoerd om een beter inzicht in de te verwachten zetting te krijgen.

Voor meer details kan worden verwezen naar paragraaf 4.5.4.

Om te voorkomen dat de scheepvaart hinder ondervindt van de proefsectie zal de aannemer zorg dragen voor kardinale markering (bestaande uit twee boeien) van de proefsectie.

5.3 Aanleg proefsectie

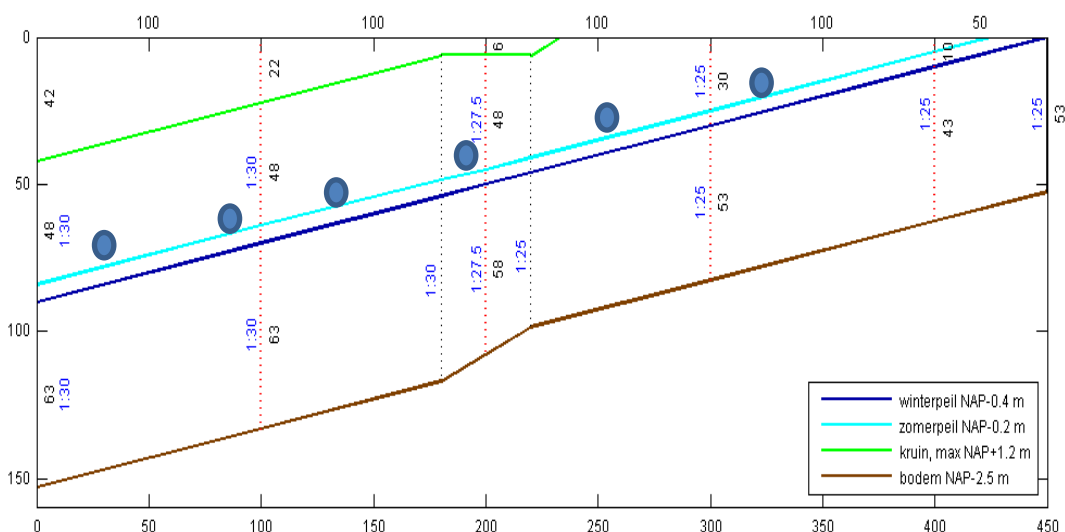
5.3.1 Aanbrengen damwand

De 150 m lange damwand zal worden geplaatst vanaf een ponton en worden voorzien van een horizontale gording. Daarnaast zal een monitoringsmast op de damwand worden bevestigd om instrumenten op te verankeren. Deze mast zit met 3 tuien vast aan de damwand (zie verdere detaillering mast in 5.3.6).

De damwand zal niet helemaal worden doorgezet tot het talud, vanwege de aanwezige steenbestorting. De ruimte tussen damwand en talud zal worden afgedekt met sandbags, die zullen worden aangebracht door middel van een bandenkraan of rupskraantje.

5.3.2 Aanbrengen zetzakken

De aannemer zal zes zetzakken aanbrengen voordat het zandvolume wordt aangelegd op de locaties zoals aangegeven in figuur x. Deze zetzakken bestaan uit een metalen plaat van 1,5*1,5 m die met een metalen paal op de ondergrond wordt vastgelegd. De paal steekt minimaal 1 meter boven het talud ter plaatse uit.



Figuur 5-2 Locaties van de 6 zetzakken.

5.3.3 Aanbrengen zandvolume

Voor het aanbrengen van het zand zal een persleiding worden aangelegd. De persleiding spuit een mengsel van zand en water op vanuit een bakkenzuiger, die wordt bevoorradt door een kraanschip. Het aangevoerde zand is afkomstig uit de vaarweg Amsterdam Lemmer (waarschijnlijk VAL10). Er zal regelmatig monsters worden genomen van het aangevoerde zand om de korrelgrootteverdeling in kaart te brengen.

5.3.4 Profileren taluds

Door de persleiding onder een bepaalde hoek te plaatsen (d.m.v. een kraan) gaat het profileren min of meer 'vanzelf'. Er zal een stortplan worden opgesteld, waarbij het uitgangspunt is om het

ontwerp te creëren met zo min mogelijk werkslagen. Ook zal er rekening worden gehouden met de werkzaamheden van de hovenier, opdat deze zo snel mogelijk aan de slag kan. Tussendoor zal regelmatig worden gepeild.

5.3.5 Aanbrengen holoceen

De aannemer zal 3.000 m³ holoceen neerleggen op vak 2 en inwerken in de bovenste 50 cm toplaag, zodat deze een verhouding van 70% zand en 30% holoceen materiaal krijgt. Op die manier wordt de meeste hoeveelheid holoceen materiaal doorgemengd zonder het zandskelet teniet te doen. Bij het doormengen van meer holoceen materiaal bestaat de kans dat de menging niet meer goed gaat en er een onstabiele matrix ontstaat.

5.3.6 Aanbrengen stuifscherm

De aannemer zal een stuifscherm aanleggen parallel aan de dijk op de hoogste delen van het talud om stuivend zand te vermijden. Het stuifscherm bestaat uit onbehandelde naaldhoutpalen lang 2 meter, Ø 8 cm, geplaatst h.o.h 2 meter waar tussen stuifdoek wordt gespannen.

5.3.7 Aanbrengen vegetatie

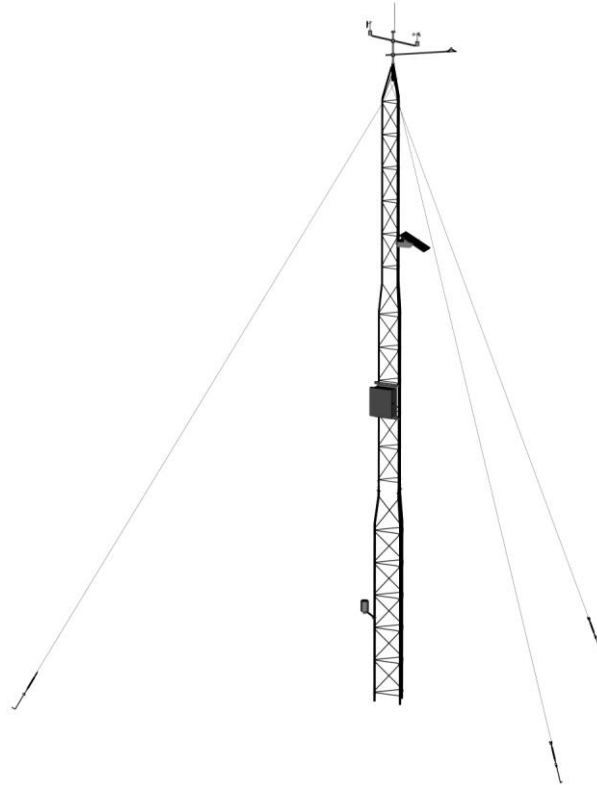
Het aanplanten/inzaaien van de gewenste vegetatie (struweel, wilgen, riet) zal plaatsvinden direct na de aanleg van het talud. Het aanplanten gebeurt dus in de late zomer. In een deel van de oeverzone (50 m van vak 3 en 50 m in vak 4) worden rijsmatten met riet afgezonken. Deze rietmatten worden ter plaatse geconstrueerd en op de waterlijn verankerd, direct na aanleg van het zandlichaam van de pilot.

Er zullen 7 exclusies door de aannemer worden neergezet van 7*15 m op de aangegeven locaties (6 op het droge talud, 1 onderwater). Deze exclusies bestaan uit palen met een lengte van 3 meter, rondom gaas met een hoogte van 1,20 meter en bovenlangs Trevia lint. De exacte keuze voor de typen struweel, wilgensoorten en riettypen in de pilot wordt gemaakt tijdens een expertworkshop die wordt georganiseerd op 22 april 2014. Daarna zal ook in detail met de aannemer worden overlegd hoe de gewenste aanleg van de vegetatie technisch gezien het beste kan worden uitgevoerd.

5.3.8 Installeren monitoringsmast en meetinstrumenten

Er zal een aantal permanente meetinstrumenten en meetfaciliteiten op de proefsectie worden geïnstalleerd. Een deel van deze instrumenten komt te staan op een meetpaal die aan de damwand is bevestigd.

De mast is een driekantig open raamwerk, opgebouwd uit twee verticale segmenten van 3 m met een totale lengte van 6 m boven de damwand, de mast wordt met 3 tuien en een kantelmechaniek verankerd aan de damwand zodat er periodiek onderhoud kan worden uitgevoerd (zie figuur).



Figuur 5-3 Algemeen beeld van de monitoringsmast (plaatje uit de brochure van de leverancier, dus zonder zonnepanelen) en de wind en temperatuur meters

Boven in de mast komen de windmeter en de camera's. rond de middensectie de accu kast met daarboven de elektronica kast met datalogger, modem etc. De zonnepanelen komen daarboven. Op de hoogte van de datalogger plaatsen we ook de thermometer in een stralingshutje.

Het meet-deel van het monitorsysteem omvat instrumenten voor het volgende.

- 1) Golven (in het meer)
- 2) Golfploop (op het strand)
- 3) Meteo (in een vakwerkmast)
- 4) Camera's voor algemene monitoring oeverlijnonwikkeling (op de mast)

Alle instrumenten zijn verbonden met een datalogger in een vakwerkmast van zes meter hoogte. Het meetsysteem wordt met zonne-energie gevoed. Een datalogger verzamelt de data van bovengenoemde instrumenten. De verzamelde meetwaarden worden geregistreerd op uitneembaar geheugen en via een inbelsysteem overgedragen naar Deltares in Delft. In Delft kunnen de overgedragen meetwaarden gecontroleerd worden op plausibiliteit en kwaliteit. Bovendien kunnen de hydrodynamische en morfologische processen op de proeflocatie zo direct gevolgd en bestudeerd worden.

Hieronder volgt, per onderdeel, een korte omschrijving.

Datalogger

De datalogger bestuurt alle instrumenten volgens een ingebouwd meetprogramma. Instrumenten (daaronder vallen ook de camera's) ontvangen alleen voeding als dat nodig is. De analoge instrumenten worden direct door de datalogger bemonsterd, de digitale instrumenten brengen, na meting, de informatie via seriële communicatie over na de datalogger. Alle meetgegevens

worden door de datalogger op CompactFlash (CF) geheugenkaartje geregistreerd. De data kan vanuit Delft worden uitgelezen via een draadloos modem.

Voeding

Zonnepanelen leveren de elektrische energie voor de werking van het systeem. De verzamelde energie wordt via een laadregelaar opgeslagen in accu's. De laadregelaar voorkomt overladen van de accu's, bovendien beschermt de laadregelaar de accu's tegen te diepe ontlading. De accu's en laadregelaar(s) worden in een regenwaterdichte kast gemonteerd.

Communicatie

De datalogger communiceert via een modem met de monitorings-PC bij Deltares in Delft. Dagelijks worden de data opgehaald op een vast tijdstip. Buiten het tijdvenster voor data communicatie staat het modem uit om zo het energiegebruik te beperken.

Camera's

De camera's worden in een mast gemonteerd. De opstelling van de camera's is niet op afstand te wijzigen (geen pan&tilt). Er zijn twee plaatsen langs het proefvak die met een camera gemonitord worden. Een plaats ligt vrij dicht bij de mast. De camera die die plaats monitort krijgt een vaste lens met een vrij grote openingshoek zodat het gehele interessante gebied gezien wordt. Het tweede camera wordt gericht op een beplant traject op orde 300 meter afstand van de mast. Voor een voldoende gedetailleerde monitoring is een telelens nodig.

Beide camera's worden via seriële communicatie aan de datalogger gekoppeld. De datalogger programmeert bepaald wanneer de camera's geactiveerd worden en beeldinformatie leveren. De beeldinformatie wordt in de data logger geregistreerd.

Golven

De golven worden indirect gemeten met een Nortek Vector ADV. Een eenvoudig meetframe met het instrument komt op orde 250 m van de proeflocatie te liggen op een waterdiepte van enkele meters. Een kabel voor voeding en communicatie verbindt de ADV aan de datalogger en het voedingsysteem in de mast. De ADV meet stroomsnelheid in drie loodrecht op elkaar staande richtingen en druk. De stroomsnelheidsmeetwaarden bevatten informatie over de stroming en de golven (orbitaal snelheid). Die druk bevat informatie over de golven (omni-directional), de waterstand en de luchtdruk. De luchtdruk kan weggerekend worden met barometrische luchtdruk gegevens van een barometer in de meetmast. Uit de gemeten orbitaalsnelheden en drukken kunnen golfspectra berekend worden (directional en omni-directional). Daarbij moet echter aangetekend worden dat de resultaten voor korte golven gecorrigeerd moeten worden voor de invloed van de diepte afhankelijke dispersie.

Golfoploop

Een rij van drukopnemers, opgelijnd tegen het talud loodrecht op de waterlijn, meet de golfoploop. De drukopnemers zijn van het currentloop type en meten de absolute druk. Na correctie voor barometrische luchtdruk leveren de opnemers een signaal evenredig met de dikte van de waterlaag. De kabels worden aan de datalogger verbonden. Bij voorkeur liggen de kabels uit direct zicht, ingegraven of verzwaard met ketting door het water. De drukopnemers worden twee winters geïnstalleerd.

Meteo

In de mast komt een akoestische windsnelheid en -richtingmeter. De barometer komt in de dataloggerkast met een speciale lucht aansluiting die alleen lucht tot de barometer toelaat maar niet tot het inwendige van de kast.

Morfodynamica

Voor het meten van veranderingen aan het talud worden 6 zetbakens geplaatst voor de aanleg begint (zie ook paragraaf 5.3.2). De zettingsbakens bestaan uit een metalen plaat van 1,5x1,5 meter die door middel van een stalen paal op de huidige ondergrond worden aangebracht. De paal steekt 2 meter boven het wateroppervlak en wordt nauwkeurig ingemeten met GPS.

Voor het meten van erosie worden 2 transecten van erosiepinnen aangebracht in vak 2,. Ook deze worden nauwkeurig ingemeten met GPS.

Grondwater

Voor het meten van de gemiddelde grondwaterstanden op het talud worden 2 transecten van elk 3 peilbuizen aangebracht tot 2 meter diepte, 1 transect in vak 1 en 1 transect in vak 2. De peilbuizen worden aangebracht door Alterra en zullen nauwkeurig worden ingemeten met GPS.

Vegetatieontwikkeling

Om de effecten van gaas vast te stellen op de ontwikkeling van de vegetatie worden in vak 2 6 exclusies opgezet van 7*15 meter, zoals aangegeven in paragraaf 4.3, gemaakt van kippen-gaas rondom, en draad bovenop om er voor te zorgen dat er geen vogels en konijnen in kunnen komen. Ook wordt er een exclusie in het water geplaatst voor vak 2. De exclusies worden geïnstalleerd door de aannemer die ook de vegetatie zal inzaaien.

5.4 Afrondende werkzaamheden

Na afronding van de werkzaamheden zal worden gedemobiliseerd: de zinker wordt opgeruimd en de bakkenzuiger wordt afgevoerd.

6 Vergunningen

6.1 Inleiding

Vergunningenmanagement bij complexe projecten vraagt om een gedegen projectmatige aanpak. In ons vergunningenmodel staan daarom de aspecten inhoud, proces en strategie centraal.

- Inhoud: vertrekpunt zijn de activiteiten die moeten worden uitgevoerd en de objecten die worden gerealiseerd. Op basis daarvan wordt bepaald welke vergunningen en toestemmingen nodig zijn;
- Proces: het beheersen van de vergunningprocedures als onderdeel van de integrale projectplanning;
- Strategie: het strategische aspect richt zich op het managen van belangen en op scopemanagement. Scope- en ontwerpwijzigingen vormen één van de grootste risico's bij het verkrijgen van vergunningen.

Het doel van het vergunningenmanagement is het op efficiënte wijze verkrijgen van de benodigde vergunningen voor het project.

6.2 Vergunningenregister

Bij aanvang van het project is een vergunningeninventarisatie opgesteld op basis van de geplande (vergunningplichtige) activiteiten. Vervolgens zijn onderzoeken opgestart en vooroverleggen gevoerd met de bevoegde gezagen om concreet te krijgen welke vergunningen daadwerkelijk nodig zijn om de uitvoering van de pilot mogelijk te maken. In onderstaande tabel zijn de benodigde vergunningen nader toegelicht. Telkens is aangegeven wie bevoegd gezag is en wat de proceduretijd is.

Aanvrager van de vergunningen is de Stichting EcoShape.

Vergunning	Bevoegd gezag	Proceduretijd	Opmerking (en onderzoeken)
Omgevingsvergunning, onderdelen werk- en werkzaamheden uitvoeren en bouwen	Gemeente Lelystad / Provincie Flevoland	8 wkn (+ 6 wkn beroep)	Voor het aanbrengen van het profiel is een omgevingsvergunning nodig, evenals voor de damwand die dient als opsluitconstructie en de monitoringsmast met zonnecollector. Er wordt een bureauonderzoek en - op water – archeologie onderzoek uitgevoerd omdat het niet uit te sluiten is dat een scheeps- of vliegtuigwrak aanwezig is. Geotechnisch onderzoek als onderbouwing van de dimensionering van de damwand.
Watervergunning	RWS	8 wkn	De proefsectie wordt aangelegd in de beschermingszone van de Houtribdijk (primaire waterkering). Aangetoond moet worden dat de veiligheid van de primaire kering niet wordt bedreigd en dat beheer en onderhoud aan de dijk kan worden uitgevoerd.
Melding Waterwet	RWS	4 weken voor start uitvoering	Voor de dimensionering van de damwand en om een beeld te krijgen van de te verwachten zetting, worden sonderingen uitgevoerd. Aangezien de sonderingen worden uitgevoerd in de beschermingszone van de Houtribdijk, is een Melding Waterwet ingediend Voorafgaand aan de uitvoering van de sonderingen, moet onderzoek naar niet gesprongen explosieven zijn uitgevoerd.
Melding Besluit Bodemkwaliteit	Min I&M	5 dagen	Voor de toepassing van het zand uit de zandwinlocatie voor het profiel, zal een Melding Bbk gedaan moeten worden tijdens de uitvoering
Overige 'uitvoeringsvergunningen'	Afhankelijk van uitvoeringsmethode zijn mogelijk nog aanvullende vergunningen nodig puur voor de uitvoering van de werkzaamheden, zoals een Ontheffing Scheepvaartweg of wellicht een Omgevingsvergunning voor het inrichten van een werkkerrein.		

Tabel 6-1 Overzicht vergunningen.

6.3 Vergunningenmanagement

6.3.1 Vooroverleggen

Tijdens vooroverleg met het bevoegd gezag worden de voorgenomen werkzaamheden besproken. Deze overleggen hebben over het algemeen een positief effect. Het bevoegd gezag is in een vroeg stadium betrokken bij een project en kan hierop anticiperen. Daarmee ontstaat in de meeste gevallen een 'positief gevoel' over een project.

In het kader van de genoemde vergunning hebben wij vooroverleggen gevoerd met:

- Rijkswaterstaat (telefonisch)

- Gemeente Lelystad (Omgevingsvergunning)
- Provincie Flevoland (Verkeersmaatregelen en Natuurbeschermingswet)

Van de vooroverleggen wordt een verslag opgesteld en verspreid.

6.3.2 Indienen vergunningaanvragen

Een vergunningaanvraag bestaat uit een algemeen deel, meestal een aanvraagformulier met een beschrijving van de activiteiten en de belangrijkste kenmerken en/of gevolgen van de aangevraagde activiteit.

De indieningsvereisten per vergunning verschillen sterk. Vaak zijn ter onderbouwing van de aanvraag onderzoeken nodig. Tijdens de vergunningeninventarisatie zijn deze al in kaart gebracht en de vooroverleggen worden onder andere benut om de benodigde onderzoeken (inhoudelijk) af te stemmen met de bevoegde gezagen, zodat ontvankelijke vergunningaanvragen ingediend worden.

6.3.3 Controle beschikkingen

Na indiening wordt de voortgang van de procedure bijgehouden. Hierover wordt regelmatig met het bevoegd gezag en opdrachtgever gecommuniceerd.

De verleende (ontwerp)beschikkingen worden door ons beoordeeld op volledigheid, juistheid en werkbaarheid. Daarbij wordt opdrachtgever geadviseerd of het noodzakelijk, dan wel zinvol is om zienswijzen of bezwaren in te dienen of om beroep in te stellen.

6.3.4 Huidige stand van zaken

Uit de vooroverleggen is gebleken dat een Natuurbeschermingswetvergunning niet noodzakelijk is, mits de uitvoering van de werkzaamheden plaatsvindt voor 15 september. Het bevoegd gezag, de provincie Flevoland, heeft de voortoets Nb-wet goedgekeurd onder die voorwaarde. Bij uitvoering in het najaar bestaat het risico dat ruiende vogels verstoord worden, waardoor de instandhoudingsdoelstellingen van het Natura 2000-gebied Markermeer bedreigd worden.

Er is tevens een voortoets Flora- en Faunawet uitgevoerd. Uit dat onderzoek is gebleken dat een ontheffing Flora- en Faunawet niet noodzakelijk is, indien gewerkt wordt conform het ecologisch werkprotocol, dat onderdeel uitmaakt van de voortoets. Met de volgende maatregel dient rekening gehouden te worden: enkele dagen voor de start van de uitvoering moet door middel van elektrovisserij bepaald worden of de rivierdonderpad zich ophoudt in het projectgebied. Als dat het geval is, zullen de dieren worden verplaatst.

Op 28 maart 2014 is de Melding Waterwet gedaan voor uitvoering van de sonderingen. In principe kan 4 weken na melding gestart worden met de werkzaamheden. Voor aanvang van de werkzaamheden moet echter wel een onderzoek naar niet gesprongen explosieven zijn uitgevoerd. Dit onderzoek neemt enkele weken in beslag.

Op 28 maart 2014 zijn tevens de vergunningaanvragen Omgevingsvergunning en Watervergunning via het omgevingsloket ingediend. De proceduretijd bedraagt 8 weken tot afgifte van de vergunning. De volgende aanvullende informatie moet nog aan de bevoegde gezagen worden aangeleverd:

- Omgevingsvergunning:

- aanvullend archeologisch onderzoek bestaande uit een bureaustudie en een opwateronderzoek. Doel is uit te kunnen sluiten dat een scheeps- of vliegtuigwrak aanwezig is.
- Dimensionering en constructieberekeningen van de damwand. Hiervoor zijn de resultaten van de sonderingen nodig. Deze gegevens kunnen uiterlijk 3 weken voor start van de werkzaamheden worden aangeleverd. De vergunningverlening wordt hierdoor niet vertraagd, maar er zal een voorwaarde worden opgenomen in de vergunning.
- Watervergunning:
 - Aanvullende gegevens waaruit blijkt dat de veiligheid van de Houtribdijk niet in het geding is door de aanleg van de proefsectie.
 - Aanvullende gegevens met betrekking tot beheer van de proefsectie. In de watervergunning zal daarnaast de voorwaarde worden opgenomen dat de proefsectie na afloop van de monitoring door EcoShape weer wordt verwijderd.
 - Voor uitvoering van de werkzaamheden moet een werkplan overlegd zijn waarin de uitvoering duidelijk is beschreven en waarin de handhaving is beschreven tijdens uitvoering. Dit is een voorwaarde in de vergunning.

Planning

Mits de aanlevering en toetsing van de aanvullende gegevens zo soepel als mogelijk verloopt, kunnen de vergunningen begin juni zijn verstrekt.

De start van de werkzaamheden is afhankelijk van de uitvoering van de sondering en daarop gebaseerde berekeningen die uiterlijk drie weken voor aanvang van de werkzaamheden bij de gemeente Lelystad en Rijkswaterstaat aangeleverd moeten worden. Naar verwachting zullen deze gegevens eind mei beschikbaar zijn. Daarmee kan de uitvoering, in overeenstemming met de vergunningvoorschriften half juni starten.

7 Monitoringsprogramma

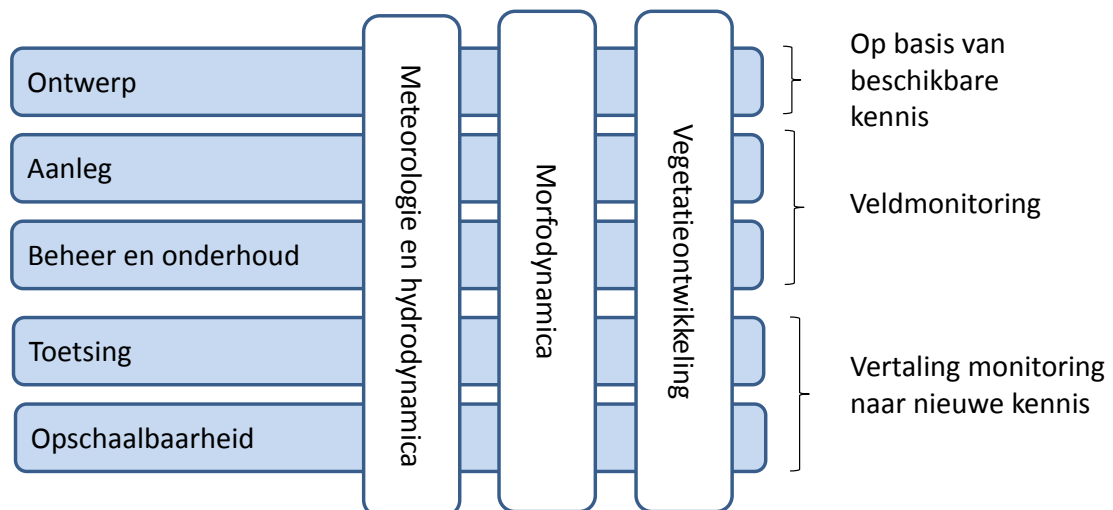
7.1 Inleiding

Om de kennisvragen (hoofdstuk 2) te beantwoorden wordt in dit hoofdstuk een plan van aanpak beschreven. Het is belangrijk dat de koppeling tussen het Building with Nature proces en de technische kennis op een goede manier gewaarborgd wordt. Hiervoor wordt per kennisvraag een factsheet opgesteld met een vaste inhoudsopgave: state-of-the-art analyse, de kennisleemtes en de werkzaamheden in dit project die bijdragen aan de invulling van de kennisleemtes, middels ofwel veldmetingen, analyse of procesvragen. Deze factsheets worden jaarlijks geüpdatet.

De kennisvragen uit hoofdstuk 2 (zie ook Tabel 2-1) focussen op verschillende disciplinaire thema's die door alle fases van het project worden gedeeld:

1. **Meteorologie en hydrodynamica** (golf- en stromingspatronen) als externe sturende factor.
2. **Morfodynamica** als gevolg van zetting en hydrodynamica-gedreven erosie en sedimentatieprocessen en de rol van vegetatie daarin
3. **Vegetatieontwikkeling** ten behoeve van veiligheid en ecologische meerwaarde en de rol van het beheer op deze ontwikkeling.

De kennisvragen in de fase ontwerp worden beantwoord op basis van beschikbare kennis. Er wordt een veldmonitoringsprogramma opgezet voor de aanleg en beheer en onderhoudsfase (dit hoofdstuk). Voor de toetsing en opschaalbaarheid wordt deze kennis gecombineerd met bestaande kennis om zo tot nieuwe inzichten en bruikbare tools te komen.



Figuur 7-1 Relatie tussen de verschillende fases in dit project en de disciplinaire poten die daar een rol in spelen.

Er zullen waarschijnlijk geen extreme situaties in het veld worden gemeten. De effecten van extreme (toets- en ontwerp)condities zouden eventueel in een gecontroleerde omgeving in de

Deltagoot bij Deltares kunnen worden gemeten. Binnen het huidige project is de inzet van een dergelijke faciliteit niet opgenomen.

7.2 Nulmeting

Voordat de aanleg van de proefsectie begint, is het nodig een nulmeting van de ondergrond ter plaatse te maken. Deze nulmeting moet inzicht geven in de mogelijke zettingsgevoeligheid van de ondergrond en de exacte diepte op dat moment. De nulmeting bestaat uit een vlakdekkende dieptepeiling van de proefsectie (reeds gerapporteerd in figuur 4.10), samen met een transect van sonderingen langs de dijk (50 m uit de teen van de dijk, fig. 5.1)

Voor de vegetatie zal een nulmeting worden uitgevoerd in de twee controle locaties, waarvan 1 een positieve controle is achter de hockeystick, en 1 een negatieve controle ten zuiden van de proefsectie.

7.3 Monitoringsprogramma

In het monitoringsprogramma wordt de gehele proefsectie ingemeten ten aanzien van hydrodynamica, morfodynamiek en vegetatieontwikkeling. De vegetatieontwikkeling zal in alle vakken gemonitord worden. Omdat sommige hydrodynamica en morfodynamica metingen arbeidsintensief zijn, is er voor gekozen deze niet in alle vakken uit te voeren maar in focus-transecten - in vak 2.

In vak 2 zullen twee transecten in meer detail gemonitord worden: één in het ingezaaide stuk en één op het kale stuk. Deze focus-transecten worden in meer detail bemeten voor wat betreft sedimentatie- en erosiekenmerken en golfuitdoving door vegetatie en biomechanische eigenschappen van deze vegetatie.

7.3.1 Meteorologische en hydraulische condities

Meetapparatuur/meetwijze

De meteorologische en hydraulische condities ter plaatse zullen worden geregistreerd via een Vector (Nortek) in een onderwatermeetframe op 100 m voor de teen van het talud geplaatst wordt door Deltares. Het meetframe zendt data naar de datalogger op de meetpaal op de damwand, die wordt gevoed door een zonnepaneel/accu combinatie.

Daarnaast wordt een meteo-station geplaatst voor de meting van wind (richting, kracht), neerslag en luchtdruk op een paal aan de damwand, die informatie via de datalogger over kan sturen via GPRS.

Golfcondities en golfuitdoving op het talud onder normale omstandigheden worden gemeten via 2 transecten waarop elk 6 drukopnemers worden geplaatst. Sensoren dicht bij de waterlijn staan dichter op elkaar dan die verder op in de begroeiing omdat golven niet lineair uitdoven in de vegetatie. Om de hoge frequentie (4Hz) golfdrukmetingen uit te voeren zullen ze zo worden ingesteld dat de sensoren worden getriggerd door inundatie en pas op dat moment data inwinnen. Data wordt opgeslagen in datalogger op de paal aan de damwand, die regelmatig worden gedownload via een GPRS verbindingen. Op deze manier worden de hoeveelheid veldbezoeken geminimaliseerd en maximaliseert de kans dat problemen met de meetapparatuur tijdig worden opgemerkt. Drukgegevens worden omgezet in golfspectra en samenvattingen van de golfstatistieken volgens standaard programma's.

Naast de drukopnemers wordt ook twee golfploopmeters geïnstalleerd die volgens hetzelfde principe data verzenden via de datalogger op de damwand.

Frequentie

De metingen zullen zoveel mogelijk continu zijn voor de periode van enkele weken in het winterseizoen wanneer er storm wordt verwacht. Dit gebeurt minimaal twee winters. Na deze paar weken moeten de druksensoren worden verwijderd om te worden geserviced. Data wordt opgeslagen en uitgelezen volgens standaard werkwijze. Metingen zijn elke 10 minuten voor de meteo, en golfmetingen (2D energiespectrum – frequentie en richting) worden in bursts van 10 minuten per uur bij 4 Hz gemeten.

7.3.2 Morfologische ontwikkeling

De morfologische ontwikkeling onderscheidt twee hoofdprocessen: 1. Zetting en bodemstabiliteit en 2. Erosie/en sedimentatie van het talud onder invloed van hydrodynamische processen

1. Zetting en bodemstabiliteit

Meetapparatuur/meetwijze

De zetsbakens die voor de aanleg zijn geïnstalleerd worden bij elk veldbezoek opnieuw ingemeten met GPS.

2. Sedimentatie en erosie

Algeheel inmeten van de hoogteligging van de proefsectie

Morfologische ontwikkelingen van het talud worden gemeten door middel van gedetailleerde dGPS metingen zowel op het bovenwatertalud, als het onderwatertalud. Boven water zal zolang het mogelijk is, gewerkt worden met een gps op een verrijdbare trolley. Als de vegetatie te dicht wordt voor deze methode zal overgestapt worden op puntmetingen met een prikstok. Voor het onderwaterdeel wordt gebruik gemaakt van een dGPS station bevestigd op een catamaran. De transecten zullen 15 m uit elkaar liggen. Deze metingen zullen worden uitgevoerd door Shore.

Sedimentsamenstelling

Per PQ zullen bodemmonsters genomen worden, waaraan de volgende karakteristieken gemeten zullen worden: fractie organisch/in-organisch materiaal, korrelgrootteverdeling, nutriënten concentraties.

Er worden zes peilbuizen geslagen om grondwaterstand te monitoren.

Detailmetingen sedimentatie en erosie, alleen op de focus-transecten

In de PQ's op de vier focus-transecten (zie 7.3.3) wordt middels de spijkermethode (Krol, 2011) de hoeveelheid ingevangen of geërodeerd materiaal op groot detailniveau gemeten, en direct gekoppeld aan de data van de vegetatieontwikkeling uit de betreffende PQ.

Naast de PQ's in de focus-transecten worden sedimentatiematten neergelegd om de hoeveelheid ingevangen sediment te volgen en hieraan korrelgrootteverdeling en organisch stof gehalte te meten. Er worden 2 transecten met erosiepijnen ingemeten om erosie te volgen.

Frequentie

De metingen aan morfodynamiek worden minimaal 1x voor en 1x na het stormseizoen gedaan, en zijn daarnaast flexibel inzetbaar voor/na stormen. In het eerste winterseizoen na aanleg zal ongeveer maandelijks worden gemeten (afhankelijk van de veranderingen en snelheid van stabilisatie van het talud zal de frequentie over de jaren afnemen).

7.3.3 Vegetatieontwikkeling

Meetapparatuur/meetwijze

Vegetatieontwikkeling (soortsamenstelling en bedekking) wordt gemeten op vastgelegde locaties (Permanente Quadraten, zie 4.6) die zowel binnen als buiten exclusures liggen, als op verschillende hoogtes op het talud. Ook onderwater (-70 cm NAP) wordt een exclusure uitgezet.

Daarnaast zullen destructieve biomassametingen worden gedaan om zowel ontwikkeling aan boven als ondergrondse biomassa in beeld te krijgen. Hierbij wordt gemeten aan de hoeveelheid (g droog gewicht, #stems, doorsnede stengels op verschillende hoogtes, en flexibiliteit en krachtbestendigheid) volgens door Deltares ontwikkelde protocollen middels een meetframe van 1x1 m. hoog, onderverdeeld in vakken van 10 cm.

Omdat we verwachten dat het in de zomer erg droog kan worden (met name op het hogere deel van het zandige talud) zal dit effect hebben op de vegetatieontwikkeling. Met name nieuw gevestigde planten kunnen een droogtetekort ervaren. Daarom worden de peilbuizen bij elke bezoek uitgelezen.

Frequentie

Vegetatie wordt 2x per jaar bemeaten: 1x tijdens het groeiseizoen, en 1x tijdens het winterseizoen, zodat een goed beeld wordt verkregen van de verschillen tussen een dichte volgroeide vegetatie en een winters restant van deze vegetatie.

Eventueel is het mogelijk om dit met een extra meting uit te breiden, aan het eind van de herfst wanneer het stormseizoen begint. Dus dan 1 meting in januari/februari, 1 meting in juni/juli, 1 meting in oktober.

7.4 Databeheer en –analyse

De verwerking en analyse van de monitoringsdata is de eerste stap in het opschalen naar generieke kennis. Alle monitoringsdata is vrij toegankelijk voor de projectpartners en zal via Open Earth beschikbaar worden gesteld. Er wordt jaarlijks een monitoringsrapportage gemaakt waarin de nieuwe data wordt gepresenteerd en gerelateerd aan de eerdere jaren. Deze rapportage levert onderliggende informatie voor de factsheets. In Bijlage E is een voorbeeld gegeven van een dergelijke factsheet.

De in 2016 beschikbare monitoringsdata wordt ingezet voor calibratie van bestaande modellen en de daarin aanwezige kennis (focus op X-Beach met vegetatie en gemengde sedimenten). In 2016 zal er ook een tussenrapportage worden gemaakt.

De meetresultaten uit 2017 en 2018 worden gebruikt ter validatie van de beschikbare modellen. Waar mogelijk wordt de software verbeterd of aangepast op basis van deze resultaten, in samenwerking met o.a. het Be-Safe programma. Zo wordt in een interactief proces van verbetering van de procesbeschrijving en modelcodes gekomen tot praktisch bruikbare en snel inzetbare modellen die betrouwbare, toetsbare ontwerpen kunnen doorrekenen.

8 Project- en organisatiemanagement

8.1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt beschreven hoe het projectmanagement rondom de pilot wordt vormgegeven. Hierbij wordt onderscheid gemaakt in de planning, een overzicht van de kosten, het risicodossier en kennismanagement. Verder is het doel van organisatiemanagement het waarborgen dat de bij het project ingezette mensen er aan bijdragen dat het project op een beheerswijze tot stand komt.

Het project wordt uitgevoerd door een breed samengesteld team van experts, die alle onderdeel vormen van het Ecoshape consortium. Het team bestaat uit vertegenwoordigers van uitvoerende partijen, adviesbureaus en kennisinstellingen, die actief betrokken zijn bij lopende HWBP-projecten of actief participeren in het programma Building with Nature op het thema natuurlijke keringen.

De meest actuele stand van zaken rondom het project- en organisatiemanagement is thans vastgelegd in het zogenaamde ProjectmanagementPlan (PMP).

De rest van dit hoofdstuk uit het voorliggende document is daarmee komen te vervallen.

Referenties

- Arcadis (2012). Definitiestudie oeverdijk; ontwikkeling M.E.R.-rijp alternatief. Rapportage A2759R1 d.d. 27 september 2012, Deel 1.
- CERC (1984). Shore protection manual, volume I. Coastal Engineering Research Center, US Army Corps of Engineers, 1984.
- Deltares (2009). Effecten van peilveranderingen in het IJsselmeer en Markermeer-IJmeer; Quick scan seizoensgebonden peil. 1200097-004-VEB-0004, 10 april 2009, definitief
- DP IJsselmeergebied (2011). De Hoekpunten van het Speelveld; Eindrapport Strategieontwikkeling Deltaprogramma IJsselmeergebied Fase 1.
- Ecoshape (2011). Perspectief Natuurlijke keringen: Een eerste verkenning ten behoeve van het Deltaprogramma. 21 juni 2011.
- Ecoshape (2013). Proefsectie voorlandoplossing; Toepassing voor Houtribdijk. 23 juli 2013.
- HKV (2002). Wind-waterstandstatistiek; Hoek van Holland. HKV rapport pr456, C.P.M. Geerse, M.T. Duits, H.J. Kalk, I.B.M. Lammers, juli 2002.
- HKV (2008). Hydra-VIJ invoer Markermeer. Memorandum pr1371.30. C.P.M. Geerse.
- HKV (2013). Vergelijking Hydra-Zoet met de HR; Versie 1.6.0 vs. HR2006 en WTI2011. HKV-rapport pr1564, V. Vuik en R.P. Nicolai, januari 2013.
- Hurdle, D. P. en R. J. H. Stive (1989). Revision of SPM 1984 wave hindcast model to avoid inconsistencies in engineering applications. Coastal Engineering 12.4 (1989): 339-351.
- Stockdon, H.F., Holman, R.A., Howd, P.A. and Sallenger, A.H. (2006). Empirical parameterization of setup, swash and runup. Coastal Engineering, 53(7): 573-588.
- TAW (2002). Technisch Rapport Golfoploop en Golfoverslag bij Dijken. Delft, mei 2002.
- Volker, W.F. (1987). Statistiek van wind en waterstanden in Hoek van Holland. Tweede concept. W.F. Volker. mei 1987.
- Waal, J.P. de (2003), 'Windmodellering voor bepaling waterstanden en golven. Een analyse van de bouwstenen', RIZA-werkdocument 2003.118x, Rijkswaterstaat-RIZA

Bijlagen

Bijlage A: Afleiding randvoorwaarden

Deze bijlage geeft inzicht in de te verwachten waarden voor de volgende variabelen:

1. Meerpeilstatistiek en streefpeilen voor het Markermeer,
2. Waterstandstatistiek voor het Markermeer ter plaatse van Trintelhaven,
3. Het heersende windklimaat.
4. Het golfklimaat in het Markermeer ter plaatse van Trintelhaven

A.1 Meerpeil

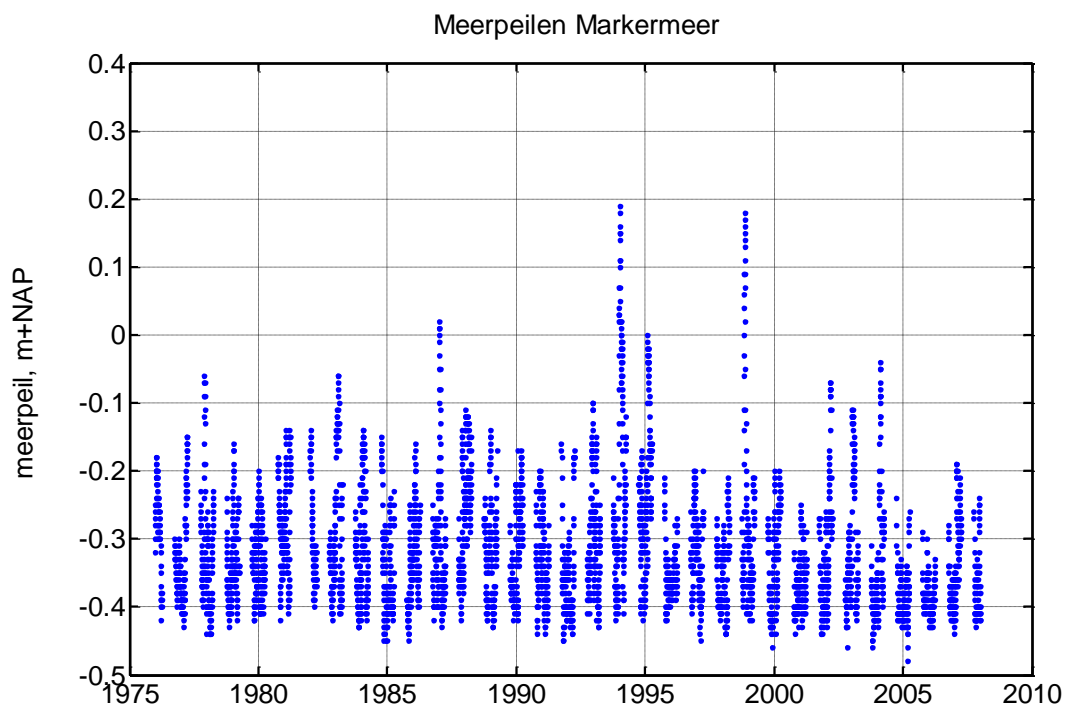
Streefpeil

In de winter is het streefpeil -0.40 m+NAP. In de zomer (d.w.z. vanaf 10 april tot en met 20 september), wanneer de kans op hoge afvoeren en zware stormen kleiner is, is het streefpeil gesteld op -0.20 m+NAP. Mogelijk zal er gekozen gaan worden voor een sterker seizoensgebonden streefpeil, maar het winterstreefpeil van -0.40 m+NAP kan zonder aanvullende veiligheidsmaatregelen niet verhoogd worden (Deltares, 2009).

Het gemiddelde winterpeil op het Markermeer ligt ongeveer 0.10 m boven streefpeil, op -0.30 m+NAP. Om veiligheidsredenen blijft dit winterpeil in alle scenario's (hoekpunten) van het DP IJsselmeergebied gehandhaafd op -0.30 m+NAP (DP IJsselmeergebied, 2011).

Gemeten meerpeil

Figuur A-1 toont dagmetingen van het meerpeil voor de periode 01-01-1976 t/m 31-12-2007, afkomstig van Rijkswaterstaat Dienst IJsselmeergebied Watersystemen, en overgenomen uit HKV (2008). Alleen winterhalfjaren (oktober t/m maart) zijn getoond, en gebruikt voor het afleiden van de meerpeilstatistiek (volgende paragraaf). Het gemiddelde winterpeil in de periode 1976-2007 is -0.32 m+NAP.

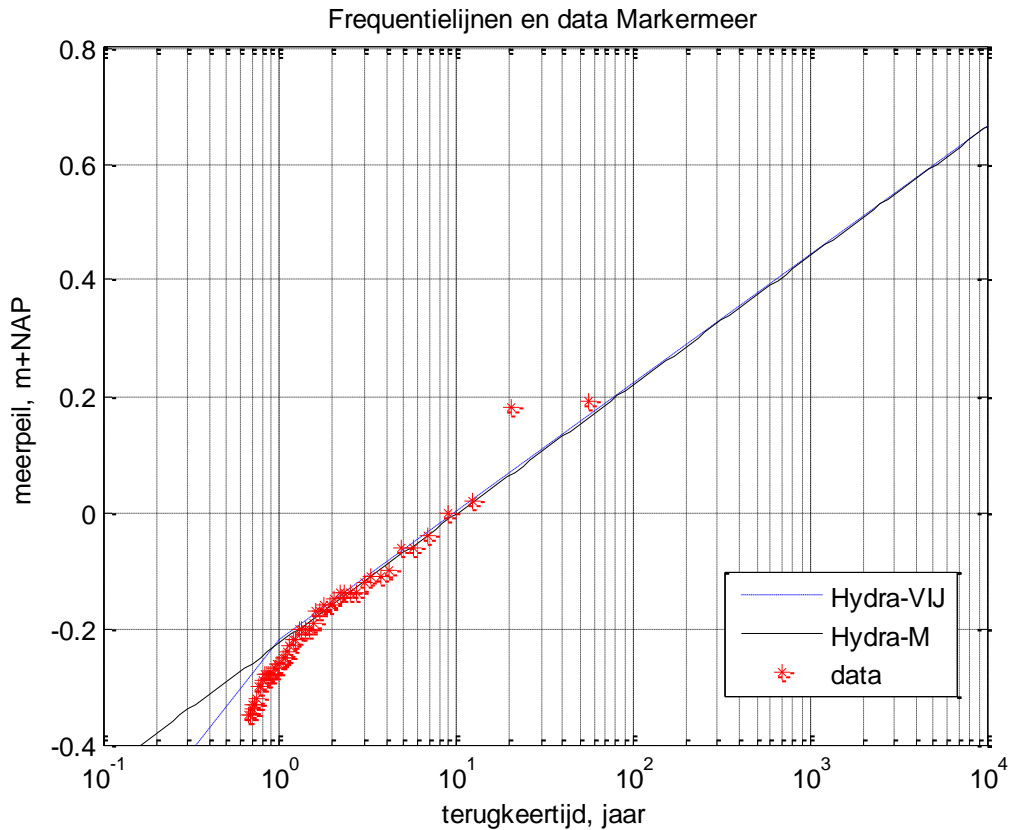


Figuur A-1 Gemeten meerpeil voor de jaren 1976 t/m 2007 als functie van de tijd

Meerpeilstatistiek

Figuur A-2 toont de meerpeilstatistiek voor het Markermeer, zoals geïmplementeerd in Hydra-M, Hydra-VIJ, samen met de data uit Figuur A-1. Voor terugkeertijden groter dan ongeveer 1 jaar komt de statistiek van beide Hydra-modules nagenoeg overeen.

De data behorend bij de statistiek uit Hydra-M is opgenomen in het bestand 'statistiek Markermeer Ovfreq Hydra-M.txt'. Tabel A-1 toont een uitgedunde versie van deze data.



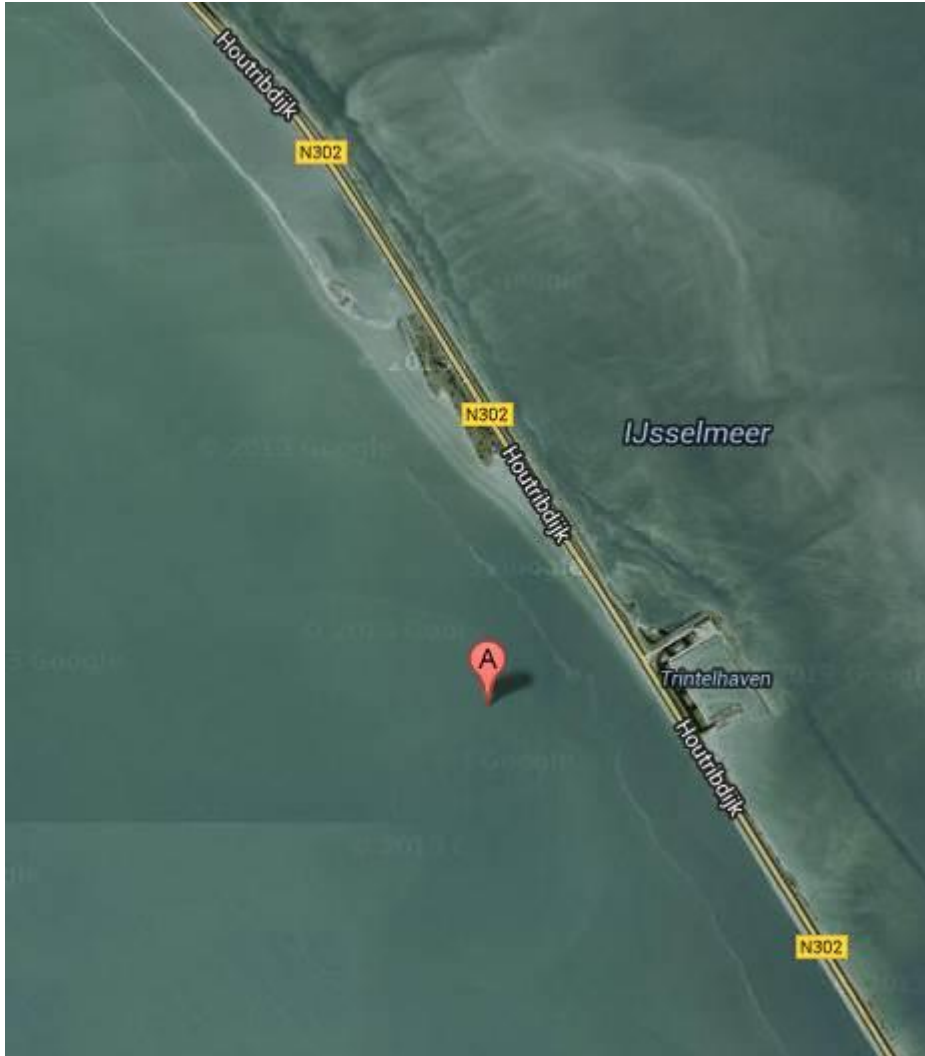
Figuur A-2 Frequentielijnen volgens Hydra-M en Hydra-VIJ, samen met de data uit Figuur A-1

meerpeil [m+NAP]	overschrijdingsfreq. [1/jaar]	terugkeertijd [jaar]	meerpeil [m+NAP]	overschrijdingsfreq. [1/jaar]	terugkeertijd [jaar]
-0.40	6.14E+00	1.63E-01	0.80	2.42E-05	4.13E+04
-0.30	2.18E+00	4.59E-01	0.90	8.58E-06	1.17E+05
-0.20	7.72E-01	1.30E+00	1.00	3.04E-06	3.29E+05
-0.10	2.74E-01	3.65E+00	1.10	1.08E-06	9.27E+05
0.00	9.70E-02	1.03E+01	1.20	3.82E-07	2.62E+06
0.10	3.44E-02	2.91E+01	1.30	1.36E-07	7.38E+06
0.20	1.22E-02	8.20E+01	1.40	4.80E-08	2.08E+07
0.30	4.32E-03	2.31E+02	1.50	1.70E-08	5.88E+07
0.40	1.53E-03	6.53E+02	1.60	6.00E-09	1.67E+08
0.50	5.43E-04	1.84E+03	1.70	2.10E-09	4.76E+08
0.60	1.93E-04	5.19E+03	1.80	8.00E-10	1.25E+09
0.70	6.83E-05	1.46E+04			

Tabel A-1 Meerpeilstatistiek volgens Hydra-M (geldig voor winterhalfjaar)

A.2 Lokale waterstand

De randvoorwaardenlocatie van de HR2006 die het dichtst bij de beoogde locatie van het voorland ligt, is locatie 290 Houtribdijk. Figuur A-3 toont de positie (X = 156279, Y = 516334 m) van deze randvoorwaardenlocatie.

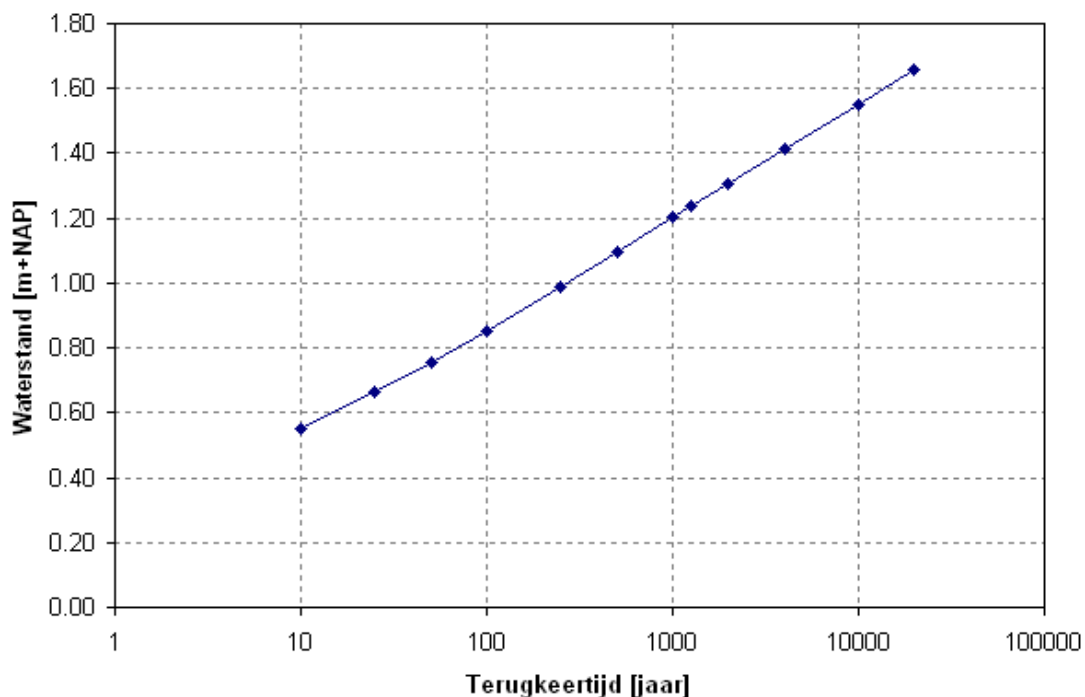


Figuur A-3 Randvoorwaardenlocatie 290 Houtribdijk

De normterugkeertijd voor de verbindende waterkering Houtribdijk bedraagt 10.000 jaar. Volgens de HR2006 bedraagt het toetspeil voor deze locatie 1.6 m+NAP. Voor de aanleg van de proefsectie zijn ook waterstanden bij lagere terugkeertijden van belang. Om die reden is voor diverse terugkeertijden een berekening met Hydra-Zoet uitgevoerd op basis van de HR2006-database voor het Markermeer. Hydra-Zoet en Hydra-M geven voor het Markermeer identieke resultaten volgens HKV (2013). De resultaten van de berekeningen met Hydra-Zoet zijn opgenomen in Tabel A-2 en Figuur A-4.

T [jaar]	h [m+NAP]
10	0.55
25	0.66
50	0.76
100	0.85
250	0.99
500	1.10
1000	1.20
1250	1.24
2000	1.31
4000	1.41
10000	1.55
20000	1.66

Tabel A-2 Waterstand bij HR2006-locatie 290 Houtribdijk bij diverse terugkeertijden



Figuur A-4 Waterstand bij HR2006-locatie 290 Houtribdijk als functie van de terugkeertijd

In onderstaande tabellen zijn de illustratiepunten (meest waarschijnlijke condities waarbij de waterstand wordt overschreden) voor deze locatie bij terugkeertijden van 10 jaar en 10000 jaar weergegeven. Windopzet is duidelijk maatgevend voor deze locatie. Puur meerpeilgedomineerde condities leveren nauwelijks een bijdrage aan de overschrijdingsfrequentie van de waterstanden van 0.55 m+NAP (T=10 jaar) en 1.55 m+NAP (T=10000 jaar). Een combinatie van een gemiddeld meerpeil en een hoge windsnelheid vanuit richting (W)ZW levert de grootste bijdrage aan de overschrijdingsfrequenties.

windr.	meerp.	windsn.	waterst.	ov. freq
	m+NAP	m/s	m+NAP	%
NNO	0.55	6.0	0.55	0.001
NO	0.55	7.5	0.55	0.001
ONO	0.55	7.5	0.55	0.002
O	0.55	6.0	0.55	0.001
OZO	0.55	6.0	0.55	0.001
ZO	0.55	6.0	0.55	0.001
ZZO	0.52	6.0	0.55	0.011
Z	0.47	7.5	0.55	0.057
ZZW	-0.27	23.9	0.55	12.305
ZW	-0.26	23.6	0.55	40.638
WZW	-0.3	24.5	0.55	34.209
W	-0.27	26.6	0.55	12.52
WNW	0.42	12.0	0.55	0.242
NW	0.54	7.5	0.55	0.008
NNW	0.55	7.5	0.55	0.001
N	0.55	6.0	0.55	0.001

Tabel A-3 Illustratiepunten bij een waterstand van 0.55 m+NAP en een terugkeertijd van 10 jaar

windr.	meerp.	windsn.	waterst.	ov. freq
	m+NAP	m/s	m+NAP	%
NNO	--	--	--	0
NO	--	--	--	0
ONO	--	--	--	0
O	--	--	--	0
OZO	--	--	--	0
ZO	--	--	--	0
ZZO	1.38	22.5	1.55	0
Z	1.33	18.2	1.55	0
ZZW	-0.27	35.1	1.55	1.3
ZW	-0.3	34.8	1.55	27.1
WZW	-0.31	35.4	1.55	51.6
W	-0.31	38.4	1.55	19.9
WNW	0.46	40.5	1.55	0.1
NW	--	--	--	0
NNW	--	--	--	0
N	--	--	--	0

Tabel A-4 Illustratiepunten bij een waterstand van 1.55 m+NAP en een terugkeertijd van 10.000 jaar

A.3 Windklimaat

Het windklimaat voor het Markermeer wordt in de Hydra-modules gebaseerd op de statistiek van de potentiële windsnelheid bij het KNMI-station Schiphol. Deze is beschreven in HKV (2002). Voor hoge terugkeertijden is de statistiek gebaseerd op het Rijkooort Weibull model, opgesteld door het KNMI (Rijkooort, 1983). Voor lagere terugkeertijden is de statistiek gebaseerd op turven van de data met windrichtingen en potentiële windsnelheden. Tussen beide databronnen is een geleidelijke overgang gerealiseerd.

Bijlage G van HKV (2002) bevat de resultaten van de studie in de vorm van overschrijdingskansen van de windsnelheid u gegeven de windrichting w voor 12-uursperioden (aangeduid met $P(u_{12} > u | w)$). Deze conditionele overschrijdingskansen zijn omgerekend tot de data uit onderstaande Tabel A-5. Deze tabel bevat per combinatie van windrichting w en windsnelheid u de kans $P(u, w)$ dat in een winterhalfjaar minimaal 1 uur voorkomt waarin tegelijkertijd de windsnelheid groter is dan u en de windrichting w is.

$$P(u, w) = 1 - \left(1 - P(u_{12} > u | w)\right)^{N_{12} \cdot P(w)}$$

Bij deze omrekening is (evenals in HKV, 2002) gebruik gemaakt van de kansen op windrichtingen $P(w)$ volgens Volker (1987). N_{12} is het aantal blokken van 12 uur in een winterhalfjaar ($182 \cdot 2$).

Door middel van interpolatie is per windrichting voor diverse overschrijdingskansen een potentiële windsnelheid bepaald. Het resultaat is te vinden in Tabel A-6.

De windsnelheden in deze tabellen hebben vooral betrekking op extreme windcondities (terugkeertijd > 1 jaar). Voor gemiddelde windcondities ligt het meer voor de hand om overschrijdingsduren te beschouwen in plaats van overschrijdingskansen. Tabel A-7 toont daarom voor station Schiphol de percentielwaarden voor de windsnelheid bij verschillende windrichtingen. Een 30% percentiel van 4.2 m/s houdt in dat de uurgemiddelde windsnelheid onder 4.2 m/s ligt in 30% van de tijd dat het uit die windrichting waait, en boven 4.2 m/s ligt in 70% van diezelfde tijd. De tabel bevat ook de verdeling van de tijd over de windrichtingen in deze dataset. Figuur A-5 toont deze data in de vorm van een windroos. De data en de windroos zijn beide afkomstig van het KNMI (www.knmi.nl/samenw/hydra).

richting R=r	NNO	NO	ONO	O	OZO	ZO	ZZO	Z
	1	2	3	4	5	6	7	8
P(R=r)(Volker)	4.52E-02	5.57E-02	6.44E-02	5.75E-02	4.14E-02	4.44E-02	5.82E-02	7.45E-02
E(U R=r) [m/s]	6.20	7.05	7.28	6.29	5.53	5.79	6.35	6.88
0	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00
1	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00
2	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00
3	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00
4	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00
5	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00
6	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	9.99E-01	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00
7	9.99E-01	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	9.80E-01	9.94E-01	1.00E+00	1.00E+00
8	9.82E-01	1.00E+00	1.00E+00	9.95E-01	8.42E-01	9.28E-01	9.97E-01	1.00E+00
9	9.31E-01	9.96E-01	9.99E-01	9.45E-01	5.64E-01	7.44E-01	9.62E-01	9.98E-01
10	8.36E-01	9.65E-01	9.90E-01	8.14E-01	2.58E-01	4.74E-01	8.15E-01	9.82E-01
11	6.36E-01	8.18E-01	9.12E-01	6.37E-01	1.54E-01	2.36E-01	5.71E-01	9.25E-01
12	4.12E-01	6.05E-01	6.85E-01	4.14E-01	1.24E-01	1.56E-01	3.28E-01	8.03E-01
13	2.45E-01	3.08E-01	2.73E-01	2.05E-01	8.68E-02	1.06E-01	2.42E-01	5.95E-01
14	1.15E-01	1.41E-01	1.64E-01	1.15E-01	6.58E-02	8.39E-02	1.29E-01	4.20E-01
15	5.94E-02	7.38E-02	8.78E-02	5.78E-02	3.27E-02	3.89E-02	8.90E-02	2.83E-01
16	2.83E-02	3.53E-02	4.27E-02	2.65E-02	1.35E-02	1.60E-02	4.64E-02	1.73E-01
17	1.27E-02	1.55E-02	1.90E-02	1.10E-02	5.00E-03	5.95E-03	2.28E-02	9.59E-02
18	5.42E-03	6.29E-03	7.76E-03	4.14E-03	1.69E-03	2.04E-03	1.06E-02	4.92E-02
19	2.22E-03	2.37E-03	2.90E-03	1.42E-03	5.20E-04	6.39E-04	4.72E-03	2.35E-02
20	8.82E-04	8.27E-04	1.01E-03	4.50E-04	1.46E-04	1.83E-04	2.00E-03	1.06E-02
21	3.39E-04	2.70E-04	3.26E-04	1.30E-04	3.77E-05	4.84E-05	8.05E-04	4.44E-03
22	1.27E-04	8.17E-05	9.75E-05	3.43E-05	8.98E-06	1.17E-05	3.09E-04	1.76E-03
23	4.66E-05	2.29E-05	2.70E-05	8.40E-06	1.98E-06	2.60E-06	1.13E-04	6.53E-04
24	1.66E-05	6.02E-06	6.94E-06	1.89E-06	4.07E-07	5.35E-07	3.88E-05	2.28E-04
25	5.83E-06	1.47E-06	1.65E-06	3.94E-07	7.86E-08	1.01E-07	1.26E-05	7.48E-05
26	1.99E-06	3.31E-07	3.63E-07	7.58E-08	1.40E-08	1.73E-08	3.86E-06	2.30E-05
27	6.57E-07	6.96E-08	7.48E-08	1.37E-08	2.41E-09	2.67E-09	1.11E-06	6.62E-06
28	2.11E-07	1.36E-08	1.44E-08	2.55E-09	4.27E-10	3.93E-10	2.97E-07	1.78E-06
29	6.54E-08	2.43E-09	2.44E-09	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	7.46E-08	4.47E-07
30	1.96E-08	2.13E-10	9.00E-11	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.75E-08	1.05E-07
31	5.55E-09	1.59E-11	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	3.81E-09	2.29E-08
32	1.57E-09	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	7.52E-10	4.50E-09
33	1.93E-10	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	9.35E-11	5.61E-10
34	2.42E-12	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
35	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
36	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
37	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
38	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
39	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
40	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
41	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
42	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00

richting R=r	ZZW	ZW	WZW	W	WNW	NW	NNW	N	omni
	9	10	11	12	13	14	15	16	
P(R=r)(Volker)	9.07E-02	9.60E-02	9.09E-02	7.59E-02	5.75E-02	5.08E-02	4.95E-02	4.71E-02	1.00E+00
E(U R=r) [m/s]	8.25	9.32	9.61	9.45	8.92	8.17	7.10	5.89	7.66
0	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00
1	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00
2	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00
3	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00
4	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00
5	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00
6	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00
7	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	9.98E-01	1.00E+00
8	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	9.84E-01	1.00E+00
9	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	9.92E-01	9.28E-01	1.00E+00
10	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	9.98E-01	9.66E-01	8.39E-01	1.00E+00
11	9.99E-01	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	9.99E-01	9.89E-01	8.73E-01	7.37E-01	1.00E+00
12	9.91E-01	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	9.94E-01	9.53E-01	7.50E-01	5.94E-01	1.00E+00
13	9.63E-01	9.99E-01	1.00E+00	9.98E-01	9.60E-01	8.69E-01	5.70E-01	3.94E-01	1.00E+00
14	8.66E-01	9.94E-01	9.95E-01	9.81E-01	8.72E-01	6.81E-01	4.65E-01	1.52E-01	1.00E+00
15	7.37E-01	9.77E-01	9.69E-01	9.16E-01	7.38E-01	5.82E-01	3.34E-01	8.70E-02	1.00E+00
16	5.47E-01	9.05E-01	9.00E-01	8.20E-01	6.04E-01	4.15E-01	2.04E-01	4.70E-02	1.00E+00
17	3.78E-01	7.92E-01	7.99E-01	6.79E-01	5.16E-01	2.75E-01	1.24E-01	2.43E-02	9.98E-01
18	2.37E-01	6.29E-01	6.13E-01	4.99E-01	3.52E-01	1.57E-01	7.76E-02	1.20E-02	9.74E-01
19	1.58E-01	4.70E-01	4.35E-01	3.30E-01	2.22E-01	1.08E-01	4.62E-02	5.73E-03	8.92E-01
20	9.92E-02	2.96E-01	2.83E-01	2.42E-01	1.32E-01	7.27E-02	2.67E-02	2.64E-03	7.34E-01
21	5.96E-02	2.23E-01	1.41E-01	1.57E-01	9.13E-02	4.77E-02	1.48E-02	1.17E-03	5.51E-01
22	3.44E-02	1.25E-01	9.31E-02	1.08E-01	6.14E-02	3.08E-02	8.08E-03	4.97E-04	3.84E-01
23	1.91E-02	9.14E-02	5.94E-02	7.20E-02	4.04E-02	1.96E-02	4.28E-03	2.02E-04	2.72E-01
24	1.03E-02	2.38E-02	3.70E-02	4.67E-02	2.61E-02	1.23E-02	2.23E-03	7.94E-05	1.49E-01
25	5.33E-03	1.38E-02	2.27E-02	2.99E-02	1.65E-02	7.61E-03	1.14E-03	2.99E-05	9.33E-02
26	2.70E-03	7.87E-03	1.35E-02	1.87E-02	1.03E-02	4.65E-03	5.70E-04	1.07E-05	5.69E-02
27	1.32E-03	4.43E-03	7.94E-03	1.15E-02	6.28E-03	2.79E-03	2.79E-04	3.69E-06	3.41E-02
28	6.30E-04	2.43E-03	4.59E-03	7.02E-03	3.78E-03	1.65E-03	1.33E-04	1.21E-06	2.01E-02
29	2.91E-04	1.31E-03	2.60E-03	4.22E-03	2.24E-03	9.64E-04	6.22E-05	3.83E-07	1.17E-02
30	1.31E-04	7.02E-04	1.46E-03	2.51E-03	1.31E-03	5.53E-04	2.83E-05	1.15E-07	6.68E-03
31	5.68E-05	3.67E-04	8.00E-04	1.47E-03	7.54E-04	3.13E-04	1.26E-05	3.31E-08	3.78E-03
32	2.40E-05	1.89E-04	4.33E-04	8.56E-04	4.25E-04	1.73E-04	5.45E-06	9.45E-09	2.11E-03
33	9.87E-06	9.64E-05	2.32E-04	4.89E-04	2.37E-04	9.47E-05	2.29E-06	1.15E-09	1.16E-03
34	3.93E-06	4.82E-05	1.22E-04	2.76E-04	1.30E-04	5.09E-05	9.43E-07	1.45E-11	6.33E-04
35	1.51E-06	2.37E-05	6.38E-05	1.55E-04	7.04E-05	2.70E-05	3.79E-07	0.00E+00	3.42E-04
36	5.64E-07	1.15E-05	3.28E-05	8.54E-05	3.75E-05	1.40E-05	1.47E-07	0.00E+00	1.82E-04
37	2.04E-07	5.45E-06	1.67E-05	4.70E-05	1.97E-05	7.16E-06	5.61E-08	0.00E+00	9.61E-05
38	7.20E-08	2.56E-06	8.40E-06	2.53E-05	1.02E-05	3.61E-06	2.04E-08	0.00E+00	5.02E-05
39	2.41E-08	1.17E-06	4.17E-06	1.34E-05	5.21E-06	1.79E-06	7.37E-09	0.00E+00	2.58E-05
40	7.82E-09	5.31E-07	2.05E-06	7.05E-06	2.62E-06	8.70E-07	0.00E+00	0.00E+00	1.31E-05
41	2.62E-09	2.34E-07	9.96E-07	3.65E-06	1.30E-06	4.16E-07	0.00E+00	0.00E+00	6.59E-06
42	1.34E-09	1.02E-07	4.80E-07	1.86E-06	6.39E-07	1.98E-07	0.00E+00	0.00E+00	3.28E-06

Tabel A-5 Kansen $P(u,w)$ dat in een winterhalfjaar minimaal 1 uur voorkomt waarin bij station Schiphol tegelijkertijd de potentiële windsnelheid groter is dan u en de windrichting w is.

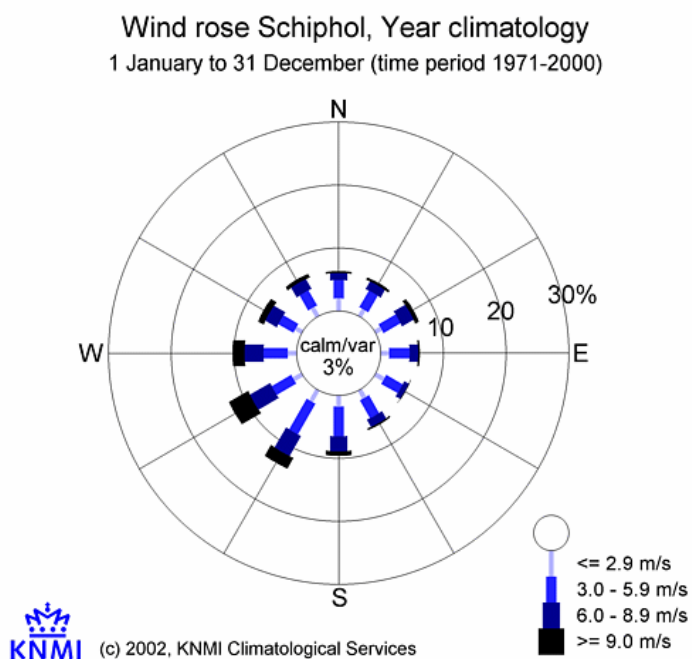
richting R=r		NNO	NO	ONO	O	OZO	ZO	ZZO	Z
richting nr.		1	2	3	4	5	6	7	8
P(R=r)(Volker)		4.52E-2	5.57E-2	6.44E-2	5.75E-2	4.14E-2	4.44E-2	5.82E-2	7.45E-2
E(U R=r) [m/s]		6.20	7.05	7.28	6.29	5.53	5.79	6.35	6.88
Terugkeertijd	Overschr. kans								
1.01	99%	7.5	9.2	10.0	8.1	6.5	7.1	8.2	9.5
1.05	95%	8.6	10.1	10.5	8.9	7.2	7.7	9.1	10.6
1.11	90%	9.3	10.4	11.1	9.3	7.6	8.2	9.4	11.2
2	50%	11.6	12.4	12.4	11.6	9.2	9.9	11.3	13.5
5	20%	13.3	13.6	13.7	13.1	10.6	11.4	13.4	15.8
10	10%	14.3	14.6	14.8	14.3	12.6	13.3	14.7	16.9
20	5%	15.3	15.6	15.8	15.2	14.5	14.8	15.9	18.0
25	4%	15.6	15.9	16.1	15.6	14.8	15.0	16.3	18.4
50	2%	16.5	16.8	17.0	16.4	15.7	15.8	17.2	19.3
100	1%	17.4	17.6	17.8	17.1	16.4	16.6	18.1	20.1
500	0.2%	19.2	19.2	19.5	18.8	17.9	18.0	20.0	21.9
1000	0.1%	19.9	19.9	20.0	19.4	18.6	18.7	20.8	22.7
2000	0.05%	20.7	20.6	20.7	19.9	19.1	19.3	21.6	23.4
2500	0.04%	20.9	20.8	20.9	20.2	19.3	19.5	21.8	23.6
5000	0.02%	21.7	21.4	21.6	20.8	19.9	20.0	22.6	24.2
10000	0.01%	22.3	21.9	22.0	21.3	20.4	20.6	23.2	24.8

richting R=r		ZZW	ZW	WZW	W	WNW	NW	NNW	N	
richting nr.		9	10	11	12	13	14	15	16	omni
P(R=r)(Volker)		9.07E-2	9.60E-2	9.09E-2	7.59E-2	5.75E-2	5.08E-2	4.95E-2	4.71E-2	1.00
E(U R=r) [m/s]		8.25	9.32	9.61	9.45	8.92	8.17	7.10	5.89	7.66
Terugkeertijd	Overschr. kans									
1.01	99%	12.0	14.2	14.2	13.5	12.1	10.9	9.1	7.6	17.3
1.05	95%	13.1	15.4	15.3	14.5	13.1	12.0	10.2	8.6	18.3
1.11	90%	13.6	16.0	16.0	15.2	13.7	12.6	10.7	9.3	18.9
2	50%	16.3	18.8	18.6	18.0	17.1	15.5	13.7	12.5	21.3
5	20%	18.5	21.2	20.6	20.5	19.2	17.6	16.1	13.8	23.6
10	10%	20.0	22.7	21.9	22.2	20.8	19.2	17.5	14.8	24.9
20	5%	21.4	23.6	23.4	23.9	22.5	20.9	18.9	15.9	26.3
25	4%	21.8	23.8	23.9	24.4	23.0	21.5	19.3	16.3	26.7
50	2%	22.9	24.4	25.3	25.9	24.6	23.0	20.6	17.3	28.0
100	1%	24.1	25.6	26.6	27.3	26.1	24.5	21.7	18.3	29.3
500	0.2%	26.5	28.4	29.5	30.5	29.3	27.7	24.2	20.4	32.1
1000	0.1%	27.5	29.5	30.7	31.8	30.6	28.9	25.2	21.3	33.3
2000	0.05%	28.4	30.6	31.8	33.0	31.8	30.2	26.2	22.0	34.5
2500	0.04%	28.7	30.9	32.2	33.4	32.1	30.6	26.6	22.3	34.8
5000	0.02%	29.6	31.9	33.3	34.6	33.3	31.8	27.5	23.0	35.9
10000	0.01%	30.4	33.0	34.4	35.8	34.5	32.9	28.5	23.8	37.0

Tabel A-6 Potentiële windsnelheid [m/s] per windrichting voor verschillende overschrijdingskansen per winterhalfjaar; KNMI-station Schiphol.

Sector	0°	30°	60°	90°	120°	150°	180°	210°	240°	270°	300°	330°	Alle
	345-15°	15-45°	45-75°	75-105°	105-135°	135-165°	165-195°	195-225°	225-255°	255-285°	285-315°	315-345°	
P(R=r)	6.3%	6.1%	7.0%	6.2%	5.5%	6.3%	9.6%	13.3%	12.4%	10.2%	7.1%	6.7%	100%
1%	1.0	1.0	1.0	1.0	0.5	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.5
5%	1.5	1.5	1.5	1.5	1.0	1.5	1.5	2.1	2.1	2.1	1.6	1.6	1.5
10%	2.0	2.1	2.2	2.1	1.6	2.1	2.1	2.2	2.7	2.6	2.2	2.1	2.1
20%	2.2	2.7	3.2	2.7	2.2	2.6	3.0	3.1	3.7	3.2	3.2	2.7	2.7
30%	2.7	3.2	3.8	3.2	3.0	3.1	3.5	3.7	4.7	4.2	3.8	3.3	3.3
40%	3.2	4.1	4.6	3.8	3.2	3.6	4.0	4.3	5.8	5.1	4.4	3.9	4.1
50%	3.8	4.5	5.2	4.2	3.7	4.1	4.5	5.1	6.8	5.9	5.3	4.7	4.7
60%	4.3	5.2	5.9	4.8	4.1	4.7	5.1	6.1	7.7	6.8	6.1	5.4	5.5
70%	5.1	5.9	6.6	5.6	4.7	5.2	6.1	7.0	8.8	7.5	7.1	6.3	6.4
80%	6.0	6.7	7.4	6.4	5.5	6.2	6.9	8.1	10.0	8.7	8.2	7.3	7.5
90%	7.4	8.0	8.8	7.6	6.5	7.2	8.2	9.7	12.0	10.6	9.9	8.8	9.2
95%	8.6	9.3	9.9	8.5	7.2	8.2	9.5	11.3	13.6	12.3	11.4	10.0	10.9
98%	10.2	10.5	11.3	9.8	8.2	9.5	11.2	12.8	15.3	14.1	13.1	11.9	12.6
99%	11.3	11.3	11.9	10.6	8.9	10.3	12.1	13.9	16.4	15.0	14.3	13.1	14.1
99.5%	12.3	12.3	12.5	11.3	9.5	11.1	12.9	15.2	17.7	16.4	15.8	14.2	15.2
99.9%	14.3	14.0	13.8	12.5	10.8	13.0	15.4	17.4	19.9	19.1	18.4	16.9	17.8

Tabel A-7 Frequentietabel voor potentiële windsnelheid [m/s] bij Schiphol, 1971-2000. De tabel toont per windrichting de windsnelheden die in een bepaald percentage van de tijd worden overschreden. Percentages hebben betrekking op het deel van de tijd dat het uit een bepaalde richting waait. De rij P(R=r) geeft de verdeling van de tijd over de windrichtingen voor de periode 1971-2000. (www.knmi.nl/samenw/hydra)



Figuur A-5 Windroos voor de potentiële windsnelheid bij Schiphol (www.knmi.nl/samenw/hydra)

A.4 Golfklimaat

Het golfklimaat in het Markermeer ter plaatse van de proefsectie langs de Houtribdijk bij Trintelhaven is bepaald op basis van de in paragraaf A.3 beschreven windstatistiek in combinatie met een database met SWAN-resultaten. De SWAN-resultaten zijn door Arcadis gegenereerd ten behoeve van het project Oeverdijk Markermeer. Er is gerekend met een gecombineerd Delft3D-SWAN model, waardoor opwaaiing en golfgroei simultaan zijn gesimuleerd.

Onderstaande tabellen A-8 t/m A-11 tonen de parameters significante golfhoogte, piekperiode, golfrichting en lokale waterstand bij verschillende windrichtingen, windsnelheden en bij een vast meerpeil van -0,40 m+NAP (het streefpeil in de winter). Aangezien de golfparameters bij de Houtribdijk vrijwel uitsluitend bepaald worden door de heersende windcondities, en het meerpeil in de winter slechts beperkt varieert (paragraaf A.1), worden deze tabellen representatief geacht voor het bepalen van het golfklimaat in het interessegebied.

De modelresultaten zijn onderverdeeld in 12 windrichtingsectoren, terwijl de windstatistiek is beschreven aan de hand van 16 sectoren. De golfparameters zijn daarom eveneens omgerekend naar 16 sectoren door gewogen middeling op basis van de overlap tussen beide sectorverdelingen. Daarnaast zijn de potentiële windsnelheden uit paragraaf A.3 omgerekend naar openwaterwindsnelheden aan de hand van De Waal (2003). Vervolgens zijn de windsnelheden uit Tabel A-6 gekoppeld aan de parameters significante golfhoogte, piekperiode, golfrichting en lokale waterstand door interpolatie tussen de getallen uit de tabellen A-8 t/m A-11. Het resultaat is weergegeven in de tabellen A-12 t/m A-15.

Zoals blijkt uit Tabel A-6, kan de windsnelheid bij zeer hoge terugkeertijden oplopen tot ruim 35 m/s. Het golfklimaat bij de Oeverdijk Markermeer wordt gedomineerd door wind uit oostelijke sectoren. Voor deze sectoren is de maximale windsnelheid bij extreme terugkeertijden minder dan 25 m/s. Om die reden is de maximale windsnelheid waarvoor SWAN-output beschikbaar is 'slechts' 27 m/s. Parameters, behorend bij een windsnelheid boven de 27 m/s zijn verkregen door extrapolatie. Getallen, verkregen door extrapolatie (lineair voor waterstand en golfhoogte, nearest neighbour voor golfperiode en golfrichting), zijn in rood weergegeven in de tabellen A-12 t/m A-15. Zij moeten met de nodige voorzichtigheid gebruikt worden.

U / θ	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330
1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	0.06	0.04	0.03	0.04	0.07	0.10	0.12	0.13	0.13	0.12	0.11	0.09
5	0.13	0.05	0.02	0.09	0.17	0.23	0.27	0.30	0.30	0.28	0.25	0.20
7	0.21	0.11	0.01	0.15	0.26	0.35	0.42	0.46	0.46	0.42	0.37	0.30
9	0.28	0.16	0.10	0.22	0.36	0.49	0.58	0.62	0.60	0.55	0.47	0.39
11	0.35	0.21	0.15	0.29	0.46	0.60	0.70	0.74	0.71	0.65	0.57	0.47
13	0.41	0.25	0.18	0.35	0.55	0.69	0.79	0.83	0.79	0.73	0.65	0.53
15	0.48	0.30	0.22	0.43	0.63	0.78	0.87	0.89	0.86	0.81	0.72	0.61
17	0.53	0.35	0.26	0.48	0.72	0.85	0.93	0.96	0.94	0.87	0.79	0.67
19	0.58	0.39	0.30	0.55	0.79	0.92	0.99	1.02	1.00	0.94	0.85	0.73
21	0.62	0.42	0.34	0.60	0.84	0.96	1.05	1.09	1.06	1.00	0.89	0.76
23	0.63	0.45	0.38	0.65	0.87	1.00	1.10	1.15	1.13	1.05	0.93	0.79
25	0.64	0.46	0.42	0.68	0.88	1.04	1.16	1.22	1.20	1.11	0.97	0.73
27	0.63	0.47	0.45	0.68	0.88	1.08	1.23	1.30	1.28	1.17	1.00	0.76

Tabel A-8 *Significante golfhoogte (m) per windrichting (kolommen, °N) en windsnelheid (rijen, m/s).*

U / θ	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330
1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	1.43	1.41	1.16	1.49	1.44	1.62	1.66	1.70	1.71	1.64	1.61	1.46
5	1.68	1.35	1.26	1.54	1.84	2.09	2.32	2.42	2.39	2.34	2.09	1.92
7	2.03	1.47	1.27	1.80	2.17	2.55	2.76	3.00	2.97	2.82	2.59	2.32
9	2.28	1.60	1.00	2.03	2.49	2.91	3.27	3.39	3.37	3.29	2.95	2.60
11	2.43	1.66	1.22	2.20	2.74	3.21	3.53	3.79	3.77	3.53	3.28	2.85
13	2.59	1.75	1.33	2.36	3.00	3.42	3.82	4.12	3.94	3.79	3.45	2.98
15	2.73	1.82	1.43	2.45	3.21	3.75	4.21	4.28	4.27	4.16	3.73	3.28
17	2.89	1.89	1.57	2.56	3.40	3.84	4.28	4.43	4.39	4.26	3.81	3.31
19	2.94	1.92	1.60	2.70	3.59	4.20	4.39	4.79	4.80	4.49	4.09	3.41
21	2.93	1.97	1.73	2.74	3.80	4.26	4.72	4.84	4.84	4.55	3.92	3.32
23	2.66	2.01	1.79	2.94	3.83	4.35	4.76	4.86	4.84	4.39	3.71	3.14
25	2.55	2.01	1.82	2.99	3.94	4.51	4.75	4.88	4.81	4.29	3.56	3.41
27	2.45	2.00	2.00	3.02	4.25	4.71	4.81	4.89	4.80	4.21	3.51	3.32

Tabel A-9 *Piekperiode (s) per windrichting (kolommen, °N) en windsnelheid (rijen, m/s).*

U / θ	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330
1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	296	293	187	168	169	180	195	214	236	260	285	297
5	305	303	162	161	163	176	193	211	232	257	281	297
7	306	319	155	154	162	176	193	208	227	252	275	294
9	308	334	81	149	161	175	192	206	225	250	271	293
11	311	345	76	144	160	174	189	204	223	248	270	294
13	314	350	72	142	158	172	188	203	223	249	271	295
15	316	354	72	140	157	170	186	203	224	248	272	297
17	319	357	69	138	155	169	184	202	224	250	273	298
19	322	1	68	136	154	168	183	202	225	250	276	300
21	326	4	67	134	152	166	182	202	225	252	279	304
23	332	10	66	132	151	165	182	201	225	253	282	308
25	338	17	67	129	149	165	181	201	225	253	284	300
27	344	22	67	125	147	164	181	201	225	254	287	304

Tabel A-10 Golfrichting ($^{\circ}$ N) per windrichting (kolommen, $^{\circ}$ N) en windsnelheid (rijen, m/s).

U / θ	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330
1	-0.40	-0.40	-0.40	-0.40	-0.40	-0.40	-0.40	-0.40	-0.40	-0.40	-0.40	-0.40
3	-0.40	-0.40	-0.40	-0.40	-0.40	-0.40	-0.40	-0.40	-0.40	-0.40	-0.40	-0.40
5	-0.41	-0.41	-0.41	-0.41	-0.40	-0.40	-0.39	-0.39	-0.39	-0.39	-0.40	-0.40
7	-0.42	-0.43	-0.42	-0.42	-0.41	-0.39	-0.38	-0.38	-0.37	-0.38	-0.39	-0.41
9	-0.43	-0.45	-0.45	-0.43	-0.41	-0.39	-0.37	-0.35	-0.35	-0.37	-0.39	-0.41
11	-0.46	-0.48	-0.48	-0.46	-0.42	-0.38	-0.35	-0.32	-0.32	-0.34	-0.38	-0.42
13	-0.49	-0.52	-0.52	-0.49	-0.44	-0.37	-0.32	-0.28	-0.28	-0.31	-0.37	-0.43
15	-0.53	-0.58	-0.58	-0.53	-0.45	-0.36	-0.28	-0.22	-0.22	-0.27	-0.35	-0.44
17	-0.58	-0.65	-0.65	-0.59	-0.47	-0.34	-0.23	-0.15	-0.15	-0.21	-0.33	-0.46
19	-0.64	-0.74	-0.74	-0.66	-0.50	-0.32	-0.16	-0.07	-0.06	-0.15	-0.30	-0.48
21	-0.71	-0.85	-0.86	-0.74	-0.53	-0.29	-0.09	0.03	0.04	-0.07	-0.27	-0.50
23	-0.80	-0.99	-1.00	-0.84	-0.57	-0.26	0.00	0.15	0.16	0.02	-0.23	-0.53
25	-0.91	-1.15	-1.17	-0.97	-0.61	-0.23	0.10	0.29	0.29	0.12	-0.18	-0.48
27	-1.04	-1.35	-1.38	-1.11	-0.66	-0.18	0.21	0.44	0.45	0.24	-0.13	-0.50

Tabel A-11 Lokale waterstand (m+NAP) per windrichting (kolommen, $^{\circ}$ N) en windsnelheid (rijen, m/s), bij een meerpeil van $-0,40$ m+NAP.

richting R=r		NNO	NO	ONO	O	OZO	ZO	ZZO	Z
richting nr.		1	2	3	4	5	6	7	8
P(R=r)(Volker)		4.52E-2	5.57E-2	6.44E-2	5.75E-2	4.14E-2	4.44E-2	5.82E-2	7.45E-2
Terugkeertijd	Overschr. kans								
1.01	99%	0.17	0.16	0.18	0.22	0.25	0.36	0.51	0.67
1.05	95%	0.20	0.19	0.19	0.25	0.29	0.40	0.57	0.73
1.11	90%	0.22	0.19	0.20	0.27	0.31	0.43	0.59	0.76
2	50%	0.28	0.23	0.23	0.35	0.40	0.53	0.68	0.87
5	20%	0.32	0.26	0.25	0.40	0.46	0.61	0.78	0.94
10	10%	0.35	0.28	0.28	0.45	0.56	0.69	0.84	0.98
20	5%	0.37	0.31	0.30	0.48	0.63	0.75	0.88	1.01
25	4%	0.38	0.31	0.31	0.49	0.65	0.76	0.89	1.02
50	2%	0.40	0.33	0.33	0.51	0.68	0.80	0.92	1.04
100	1%	0.42	0.35	0.35	0.54	0.71	0.82	0.94	1.07
500	0.2%	0.45	0.38	0.39	0.58	0.76	0.87	0.99	1.12
1000	0.1%	0.46	0.39	0.40	0.60	0.78	0.88	1.01	1.14
2000	0.05%	0.47	0.40	0.41	0.61	0.79	0.90	1.02	1.16
2500	0.04%	0.47	0.40	0.42	0.62	0.80	0.90	1.03	1.17
5000	0.02%	0.48	0.41	0.43	0.64	0.81	0.91	1.04	1.19
10000	0.01%	0.48	0.42	0.44	0.65	0.81	0.92	1.06	1.21

richting R=r		ZZW	ZW	WZW	W	WNW	NW	NNW	N
richting nr.		9	10	11	12	13	14	15	16
P(R=r)(Volker)		9.07E-2	9.60E-2	9.09E-2	7.59E-2	5.75E-2	5.08E-2	4.95E-2	4.71E-2
Terugkeertijd	Overschr. kans								
1.01	99%	0.83	0.90	0.88	0.80	0.68	0.56	0.41	0.26
1.05	95%	0.87	0.94	0.92	0.84	0.72	0.60	0.46	0.30
1.11	90%	0.89	0.97	0.94	0.86	0.74	0.63	0.48	0.33
2	50%	0.98	1.06	1.03	0.96	0.85	0.73	0.59	0.43
5	20%	1.05	1.14	1.09	1.03	0.90	0.79	0.66	0.48
10	10%	1.10	1.19	1.13	1.08	0.94	0.82	0.71	0.51
20	5%	1.14	1.22	1.19	1.13	0.97	0.85	0.73	0.54
25	4%	1.16	1.23	1.21	1.15	0.98	0.86	0.74	0.55
50	2%	1.20	1.25	1.26	1.19	1.02	0.85	0.75	0.58
100	1%	1.24	1.30	1.31	1.24	1.05	0.87	0.75	0.60
500	0.2%	1.33	1.40	1.42	1.33	1.11	0.93	0.73	0.62
1000	0.1%	1.36	1.45	1.46	1.37	1.14	0.95	0.74	0.63
2000	0.05%	1.40	1.49	1.50	1.41	1.16	0.97	0.75	0.63
2500	0.04%	1.41	1.50	1.51	1.42	1.17	0.98	0.76	0.63
5000	0.02%	1.44	1.54	1.55	1.46	1.20	1.00	0.77	0.64
10000	0.01%	1.47	1.58	1.59	1.49	1.22	1.02	0.78	0.63

Tabel A-12 Significante golfhoogte (m) per windrichting voor verschillende overschrijdingskansen per winterhalfjaar; De rode getallen zijn verkregen door extrapolatie.

richting R=r		NNO	NO	ONO	O	OZO	ZO	ZZO	Z
richting nr.		1	2	3	4	5	6	7	8
P(R=r)(Volker)		4.52E-2	5.57E-2	6.44E-2	5.75E-2	4.14E-2	4.44E-2	5.82E-2	7.45E-2
Terugkeertijd	Overschr. kans								
1.01	99%	1.67	1.39	1.39	2.04	2.15	2.52	3.00	3.48
1.05	95%	1.74	1.45	1.43	2.11	2.28	2.63	3.14	3.64
1.11	90%	1.76	1.47	1.46	2.15	2.34	2.72	3.19	3.73
2	50%	1.89	1.57	1.54	2.35	2.57	2.98	3.43	4.19
5	20%	1.96	1.62	1.60	2.43	2.74	3.18	3.78	4.29
10	10%	2.00	1.68	1.68	2.49	2.98	3.43	3.88	4.36
20	5%	2.04	1.73	1.74	2.54	3.16	3.56	3.98	4.48
25	4%	2.06	1.73	1.75	2.56	3.19	3.58	4.04	4.54
50	2%	2.07	1.75	1.77	2.63	3.27	3.66	4.19	4.70
100	1%	2.09	1.77	1.80	2.68	3.34	3.77	4.27	4.74
500	0.2%	2.12	1.84	1.90	2.73	3.48	3.93	4.36	4.76
1000	0.1%	2.12	1.86	1.92	2.74	3.55	3.98	4.40	4.76
2000	0.05%	2.12	1.88	1.95	2.80	3.59	4.02	4.43	4.76
2500	0.04%	2.12	1.88	1.96	2.82	3.61	4.03	4.45	4.76
5000	0.02%	2.11	1.90	1.98	2.88	3.63	4.04	4.50	4.78
10000	0.01%	2.11	1.90	1.99	2.94	3.65	4.07	4.54	4.79

richting R=r		ZZW	ZW	WZW	W	WNW	NW	NNW	N
richting nr.		9	10	11	12	13	14	15	16
P(R=r)(Volker)		9.07E-2	9.60E-2	9.09E-2	7.59E-2	5.75E-2	5.08E-2	4.95E-2	4.71E-2
Terugkeertijd	Overschr. kans								
1.01	99%	4.10	4.32	4.29	4.12	3.57	3.15	2.68	2.22
1.05	95%	4.22	4.40	4.36	4.20	3.72	3.26	2.80	2.32
1.11	90%	4.27	4.51	4.46	4.24	3.81	3.35	2.84	2.38
2	50%	4.53	4.83	4.77	4.50	4.11	3.56	3.19	2.65
5	20%	4.78	4.85	4.77	4.46	4.03	3.74	3.26	2.75
10	10%	4.83	4.85	4.75	4.34	3.88	3.63	3.33	2.83
20	5%	4.85	4.84	4.72	4.26	3.74	3.47	3.28	2.90
25	4%	4.85	4.84	4.72	4.24	3.70	3.43	3.26	2.91
50	2%	4.85	4.85	4.70	4.24	3.65	3.47	3.14	2.93
100	1%	4.86	4.85	4.70	4.24	3.65	3.44	3.10	2.93
500	0.2%	4.86	4.85	4.70	4.24	3.65	3.44	3.22	2.79
1000	0.1%	4.86	4.85	4.70	4.24	3.65	3.44	3.18	2.68
2000	0.05%	4.86	4.85	4.70	4.24	3.65	3.44	3.18	2.63
2500	0.04%	4.86	4.85	4.70	4.24	3.65	3.44	3.18	2.61
5000	0.02%	4.86	4.85	4.70	4.24	3.65	3.44	3.18	2.57
10000	0.01%	4.86	4.86	4.70	4.24	3.65	3.44	3.18	2.52

Tabel A-13 Piekperiode (s) per windrichting voor verschillende overschrijdingskansen per winterhalfjaar; De rode getallen zijn verkregen door extrapolatie.

richting R=r		NNO	NO	ONO	O	OZO	ZO	ZZO	Z
richting nr.		1	2	3	4	5	6	7	8
P(R=r)(Volker)		4.52E-2	5.57E-2	6.44E-2	5.75E-2	4.14E-2	4.44E-2	5.82E-2	7.45E-2
Terugkeertijd	Overschr. kans								
1.01	99%	330	30	87	149	161	169	178	189
1.05	95%	330	30	87	149	159	168	176	189
1.11	90%	339	30	84	144	159	168	176	188
2	50%	344	31	84	142	157	167	174	186
5	20%	347	33	83	140	157	165	173	184
10	10%	347	33	81	140	155	163	171	183
20	5%	351	33	81	138	154	162	171	183
25	4%	351	33	81	138	152	162	171	183
50	2%	354	34	79	138	152	162	170	182
100	1%	354	34	79	136	152	161	170	182
500	0.2%	358	36	78	134	151	161	169	182
1000	0.1%	358	36	78	134	149	159	168	181
2000	0.05%	3	38	77	134	149	159	168	181
2500	0.04%	3	38	77	134	149	159	168	181
5000	0.02%	3	38	77	132	149	159	167	181
10000	0.01%	10	38	77	132	147	158	167	181

richting R=r		ZZW	ZW	WZW	W	WNW	NW	NNW	N
richting nr.		9	10	11	12	13	14	15	16
P(R=r)(Volker)		9.07E-2	9.60E-2	9.09E-2	7.59E-2	5.75E-2	5.08E-2	4.95E-2	4.71E-2
Terugkeertijd	Overschr. kans								
1.01	99%	200	213	228	248	267	283	297	308
1.05	95%	200	213	228	248	268	283	297	308
1.11	90%	200	213	228	250	268	283	297	311
2	50%	199	213	229	250	272	286	300	314
5	20%	199	213	229	253	275	288	302	316
10	10%	199	213	229	253	277	292	304	319
20	5%	198	213	230	253	279	295	308	319
25	4%	198	213	230	254	279	295	308	319
50	2%	198	213	230	254	281	292	312	322
100	1%	198	213	230	254	281	295	312	322
500	0.2%	198	213	230	254	281	295	306	332
1000	0.1%	198	213	230	254	281	295	311	332
2000	0.05%	198	213	230	254	281	295	311	332
2500	0.04%	198	213	230	254	281	295	311	332
5000	0.02%	198	213	230	254	281	295	311	338
10000	0.01%	198	213	230	254	281	295	311	338

Tabel A-14 Golfrichting ($^{\circ}$ N) per windrichting voor verschillende overschrijdskansen per winterhalfjaar; De rode getallen zijn verkregen door extrapolatie.

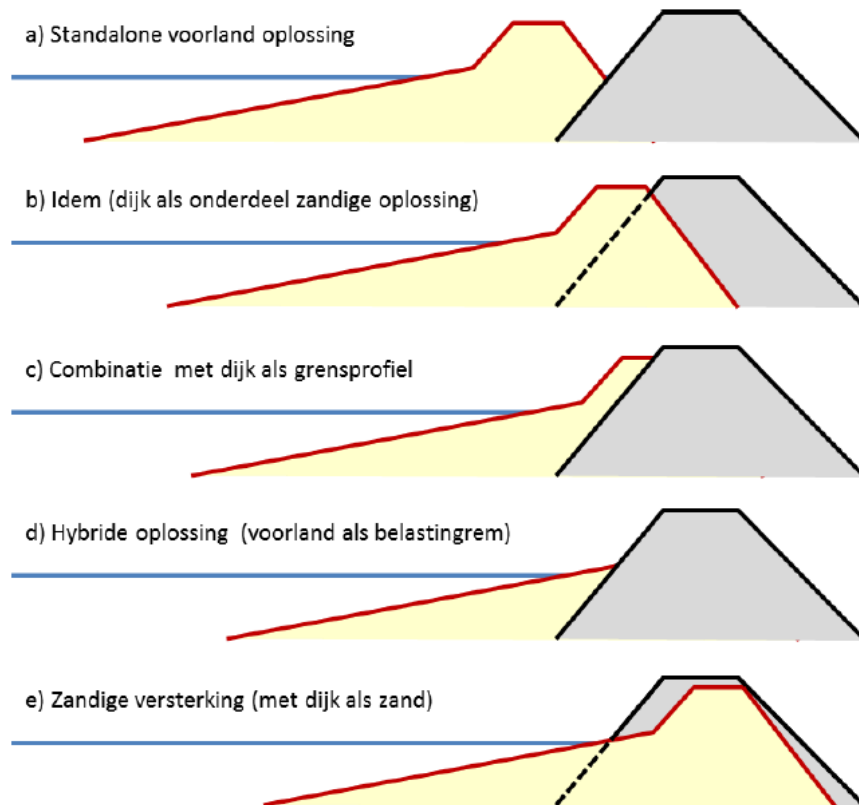
richting R=r		NNO	NO	ONO	O	OZO	ZO	ZZO	Z
richting nr.		1	2	3	4	5	6	7	8
P(R=r)(Volker)		4.52E-2	5.57E-2	6.44E-2	5.75E-2	4.14E-2	4.44E-2	5.82E-2	7.45E-2
Terugkeertijd	Overschr. kans								
1.01	99%	-0.44	-0.47	-0.48	-0.44	-0.41	-0.40	-0.39	-0.35
1.05	95%	-0.45	-0.48	-0.49	-0.45	-0.41	-0.40	-0.38	-0.33
1.11	90%	-0.47	-0.49	-0.50	-0.45	-0.42	-0.40	-0.38	-0.32
2	50%	-0.51	-0.54	-0.54	-0.49	-0.42	-0.40	-0.37	-0.28
5	20%	-0.56	-0.58	-0.57	-0.52	-0.43	-0.40	-0.35	-0.22
10	10%	-0.59	-0.61	-0.62	-0.55	-0.46	-0.41	-0.33	-0.18
20	5%	-0.63	-0.65	-0.65	-0.58	-0.48	-0.41	-0.32	-0.14
25	4%	-0.64	-0.67	-0.67	-0.59	-0.48	-0.41	-0.31	-0.13
50	2%	-0.68	-0.71	-0.71	-0.62	-0.50	-0.41	-0.30	-0.09
100	1%	-0.72	-0.75	-0.75	-0.64	-0.51	-0.41	-0.28	-0.06
500	0.2%	-0.81	-0.84	-0.84	-0.71	-0.54	-0.41	-0.25	0.03
1000	0.1%	-0.86	-0.89	-0.88	-0.74	-0.55	-0.41	-0.23	0.07
2000	0.05%	-0.91	-0.94	-0.93	-0.77	-0.56	-0.41	-0.21	0.10
2500	0.04%	-0.93	-0.95	-0.94	-0.78	-0.56	-0.41	-0.21	0.11
5000	0.02%	-0.98	-0.99	-0.99	-0.81	-0.58	-0.41	-0.19	0.15
10000	0.01%	-1.03	-1.04	-1.03	-0.84	-0.59	-0.41	-0.18	0.18

richting R=r		ZZW	ZW	WZW	W	WNW	NW	NNW	N
richting nr.		9	10	11	12	13	14	15	16
P(R=r)(Volker)		9.07E-2	9.60E-2	9.09E-2	7.59E-2	5.75E-2	5.08E-2	4.95E-2	4.71E-2
Terugkeertijd	Overschr. kans								
1.01	99%	-0.28	-0.20	-0.21	-0.27	-0.35	-0.40	-0.42	-0.43
1.05	95%	-0.25	-0.16	-0.17	-0.24	-0.34	-0.40	-0.43	-0.44
1.11	90%	-0.23	-0.13	-0.14	-0.22	-0.33	-0.40	-0.43	-0.45
2	50%	-0.13	0.01	-0.02	-0.13	-0.28	-0.39	-0.46	-0.50
5	20%	-0.03	0.15	0.09	-0.02	-0.24	-0.39	-0.49	-0.53
10	10%	0.05	0.25	0.17	0.07	-0.20	-0.38	-0.51	-0.56
20	5%	0.13	0.31	0.27	0.16	-0.15	-0.38	-0.53	-0.59
25	4%	0.15	0.32	0.31	0.19	-0.14	-0.38	-0.54	-0.60
50	2%	0.23	0.37	0.41	0.27	-0.09	-0.34	-0.56	-0.64
100	1%	0.31	0.47	0.51	0.36	-0.05	-0.32	-0.57	-0.67
500	0.2%	0.48	0.67	0.72	0.54	0.05	-0.30	-0.57	-0.76
1000	0.1%	0.55	0.76	0.80	0.61	0.09	-0.29	-0.59	-0.80
2000	0.05%	0.62	0.84	0.88	0.68	0.13	-0.28	-0.61	-0.84
2500	0.04%	0.64	0.86	0.91	0.70	0.14	-0.28	-0.62	-0.86
5000	0.02%	0.70	0.94	0.99	0.77	0.18	-0.27	-0.64	-0.90
10000	0.01%	0.76	1.01	1.07	0.84	0.21	-0.26	-0.65	-0.94

Tabel A-15 Lokale waterstand (m+NAP) per windrichting voor verschillende overschrijdingskansen per winterhalfjaar; De rode getallen zijn verkregen door extrapolatie.

Bijlage B: Voorlandoplossingen

De omvang van de benodigde veiligheidsversterking hangt direct samen met de rol van de huidige dijk binnen de nieuwe waterkering. De hierbij relevant geachte mogelijkheden zijn geschetst in Figuur B-1. Hierbij neemt de omvang van de (benodigde) zandige aanvulling geleidelijk af.



Figuur B-1 Schematische weergave mogelijke combinatieoplossingen met afnemende omvang benodigde zandige aanvulling.

Er kan onderscheid worden gemaakt worden tussen de volgende typen voorlandoplossingen:

- De volledig zandige oplossingen: optie a) en b);
- Een 'dijk-als-grensprofiel'-oplossing: optie c);
- Een hybride oplossing: optie d);
- Een 'duin-in-dijk-oplossing' (met dijk als zandlichaam): optie e).

In het volgende zijn deze mogelijke versterkingsoplossingen nader beschreven.

B.1 Volledig zandige oplossingen

Optie a) heeft betrekking op een standalone zandige oplossing waarbij de oude dijk feitelijk geen waterkerende functie meer heeft. De voorliggende zandige waterkering neemt de waterkerende functie van de dijk volledig over. Aandachtspunt hierbij is dan nog wel de mate waarin de nieuwe zandige waterkering grondwaterdicht is, iets waarin de dijk natuurlijk alsnog een rol kan spelen. Een dergelijke versterkingsoplossing komt met name in beeld op het moment dat de dijk een serieus geotechnisch probleem heeft en er dus niet meer kan worden gegarandeerd dat deze onder maatgevende omstandigheden stabiel is.

Geaccepteerde voorbeelden van een dergelijke oplossing zijn de zogenaamde Oeverdijkoplossing voor de Markermeerdijk en de reeds in voorbereiding zijnde zandige versterking van de Hondsbossche en Pettemer Zeewering.

Optie b) verwijst naar een oplossing waarbij het zandige versterkingsprofiel iets verder richting de dijk is geschoven. De achterzijde van de zandige waterkering vertoont hierbij een zekere overlap met de huidige dijk. Feitelijk wordt dit deel van de dijk in deze oplossing dus als zandig beschouwd. Dit deel van het zandvolume behoeft natuurlijk niet te worden aangelegd en daarmee neemt het benodigde aanvulvolume enigszins af. De basisuitwerking voor de versterking van de Houtribdijk door RHDHV heeft betrekking op deze oplossingsvariant.

Ook in dit geval wordt de sterkte van de nieuwe waterkering nagenoeg volledig overgenomen door de zandige oplossing. De bijdrage van de huidige dijk is feitelijk slechts beperkt tot een grondwaterslot. Indien de huidige dijk 'slechts' een kruinhoogte en/of bekledingsprobleem heeft, mag duidelijk zijn dat de reststerkte van de huidige dijk niet volledig wordt aangesproken. De vraag doet zich in dit verband dan ook voor of deze versterkingsoplossing voor deze specifieke dijk (Houtribdijk) wel (voldoende) sober en doelmatig is.

B.2 Dijk als grensprofiel

Optie c) schetst een oplossing waarbij de huidige dijk een meer expliciete rol vervult binnen de nieuwe waterkering. Van belang hierbij is dat voor het ontwerp en toetsen van een zandige waterkering in een technische uitwerking (in principe conform het zogenaamde Technisch Rapport Duinafslag 2006) onderscheid wordt gemaakt tussen het profieldeel dat onder invloed van de maatgevende belasting zal vervormen/afslaan (feitelijk het deel landafwaarts van het maatgevende afslagpunt) en het daarachter nog extra benodigde volume dat een daadwerkelijke doorbraak van de waterkering moet voorkomen.

Dit laatste volume wordt in de reguliere uitwerking veelal aangeduid als het zogenaamde grensprofiel(volume). In deze versterkingsuitwerking wordt dit deel van de waterkering dus overgenomen door de huidige dijk. De maatgevende afslag mag in een dergelijke oplossing dus reiken tot op het buitentalud van de dijk. In plaats van een zandig grensvolume is er nu dus sprake van een deel van de dijk dat puur rekentechnisch als zandig wordt beschouwd. Omdat het hier primair gaat om een volume-eis en omdat het aangesproken deel van het dijklichaam sowieso 'sterker' is dan los zand, is dit acceptabel. Ten opzichte van optie b) levert dit dus een extra dijkwaartse verschuiving op van de zandige aanvulling en vraagt dit om een geringer aanvulvolume.

Voorbeelden van geaccepteerde versterkingsoplossingen die gebruik maken van het principe 'dijk-als-grensprofiel' bevinden zich in Zeeuws-Vlaanderen. Hier is voor een aantal strekkingen van de Zwakke Schakel de zandige versterking zo ontworpen dat de maatgevende afslag precies tot de voorzijde van de oude dijk reikt. De achterliggende dijk neemt dan de functie van het grensprofiel over.

B.3 Hybride keringen

Bij het nog verder opschuiven van de zandige aanvulling zou de afslag tot ergens in het dijkprofiel reiken. Indien de dijk ook in de versterkte situatie als constructief element wordt be-

schouwd, leidt het aanwezig zijn van het zandige voorland tot een beperking van de maatgevende belasting op de dijk. Onder de maatgevende belasting (waterstand en golven) zal het voorland niet alleen afslaan en vervormen, maar ook leiden tot een zekere reductie van de maatgevende golfaanval op het buitentalud van de dijk. Afhankelijk van de omvang van het voorland kan de golfaanval op de dijk dus worden teruggebracht tot een waarde waarbij de aanwezige bekleding en/of de hoeveelheid golfoverslag over de kruin van de dijk alsnog voldoet aan de gestelde criteria. Deze zogenaamde hybride oplossing is in Figuur 3.2 weergegeven als optie d).

Voorbeelden van dergelijk versterkingsoplossingen zijn bijvoorbeeld de Zwakke Schakel versterkingen in Scheveningen-Dorp ('dijk-in-boulevard'), Noordwijk en Katwijk ('dijk-in-duin'). In deze gevallen is een nieuwe dijk gecombineerd met een zandig voorland en is de omvang van het voorland gedimensioneerd door uit te gaan van een kritieke golfbelasting op de nieuwe dijk. Een dergelijke hybride versterking is in eerste instantie ook voorgesteld voor de versterking van de Hondsbossche en Pettemer Zeewering waarbij de benodigde omvang van de zandige aanvulling is afgestemd op de nog toelaatbare belasting op de aanwezige dijk. Uiteindelijk is hier, mede op basis van geotechnische argumenten, echter gekozen voor een stand-alone zandige versterking conform optie a).

B.4 Duin-in-dijk-oplossing

Daar waar in optie c) slechts een deel van het dijklichaam als zandig wordt beschouwd, kan er natuurlijk ook worden gekozen voor een oplossing waarbij het zandige ontwerpprofiel nog verder in de dijk wordt geschoven. De in optie e) gegeven schets heeft daarbij betrekking op de situatie waarbij het eerder genoemde grensprofiel helemaal achter in het dijklichaam is gepositioneerd. Duidelijk mag zijn dat een dergelijke benadering slechts vraagt om een relatief beperkte zandige aanvulling voor de dijk. De combinatie van voorland en dijk moet nu dus als duin worden doorgerekend.

Een dergelijke benadering is ook aan de orde geweest rondom de inpassing van het grensprofiel in de zandige versterking van de Hondsbossche en Pettemer Zeewering, dit mede ingegeven door het feit dat een dergelijke insteek in principe het meest sober en doelmatig is. Zoals al eerder aangegeven is daar, mede op basis van geotechnische argumenten, uiteindelijk gekozen voor een stand-alone zandige versterking conform optie a).

B.5 Overzicht versterkingsopties en implicaties

Onderstaande tabel geeft een overzicht van de verschillende typen voorlandoplossingen, zoals besproken in deze bijlage.

Versterkingsoptie	Indicatieve aanduiding	Rol dijklichaam	Opmerking
a) Volledig zandig	Duin als waterkering	Geen	Grensprofiel vóór dijk
b) Idem; verschoven		Beperkt (volume)	Overlap grensprofiel/dijk
c) Combinatie	Dijk als grensprofiel	Grensprofiel	Grensprofiel voorin dijk
d) Hybride kering		Regulier	Belastingreductie
e) Duin-in-dijk	Dijk als duin rekenen	'Duinvolume'	Grensprofiel achterin dijk

Tabel B-1 Overzicht mogelijke zandige versterkingen en relatie met rol van de huidige dijk.

Bijlage C: Evenwichtsoriëntatie oeverlijn

Als invulling van het proefgebied langs de Houtribdijk is een in breedte afnemende strook van (zandig) voorland voorgesteld. Het idee van de afnemende breedte van het voorland is dat er op deze manier verschillende proefsecties kunnen worden gedefinieerd, met elk een andere functie; zowel in relatie met veiligheid als met bijvoorbeeld natuurontwikkeling. Een zeer breed (en voldoende hoog) voorland biedt veel ruimte voor natuurwaarden rond de waterlijn én kan tijdens zware stormen fungeren als stand-alone voorlandoplossing. Een smaller voorland biedt ten opzichte van de bestaande situatie ook meer ruimte voor natuurontwikkeling, maar heeft verder alleen een golfreducerende werking voor de dijk.

Voor een betere onderbouwing voor het in breedte afbouwende voorland in het proefgebied zijn enkele berekeningen uitgevoerd. Een eerste stap hierin is het bepalen van een morfologisch stabiele oeverlijn voor het gebied. In het volgende is het resultaat gepresenteerd van een de bepaling van een zogenaamde evenwichtsoriëntatie voor het (zandige) voorland bij de Houtribdijk.

Daarbij komen achtereenvolgens de volgende onderdelen aan bod:

- de uitgangspunten voor de berekeningen,
- de rekenmethodiek voor bepaling evenwichtsoriëntatie, en
- het eindresultaat (de evenwichtsoriëntatie).

Uitgangspunten voor de berekeningen

Voor de bepaling van een karakteristieke evenwichtsoriëntatie voor een (zandige) oeverlijn ter plaatse van de studielocatie langs de Houtribdijk (zie paragraaf 3.2.3), is gebruik gemaakt van een tweetal (vrij toegankelijke) datasets, namelijk:

1. bodemgegevens van het Markermeer, en
2. (gemeten) windgegevens.

Deze gegevens zijn gebruikt voor het vaststellen van een locatiespecifiek golfklimaat, op basis waarvan sedimenttransportcapaciteit en daarna ook een evenwichtsoriëntatie van de oeverlijn is bepaald.

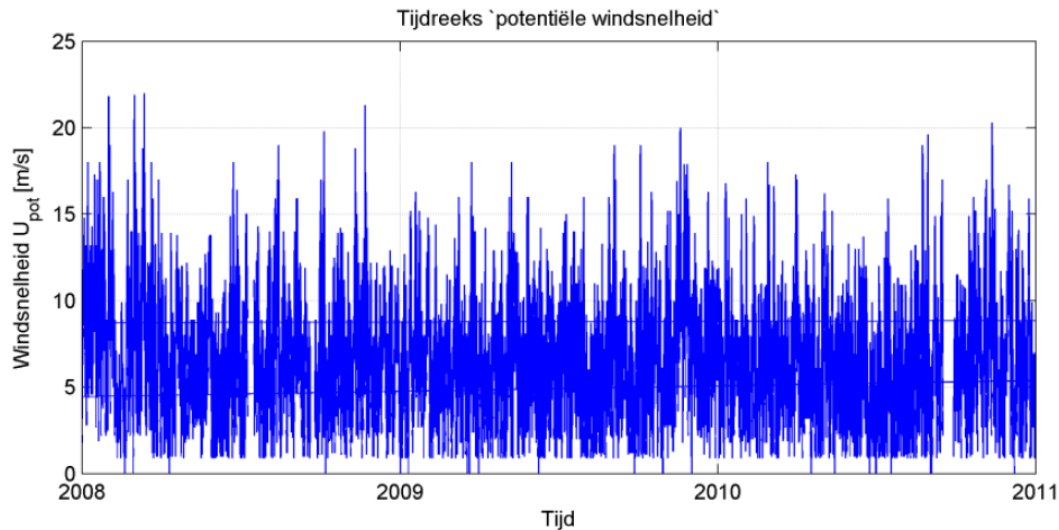
Bodemgegevens Markermeer

De uitwerkingen die zijn beschreven in dit memo zijn gebaseerd op een Markermeer-bodem die afkomstig is uit het 'Actueel Diepte Bestand IJsselmeergebied' uit 2005. Zie Figuur 3-1.

Windgegevens

Voor de bepaling van een representatief golfklimaat is gebruik gemaakt van windgegevens van het KNMI, afkomstig van meetstations nabij de Houtribdijk. Voor deze studie zijn gegevens gecombineerd van de stations 'Wijdenes', 'Houtribdijk' en 'Houtrib'². De gebruikte gegevens zijn uurlijkse waarden voor de 'potentiële wind'; dit is een gecorrigeerde windsnelheid op een hoogte van 10 m boven de grond. Figuur C-1 geeft een deel van de gecombineerde dataset weer (periode 2008–2011).

² De berekeningen voor de evenwichtsoriëntatie zijn eerder uitgevoerd dan de berekeningen van de windstatistiek uit bijlage A. De methode wijkt daarom enigszins af, bijvoorbeeld door gebruik te maken van drie stations in plaats van alleen station Schiphol. De consequenties voor de berekende evenwichtsoriëntatie zijn naar onze inschatting marginaal.



Figuur C-1 Een deel van de gebruikte tijdsreeks van potentiële windsnelheden (U_{pot}) voor een nabijgelegen windstation (Houtribdijk).

Methode voor de bepaling van de evenwichtsoriëntatie van de oeverlijn

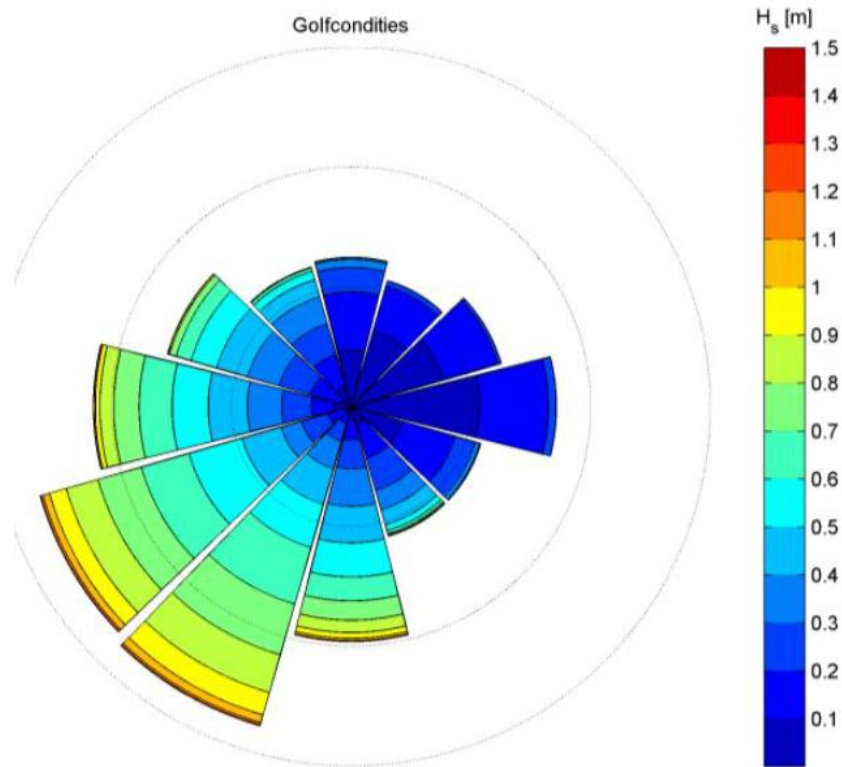
De gezochte evenwichtsoriëntatie voor een (zandig) voorland langs de Houtribdijk is gebaseerd op een aantal opeenvolgende berekeningen. Allereerst is op basis van de beschikbare bodem- en windgegevens een eerste schatting gemaakt van het golfklimaat ter plaatse van de studielocatie. Vervolgens is voor een grote reeks aan golfhoogteklassen en golfvalshoeken een globale inschatting gemaakt van de sedimenttransport-capaciteit, zodat een zogenaamde S-Phi kromme kan worden bepaald. Deze kromme geeft inzicht in de afhankelijkheid tussen oriëntatie van de oeverlijn en de te verwachten hoeveelheid langstransport. De S-Phi kromme is tot slot gebruikt voor de bepaling van een karakteristieke evenwichtsoriëntatie die hoort bij de (berekende) lokale (golf)condities.

Representatief golfklimaat

Om een eerste inschatting te maken van de golfcondities nabij de Houtribdijk is gebruik gemaakt van de Bretschneider methodiek die is beschreven in de Shore Protection Manual (CERC, 1984)³. In deze studie is gerekend met de aangepaste formuleringen uit Hurdle en Stive (1989), waarbij een correctie is toegepast voor toepassingen in ondiep water. Met de gebruikte Bretschneider methode is het mogelijk om significante golfhoogtes en golfperiode te berekenen met behulp van parametrische groeikrommen. Als input voor de berekeningen zijn windsnelheid, waterdiepte en effectieve strijklengte benodigd. De benodigde strijklengten voor de berekeningen zijn bepaald door voor elke windrichting de afstand te bepalen tussen het uitvoerpunt en de oeverlijn ter plaatse van Trintelhaven.

Het representatieve golfklimaat is uiteindelijk bepaald door voor elke conditie in de beschikbare dataset met windgegevens een bijbehorende golfconditie te berekenen, en vervolgens alle golfhoogten en golfvalshoeken te classificeren. Het resultaat van deze uitwerkingen is gepresenteerd in Figuur C-2, in de vorm van een zogenaamde golfroos.

³ Er is gebruik gemaakt van Bretschneider, omdat het golfklimaat op basis van SWAN-berekeningen (bijlage A.4) bij het bepalen van de evenwichtsoriëntatie nog niet beschikbaar was.



Figuur C-2 Golfroos met het berekende golfklimaat ter plaatse van het proefgebied langs de Houtribdijk.

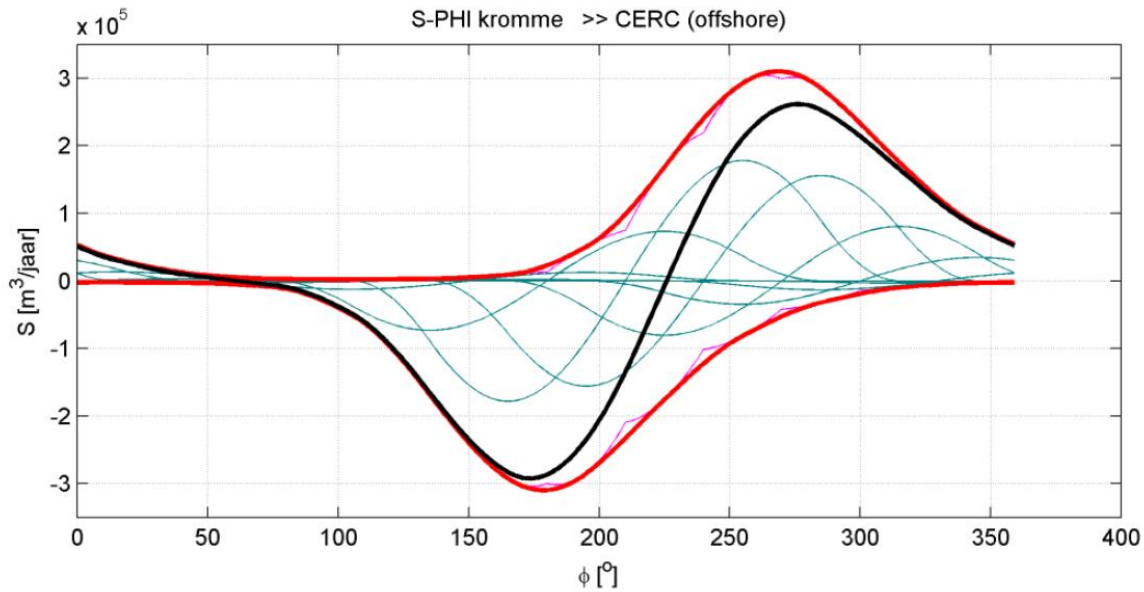
Uit het figuur blijkt dat zowel de hoogste golven (=kleur van de cirkelementen) als de meeste golven (=lengte van cirkelementen) uit zuidwestelijke richting komen. Dit komt omdat ZW-wind dominant is in dit gebied, en bovendien ook de grootste strijklengte bepaald is voor deze richting.

Sedimenttransportcapaciteit

Voor alle golfhoogteklassen in het golfklimaat, en voor een reeks aan verschillende golfinvalshoeken, is een schatting gemaakt van het (maximaal) te verwachten langtransport ten gevolge van de golfwerking. Bij deze uitwerkingen is uitgegaan van een volledig zandig profiel en is gerekend met de CERC-formule uit de Shore Protection Manual (CERC, 1984).

S-Phi kromme

De resultaten van de berekeningen van de sedimenttransportcapaciteit voor elk van de golfcondities is gebruikt voor het genereren van een S-Phi kromme. Een S-Phi kromme is een veelgebruikte representatie van de relatie tussen oriëntatie van de oeverlijn en langtransportcapaciteit. De kromme is bepaald door voor elke mogelijke oeverlijnoriëntatie (0 °N – 360 °N) en voor elke golfconditie in het golfklimaat het langtransport te berekenen (groene lijnen in figuur C-3), en vervolgens het (netto) gecombineerde resultaat te bepalen (zwarte lijn in figuur C-3). Dit netto langtransport als functie van oeverlijnoriëntatie wordt de S-Phi kromme genoemd. Voor de volledigheid representeren de rode lijnen de positieve en negatieve bruto langtransport-totalen.



Figuur C-3 Samengestelde S-Phi kromme voor een zandig voorland ter plaatse van het proefgebied langs de Houtribdijk. De gegevens zijn gebaseerd op langtransportberekeningen met CERC.

Evenwichtsoriëntatie oeverlijn

Op basis van de gepresenteerde S-Phi kromme in figuur C-3 is een schatting gemaakt van de evenwichtsoriëntatie van een zandige oeverlijn in het studiegebied. Uit het figuur blijkt dat er netto geen langtransport zal optreden bij oeverlijnen met een normaalrichting van 61 °N en 226 °N. Aangezien de oriëntatie met normaalrichting van 61 °N niet mogelijk is aan de Markermeerzijde van de Houtribdijk, blijft er één resultaat over: de richting 226 °N.

Een normaalrichting van 226 °N resulteert volgens figuur C-3 in een netto langgericht transport van nul. Met andere woorden: de oeverlijn bevindt zich in dat geval in een morfologisch evenwicht. Bij een rotatie van de normaal richting het zuiden (180 °N) zal netto een negatief, en dus naar Lelystad gericht, langtransport ontstaan, en bij een rotatie van de normaal richting het westen (270 °N) ontstaat netto een positief, en dus naar Enkhuizen gericht, langtransport.

Deze inschatting van de evenwichtsoriëntatie voor een zandig voorland langs de Houtribdijk (bij Trintelhaven) is ingetekend in figuur C-4. De oriëntatie van de rode lijn komt overeen met de berekende evenwichtsoriëntatie. De positionering en lengte van deze oeverlijn zijn puur ter illustratie bedoeld, en geven alleen een eerste beeld van de mogelijkheden voor verdere detailering van het ontwerp van een in de breedte afnemend voorland langs de Houtribdijk.

Figuur C-4 laat zien dat de berekende evenwichtsoriëntatie voor een zandig voorland ruwweg overeenkomt met de (kleine) zandige strandjes die reeds aanwezig zijn in de luwte van de bestaande constructies (links in de figuur). Ook blijkt dat de berekende oriëntatie goed overeenkomt met de schetsmatige plannen voor de verbreding van het voorland. De evenwichtsoriëntatie is namelijk enigszins 'schuin' ten opzichte van de oriëntatie van de Houtribdijk, zodat een in breedte afnemende vooroever daadwerkelijk tot de mogelijkheden behoort.



Figuur C-4 Berekende evenwichtsoriëntatie van de oeverlijn ter plaatse van het proefgebied langs de Houtribdijk.

Bijlage D: Kennisoverzicht vegetatie

Op de proefsectie verwachten we een natuurlijke overgang van riet op de lage delen naar wilgenstruweel op de hogere delen. Het is nog onduidelijk of ook waterriet zich zal kunnen vestigen en handhaven, of dat er kale strandjes zullen ontstaan met pas hoger op de oever landriet, gezien de relatief hoge golfdynamiek en onregelmatig fluctuerend waterpeil als gevolg van windopzet. Daarom hieronder een kort overzicht van enkele belangrijke kennisbronnen die bijdragen aan de keuze voor het ontwerp van de proefopzet.

Riet

Van alle verschillende oevervegetaties is riet het meest bestendig tegen een dynamisch milieu met windgolven. Proeven met riet en mattenbies (Coops et al 1996, Coops, 1995) toonden aan dat goed ontwikkeld riet langdurige golven van 23 cm goed kan weerstaan. Veel grote meren in centraal Europa zien sinds de helft van de vorige eeuw een sterke afname van het riet, wat vooral te wijten is aan toegenomen menselijke verstoring. Ook in deze meren is de strijklengte aanzienlijk en zijn op veel geëxponeerde gebieden toch oorspronkelijk veel grote rietvelden aanwezig geweest (Ostendorp et al, 1995).

Het tegenwoordig vaak aanwezige vaste of zelfs omgekeerde peilbeheer wordt gezien als het belangrijkste risico voor het niet succesvol zijn van rietvelden. Dit is in veel meren de belangrijkste factor voor het verminderen van de conditie en hoeveelheid rietvelden langs de oever (RWS, 1996). Het is vooral de kieming van nieuwe rietvegetatie die bemoeilijkt wordt door een omgekeerd peil en de kans op schade aan de rhizomen doordat ze langer bloot staan aan vorst in de winter.

Riet kan zich op twee manieren vermeerderen, vegetatief door middel van rhizomen of generatief via kieming uit zaad. Zaad kiemt alleen op de drooggevallen zone. Hoe groot deze zone is wordt bepaald door het peilbeheer en het profiel van het talud. Riet kan zich op een variatie aan bodemsoorten vestigen, van humusarm zand tot veen. De voedselrijkdom van het water is belangrijker dan het bodemtype. Begrazing door watervogels (m.n. ganzen) is een belangrijk risico voor het ontwikkelen van riet. Ganzen grazen vanaf het water met name het ondergedoken riet, dus niet het riet op het droge. Riet kan er niet goed tegen om langdurig volledig onder water te staan: het verdrinkt. Zolang de top van de plant boven water staat, kan zuurstoftoevoer naar de delen onder water worden gegarandeerd.

Eenmaal gestabiliseerd riet kan vrij veel peilschommelingen hebben, maar vooral nieuwe aanwas is gevoelig voor peilschommelingen en wordt door het omgekeerde peil belemmerd in de vestiging. Het is dus belangrijk om de vestiging en eerste ontwikkeling van riet zoveel mogelijk te helpen om de kans op oeverriet tot in het water te vergroten. Op die manier kan het riet bijdragen aan een stabielere vooroever.

Eerste verkennende sommen, met een ongevalideerd Xbeach model met vegetatie geven aan dat de te verwachte golven in de ondiepste delen van de oever vooral afhangen van de taludhelling. Bij een 1:32 talud op zomerpeil met 7 m/s wind zijn de inkomende golven 15 cm, bij een 1:24 talud zijn de golven onder die omstandigheden 19 cm hoog. In beide gevallen dus nog onder de 23 cm die in de proef van Coops werd gebruikt.

Er is weinig bekend over hoe riet zich handhaaft in extreme omstandigheden, zoals zware storm of kruiend ijs. Wel is duidelijk dat riet zich op lange termijn kan handhaven op geëxponeerde oevers, dus kan daaruit geconcludeerd worden dat events op lange termijn geen probleem hoeven te zijn. Het is echter niet bekend hoe lang het herstel na een event duurt en hoeveel achteruitgang er eventueel is in de kwaliteit van het rietdek.

Wilgen

Wilgen ontwikkelen zich snel en goed vanuit zaad op vochtige bodem met enige voedingswaarde. Belangrijkste factor die in onze proefsectie een probleem zou kunnen opleveren is dat we hoger op het talud nog slecht kunnen inschatten hoe droog de bodem zal zijn, en in hoeverre dit voor de wilgen een probleem zal zijn. Ook zal het kale zand misschien te voedselarm kunnen zijn voor goede wilgontwikkeling.

In het Drontermeer zijn kleine ronde eilandjes aangelegd in natuurontwikkelingsproject De Abbert II (Rommelzwaal et al, 2001) waarbij er is geëxperimenteerd met zowel het inzaaien als het planten van riet. Uit deze proeven bleek dat hoewel er verschil is in vestigingssnelheid na 3 jaar het verschil tussen de behandelingen niet langer significant was. Oftewel: het inzaaien of aanplanten versnelt de vestiging, maar niet de kwaliteit of hoeveelheid riet op de lange termijn. Op de droogste delen van de eilandjes ontstonden al in het eerste jaar spontaan wilgenbosjes.

Omdat de proefsectie wordt aangelegd op een locatie met weinig aanvoer van zaad en de zaadbank in het aangebrachte materiaal naar verwachting nihil zal zijn, stellen we voor ook wilgenzaad in te zaaien, gemengd met rietzaad. Voor het riet zal zaad uit de Oostvaardersplassen worden gebruikt, de dichtbijgelegen locatie. Zo zal een natuurlijke zonering zich vanzelf ontwikkelen afhankelijk van de vochtigheidsgraad van de bodem. Op het hoogste stuk (vanaf +50 cm NAP), waar een gemiddelde zomerstorm niet meer raakt stellen we voor ook wilgen in te planten om de ontwikkeling te bespoedigen.

Erosie tussen vegetatie

Er is weinig kwantitatief bekend over de mechanismen die kunnen zorgen voor vermindering van erosie in een vegetatie. Wel staat vast dat het hebben van een goed wortelpakket hierbij cruciaal is. Proeven met verschillende grasmatten, ontstaan onder verschillende vormen van beheer (TAW 1998), geven aan dat het maaien en afvoeren van maaisel tot een betere conditie van de grasmat en het wortelstelsel leidt dan het laten liggen van het maaisel. Zaad van eenjarige wordt in dit stramien afgevoerd, en kan niet de bovenhand in de vegetatie gaan vormen. Eenjarigen geven immers geen bescherming van de bodem in de winter, omdat de planten dan afgestorven zijn en een slecht wortelstelsel hebben.

Literatuur

- Coops H (1996) Helophyte zonation: impact of water dept hand wave exposure. PhD Thesis Katholieke Universiteit Nijmegen. IRZA nota 96.013
- Coops H, Geilen N, Verheij H, Boeters R, Van der Velde G (1996) Interactions between waves, bank erosion and emergent vegetation: an experimental study in a wave tank. *Aquatic Botany* 53: 187-198
- Ostendorp, Iseli, Krausse et al, 1995. Lake shore deterioration, reed management and bank restoration in some central European lakes. *Ecological engineering* 5: 51-75
- Rommelzwaal, AJ, Daling J, Doze JH (2001) De ontwikkeling van natuurproject Abbert II. RIZA werkdocument 2001.061.x. Lelystad
- RWS-RIZA (1996) Oeverplanten. Over eigenschappen en toepassingen in het water- en oeverbeheer. RIZA notanr 96.001, Lelystad

Tosserams M, J. Th. Vulink en H. Coops (1999) Tussen Water en Land Perspectief voor oeverplanten in het Volkerak-Zoommeer Eindrapportage 'Planten in de Peiling' RIZA rapport: 99.031, Lelystad

Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen (1998) Technisch rapport erosiebestendigheid van grasland als dijkbekleding. TR-12. (auteurs Verheij HJ, Kruse GAM, Miemeijer JH, Sprangers JTCM)

Bijlage E: Voorbeeld-factsheets

FACTSHEET 1 ONTWERP – vraag 1 : stabiliteit taluds

Wat weten we al?	Literatuur Veld Goot Model Community (wie zijn hier mee bezig) Dingen die we nu kunnen kwantificeren met bijv. Xbeach of Durosta, wat voor goot-proeven zijn er al gedaan?, welke technische richtlijnen worden er nu ge
Kennisleemtes	Ontbrekende parameters/processen in modellen (bijv. gemengd sediment, cohesief gedrag) en invloed van vegetatie/wortelpakket. Verschillende golfklimaten (zoet/zout/wind/boot)
Wat gaan we doen in deze case?	Metten aan zand en mix, metten aan vegetatie, metten aan verschillende golfcondities (goot en veld)
Opschaalbaarheid van dit werk	Wat, en in hoeverre zijn deze resultaten bruikbaar voor gerelateerde toepassingen en hoe maken we ze breder bruikbaar?
Relevante document/links	Verwijzingen/doorlinken naar relevante achterliggende memo's en rapporten (zowel extern als volgend uit ons project)

FACTSHEET 2 ONTWERP – vraag 2. Invloed vegetatie op dwarsprofiel

Wat weten we al?	Literatuur Veld Goot Model Community (wie zijn hier mee bezig) Dingen die we nu kunnen kwantificeren met bijv. Xbeach of Durosta, wat voor goot-proeven zijn er al gedaan?, welke technische richtlijnen worden er nu ge
Kennisleemtes	Ontbrekende parameters/processen in modellen (bijv. soortssamenstelling/ontwikkeling vegetatie in ruimte en tijd) Verschillende grondwaterstanden, bodemtypes), beheersaspect.
Wat gaan we doen in deze case?	Metten aan ontwikkeling vegetatie *(biomassa, dichtheid, hoogte, soortensamenstelling, ruimtelijke diversiteit, beheer) invang sediment/cq erosie in vegetatie, metten aan golfdemping (goot en veld)
Opschaalbaarheid van dit werk	Wat, en in hoeverre zijn deze resultaten bruikbaar voor gerelateerde toepassingen en hoe maken we ze breder bruikbaar?
Relevante document/links	Verwijzingen/doorlinken naar relevante achterliggende memo's en rapporten (zowel extern als volgend uit ons project)

FACTSHEET 3 ONTWERP - vergunbaarheid

Wat weten we al?	Welke vergunningen zijn nodig
Kennisleemtes	Welke zaken liepen we voor deze pilot specifiek tegenaan
Wat gaan we doen in deze case?	Welke mensen hebben we gesproken om vergunbaarheid te regelen
Opschaalbaarheid van dit werk	Wat, en in hoeverre zijn deze resultaten bruikbaar voor gerelateerde toepassingen en hoe maken we ze breder bruikbaar?
Relevante document/links	Verwijzingen/doorlinken naar relevante achterliggende memo's en rapporten (zowel

ment/links	extern als volgend uit ons project)
------------	-------------------------------------

Bijlage F: Risicodossier

Kans	Gevolg				
0,01-0,05	0-10kE				
0,05-0,010	10kE-25kE				
0,10-0,25	25-50kE				
0,25-0,5	50-100kE				
>0,5	>100kE				
	spec.				
	Risico voor Ecoshape		DEFAULTWAARDEN		
	Risico aannemer		Na beheersmaatregel?		
		Kans	Gevolg	Risico	
Eigen proces					som
1 Intern en contracttechnisch		0	0		
1,01	Contractering vraagt meer tijd (meervoudig, juridisch?, overleg, risico's)				4500
o1	toch meervoudige aanbesteden vereist?	0,01	150000	1500	
o2	juridische consequenties en toetsen nodig geacht (div.staatsteun, formele test)	0,2	10000	2000	
o3	verdeling risico's OG/ON, blijft in discussie en vraagt veel aandacht	0,25	5000	1250	
	nadere uitwerking en VSE vereist/andere procedurele stukken Kostennota, PPI e.d.	0,1	30000	3000	
1,02	Aanpassingen ontwerp nodig vanwege vergunningen/kosten/stakeholders				3500
o1	vergunningstechnische maatregelen vereisen last minute aanpassingen	0,2	5000	1000	
o2	te hoge kosten maken aanpassingenontwerp en werkprogramma nodig	0,2	5000	1000	
o3	accomoderen wensen/ambities/eisen andere partijen (RWSHRD, Lelystad e.d.)	0,25	10000	2500	
o4	Beperkte toegankelijkheid/primaire kering vraagt aanpassingen en andere uitwerking	0,25	10000	2500	
1 Intern buiten contract		0	0		
1.03	Meer overleg nodig onderlinge afspraken en eigendom/beheer				1000
o1	niet duidelijk hoe om te gaan met beheer tijdens en na afloop pilot	0,1	5000	500	
o2	niet duidelijk wie en wat /eigenaar restwaarde	0,1	5000	500	
1.05	Meer overleg afspraken Ecoshap/RWS/HWBP en hieruit voortkomende verplichtingen				2000
o1	over resultaat/inspanningsverplichtingen en risico verdeling	0,2	5000	1000	
o2	over contractbeheersing/projectmanagement e.d.	0,2	5000	1000	
Externe variabelen		0	0		
2 Extern en vergunningstechnisch vooraf aan de aanleg		0	0		
2,00	Meer overleg en onderbouwing nodig (voortoets, wordt passende beoordeling)				6000
o1	vergunningverlener vraagt nadere onderbouwing	0,25	10000	2500	
o2	passende beoordeling wordt vereist	0,25	10000	2500	
o3	onduidelijkheid over verhouding waterwet/gevolgen stabiliteit dijklichaam	0,1	10000	1000	
2,01	Werkbare tijd (dag/nacht)beperkt door vergunning				25000
o1	vergunningstechnisch wordt werken 'snachts beperkt	0,25	100000	25000	
2,02	Werkbare periode (o.a. broedseizoen) beperkt door vergunning				5000
o1	vergunningstechnisch worden restricties gelegd vanwege ruiperiode e.d.	0,25	20000	5000	
2,03	Archeologische waarden op onverwachte vindplaats	0,1	20000	2000	2000
2,04	Onverwachte explosieven getraceerd/ter plaatse of in aangevoerde grond				2000
o1	explosieven in aangevoerde grond (bijv.VAL 4 is erg groot risico)	0,05	20000	1000	
o2	explosieven op plaats waar damwand moet worden getrild	0,05	20000	1000	
2,05	Aantreffen verontreinigde aangevoerde grond of ter plaatse				1500
o1	verontreinigde grond ter plaatse aangetroffen (kleine kans)	0,05	20000	1000	
o2	aangevoerde grond/deklaag bevat verontreinigingen (kleine kans)	0,05	10000	500	
2,06	Compenserende natuurmaatregelen vereist				2500
o1	Afdekken steenbestorting/ondiepe vooroever?	0,05	50000	2500	
2,06	Extra verkeerstechnische maatregelen nodig i.v.m. veiligheid (uitwerken, meenemen)				500
o1	vraagt extra overleg met wegbeheerder inplannen extra maatregelen	0,05	10000	500	
o2	extra maatregelen in plannen				
2,07	Extra mitigerende maatregelen slibverspreiding nodig (vanwege vergunning)				5000
o1	vergunningstechnisch worden extra maatregelen vereist om vertroebeling tegen te gaan	0,25	20000	5000	
2,07	Vergunning voor uitvoering wordt niet tijdig verleend (uitstel, overleg)				17500
o1	vanwege onduidelijkheden, onvoldoende onderbouwing e.d. vraagt extra overleg	0,25	20000	5000	
o2	vraagt uitstel en aanpassingen contract	0,25	50000	12500	

Aanleg		0	0	
	3 Technisch tijdens initiele aanleg	0	0	
o1	3,01 Zetting ondergrond groter dan verwacht vraagt extra grond			7000
o2	zetting is groter waardoor minimaal profiel niet kan worden gemaakt	0,1	50000	5000
	plaatselijk afwerken/bijplaatsen nodig om duidelijke uitgangssituatie te maken	0,1	20000	2000
o1	3,02 Zetting ondergrond vraagt meer aandacht en extra T=0 meting			5000
o2	door sterke zetting geen duidelijke uitgangssituatie voor dwars/langtransport vraagt hernieuwde T0 meting	0,25	10000	2500
	onderscheid klink en zetting voor mix moeilijk te maken, vraagt extra metingen	0,25	10000	2500
	3,03 Aanbrengen deklaag vraagt extra werkhandeling			5000
	Mixen en mengen lukt niet, of gaat veel lastiger	0,25	20000	5000
	3,04 Aanbrengen stuifschermen vraagt extra werk			1000
	er zijn extra voorwaarden aan verbonden/bevestiging valt tegen	0,1	5000	500
	problemen op delen zonder vangrail	0,1	5000	500
	3,05 Aanbrengen vegetatie vraagt extra werkhandeling			3500
	vegetatie slaat niet aan (vanwege weer, compactie/mengsel grond)	0,25	10000	2500
	vraat/graas en daarom geen directe relatie met golven	0,2	5000	1000
	3,06 Aanbrengen damwand vraagt extra werkhandeling			5500
	problemen vanwege onjuist ingemeten teen van de dijk	0,1	5000	500
	problemen vanwege ondergrond (bijv. veen)	0,25	20000	5000
	3,07 Afwerken land vraagt meer werk			1250
	berijdbaarheid/boothelling? vraagt aanpassingen	0,25	5000	1250
	afleveren voor vegetatie vraagt aanpassingen	0,25	5000	
	3,08 Extra verkeerstechnische maatregelen nodig			5000
	vanwege veiligheid/arbo? Zijn extra maatregelen nodig (hekken?, verkeerslichten?)	0,25	20000	5000
	3,09 Optreden storm tijdens aanleg voor T=0			20000
	er treedt veel werkverlet op vanwege stormachtig weer	0,2	50000	10000
	er slaat een deel van het profiel weg voordat metingen zijn gestart	0,2	50000	10000
	3,10 Optreden ijsgang tijdens ijsgang voor T=0			1000
	meetapparatuur en dergelijk blijken onvoldoende robuust	0,1	10000	1000
	4 Technisch tijdens monitoringsfase/rapportage	0	0	
	4,01 Ijsgang verstoort metingen relatie vegetatie/golf/meetapparatuur			5000
		0,25	20000	5000
	4,02 Uitval van de golfboei/bijplaatsen backup nodig			5000
		0,25	20000	5000
	4,03 Meer langtransport/storm vraagt extra metingen			5000
	stormen uit sterk verschillende richtingen/zeer veel meer stormen dan geanticipeerd	0,25	20000	5000
	4,03 Leidraad vraagt meer overleg			5000
	interpretatie eindresultaat is verschillend	0,25	20000	5000
	4,04 Stuifschermen voldoen niet			1250
		0,25	5000	1250
	4,05 Extra verkeerstechnische maatregelen nodig			2500
		0,25	10000	2500
		0	0	
	5 Technisch end of life	0	0	
	5,01 Verwijderen damwand als extra kosten			1250
	problemen met verwijderen, vanwege zand dat is verplaatst e.d.	0,25	5000	1250
	5,02 Verwijderen meetapparatuur als extra kosten			1250
		0,25	5000	1250
	5,03 Restwaarde damwand minder			5000
	damwand moet worden gehandhaafd voor handhaven strand/dus geen restwaarde	0,25	20000	5000
	5,04 Restwaarde meetapparatuur minder			5000
		0,25	20000	5000
Overig onbenoemd				
	5 Onbenoemd object gebonden en projectoverstijgend	0,05	3200000	160000
		som	1080000	335250
				175250