



Perspectief Natuurlijke keringen:

***Een eerste verkenning ten behoeve van het
Deltaprogramma***



Report title: Perspectief natuurlijke keringen

Authors: Jasper Fiselier (penvoerder), Nico Jaarsma en Tessa van der Wijngaart, (eindredactie), Mindert de Vries, Maarten van de Wal, Johan Stapel, Martin Baptist.

Team Jasper Fiselier (DHV), Nico Jaarsma (Witteveen+Bos) Martin Baptist (Wageningen-IMARES), Mindert de Vries (Deltares), Maarten van de Wal (Deltares), Johan Stapel (Wageningen-IMARES), Tessa van der Wijngaart (Witteveen+Bos)

Date: 21 juni 2011

Version: Definitief

INHOUDSOPGAVE

INHOUDSOPGAVE.....	3
SAMENVATTING.....	4
1 INLEIDING.....	9
1.1 Opzet van de verkenning.....	9
1.2 Deelgebieden en kenmerkende omstandigheden.....	9
1.3 Typen natuurlijke keringen en relatie met veiligheidsopgave, natuur en recreatie.....	10
1.4 Overzicht van voorbeelden van natuurlijke keringen.....	11
1.5 Leeswijzer.....	12
2 IJSSELMEERGEBIED.....	13
2.1 Ecologisch functioneren en werking natuurlijke kering.....	13
2.2 Veiligheidsopgave op korte en langere termijn.....	16
2.3 Typen natuurlijke keringen in relatie tot veiligheidsopgave en ecologie.....	17
2.4 Voorbeelden en kansen voor kostenbesparing.....	22
2.5 Aandachtspunten en implementatiestrategieën.....	25
2.6 Samenvattend: perspectief en maatwerk.....	26
3 WADDEN EN ESTUARIA.....	27
3.1 Kenmerken: ecologie en morfodynamiek.....	27
3.2 Veiligheidsopgave.....	29
3.3 Typen natuurlijke keringen in relatie tot veiligheidsopgave en ecologie.....	30
3.4 Voorbeelden en kansen voor kostenbesparing.....	39
3.5 Aandachtspunten en implementatiestrategieën.....	42
3.6 Samenvattend: perspectief en maatwerk.....	42
4 RIVIERENGEBIED.....	44
4.1 Morfodynamiek, hydrodynamiek en ecologisch functioneren.....	44
4.2 Veiligheidsopgave.....	46
4.3 Typen natuurlijke keringen in relatie tot veiligheidsopgave en ecologie.....	48
4.4 Kansen voor kostenbesparing.....	50
4.5 Aandachtspunten en implementatiestrategieën.....	51
4.6 Samenvattend: perspectief en maatwerk.....	51
5 PERSPECTIEF NATUURLIJKE KERINGEN.....	52
5.1 Inleiding.....	52
5.2 Perspectief voor natuurlijke keringen per deelgebied.....	52
5.3 Conclusies ten aanzien van het perspectief voor natuurlijke keringen.....	59
5.4 Aandachtspunten en aanbevelingen.....	59

- Bijlage I. Overzichtskaarten met toelichting
- Bijlage II. Voorbeelden IJsselmeergebied
- Bijlage III. Voorbeelden Wadden en Estuaria
- Bijlage IV. Voorbeelden Rivierengebied
- Bijlage V. Overzicht kosten en potentiële besparingen

SAMENVATTING

In het Deltaprogramma staan de waterveiligheid en de watervoorziening van Nederland nu en voor de lange termijn centraal. In de aanpak wordt actief gezocht naar de koppeling met andere ambities van rijk, provincies, waterschappen, gemeenten, maar ook van maatschappelijke organisaties en bedrijven op andere beleidsterreinen, zoals economie, natuur en ruimte. Dat is een voorwaarde om tijdig de noodzakelijke ruimtelijke maatregelen te nemen. Vanuit deze optiek wordt gekeken naar de inzet van natuurrijke oplossingen bij het vraagstuk van veiligheid. De Deltacommissaris heeft de Stichting Ecoshape gevraagd de mogelijkheden te verkennen voor het toepassen van natuurlijke keringen in het IJsselmeergebied, de Wadden en estuaria en het rivierengebied. De Noordzeekustzone is niet beschouwd. Voorliggend rapport is het resultaat van deze verkenning. De hoofdvraag daarbij was:

Hoe kunnen natuurrijke oplossingen bijdragen aan de lange termijn veiligheid en aan het integrale karakter van het Deltaprogramma, waarbij hogere natuurwaarden en een grotere kostenefficiëntie worden bereikt?

Gangbare oplossingen zijn gericht op het vergroten van de sterkte en hoogte van de dijk met een grote rol voor harde constructies en stenen bekleding. Bij natuurrijke oplossingen wordt gewerkt met “zachte” materialen, zoals grond, zand, klei en vegetatie, om de belasting op de kering te verminderen. Het gaat daarbij voor de beschouwde gebieden in hoofdzaak om de inzet van voorlanden in de vorm van kwelders, zandplaten, gorzen of grienden. Een belangrijk aspect is dat er bij aanleg, beheer en onderhoud naar wordt gestreefd gebruik te maken van natuurlijke processen. Ook kunnen natuurlijke keringen, beter dan de gangbare, meegroeien met veranderingen in het systeem.

Deze aspecten van natuurlijke keringen zorgen ervoor dat ze een interessant alternatief bieden voor gangbare oplossingen. In deze verkenning is gezocht naar voorbeelden waarbij deze “meerwaarde” ook daadwerkelijk tot uitdrukking komt. De hoofdconclusies van deze verkenning zijn:

- Natuurlijke keringen bieden kansen voor *kostenbesparing* bij de aanleg. Dit geldt nog steeds wanneer eventuele meerkosten voor beheer en onderhoud worden meegerekend (life cycle cost benadering);
- Natuurlijke keringen kunnen gefaseerd worden aangelegd en zo *flexibiliteit* bieden bij adaptief beheer en het omgaan met onzekerheden (klimaat). Dit vergroot de mogelijkheden voor kostenbesparing;
- Natuurlijke keringen zijn veelal *robuuster* te maken, waardoor de gevolgen bij gedeeltelijk falen geringer kunnen zijn;
- Natuurlijke keringen dragen wezenlijk bij aan de *kwaliteit van natuur, landschap en recreatie*, zijn breder en scheppen mogelijkheden voor medegebruik;
- Op dit moment is toetsing van natuurlijke keringen op veiligheid niet altijd mogelijk, vanwege het ontbreken van een geschikt toetsinstrumentarium om de veiligheid adequaat te kunnen beoordelen. Het toepassen van natuurlijke keringen op grotere schaal vereist dan ook een aanpassing van het *ontwerp- en toetsinstrumentarium*. Daarbij kan gebruik gemaakt worden van de kennis en expertise die ontstaat bij de ontwikkeling van deze keringsconcepten;
- Om de toepassing van natuurlijke keringen mogelijk te maken moeten de beheers- en onderhoudsverantwoordelijken voor het totale veiligheidsconcept afdoende zijn geregeld. Het is essentieel dat alle onderdelen van de natuurlijke kering, die bijdragen aan de veiligheid, worden opgenomen in de legger/keur van de desbetreffende kering.

- Het gebruik van natuurlijke oplossingen in waterkeringen plaatst de huidige *natuurwetgeving* mogelijk ook in een ander perspectief, waardoor wellicht een andere benadering van vigerende natuurrichtlijnen denkbaar wordt;
- Dit rapport toont aan dat het *perspectief voor natuurlijke keringen* in meerdere opzichten – financieel, ecologisch, maatschappelijk - kansrijk is. De toepasbaarheid van natuurlijke keringen is echter maatwerk. Niet overal zijn natuurlijke oplossingen mogelijk of genieten zij de voorkeur boven gangbare keringen.

Korte toelichting

Kostenbesparing

Een natuurlijke oplossing kan aanzienlijk kostenefficiënter zijn dan gangbare keringen. De aanleg van de duin voor dijk alternatieven in Zeeuws Vlaanderen (zie voorbeeld Nieuwvliet Groede par. 3.4.4.), het ophogen en stabiliseren van platen in de Oosterschelde, het stimuleren van kwelders op ondiep voorland langs de Waddenkust, het golfremmend Griend in de Noordwaard en ook de oeverdijk op het traject Hoorn-Amsterdam zijn duidelijk kosteneffectiever (orde 20%-40%) en daarmee tientallen miljoenen euro's goedkoper dan de aanleg van gangbare, harde maatregelen.

De tot nu toe gerealiseerde alternatieve maatregelen zijn voornamelijk kleinschalig. De verwachting is dat bij grootschalige maatregelen de kosteneffectiviteit kan toenemen.

Omdat natuurlijke keringen in hoofdzaak bestaan uit zand, grond en klei hangen de kosten vooral af van de lokale beschikbaarheid van deze materialen. Zolang niet bekend hoe de eisen waaraan de primaire keringen moeten voldoen zich in de komende jaren zullen ontwikkelen, is het geleidelijk kunnen aanpassen van de keringen een groot voordeel (zie ook flexibiliteit).

Natuurlijke keringen hebben een groter ruimtebeslag dan gangbare keringen. Op dit grotere oppervlak hebben echter ook andere functies, zoals recreatie en natuur, een plek. Hoewel onderhoud en beheer van natuurlijke keringen soms duurder zijn, bestaan er bij een combinatie van functies ook kansen voor netto kostenbesparing op dit vlak.

De grote waarde van aanwezig natuurlijk voorland

Op veel plaatsen langs de rivieren, de grote wateren en de kust zijn natuurlijke voorlanden aanwezig. Het gaat daarbij om kwelders, zandplaten, gorzen (voormalige kwelders) en grienden. Hun rol wordt pas duidelijk als ze er niet meer zijn. Verlies aan platen als gevolg van zandhonger kan er in de Oosterschelde toe leiden dat op termijn meer dan honderd miljoen extra aan dijkversterking moet worden uitgegeven. Zonder kwelders moeten veel waddendijken tot 1 meter hoger worden aangelegd, kosten orde € 6 tot 8 miljoen per km dijk. De gorzen langs het Haringvliet zorgen ervoor dat de kruinhoogte tot 0,5 meter lager kan zijn. Ook hier zijn zonder gorzen hogere en duurdere dijken nodig.

Flexibiliteit

Veel natuurlijke keringen kunnen gefaseerd worden aangelegd, meegroeïend met de waterspiegel, of incrementeel worden opgebouwd. Dit biedt flexibiliteit en helpt bij het omgaan met onzekerheden, bijvoorbeeld in de klimaatontwikkeling. Dit biedt tevens mogelijkheden voor het gebruik van materiaal dat elders vrijkomt, bijvoorbeeld bagger uit vaargeulen. Aanpassingen zijn zo tegen geringere kosten door te voeren (werk met werk maken). Het voorbeeld van de voorlanden bij het IJsselmeer (par. 2.2.) illustreert deze flexibiliteit.

Robuustheid

Veel natuurlijke keringen gaan uit van een breder grondlichaam. In veel gevallen wordt de kering daarbij aanzienlijk robuuster en zijn ook de gevolgen bij falen kleiner dan in geval van gangbare dijken. Vooral bij duin voor dijk en oeverdijken is sprake van bredere concepten met een grotere veiligheid. Het voorbeeld van een oeverdijk aan het Markermeer (par. 2.4.1.) illustreert de mogelijkheden van een robuuste natuurlijke kering.

Kwaliteit van natuur, landschap en recreatie

Zachte brede waterkeringen bieden mogelijkheden voor het realiseren van natuur, ruimtelijke kwaliteit en economisch medegebruik. Dit medegebruik stelt daarbij wel

aanvullende eisen, maar met een robuustere aanleg is, naast de veiligheidsfunctie, meer medegebruik mogelijk.

In geval van wadden en estuaria, zoals de Eems-Dollard, Westerschelde en Oosterschelde, wordt plaat- en schorareaal behouden dan wel toegevoegd (zie het voorbeeld Oesterdam in zand, par. 3.4.4.). De ontwikkeling van nieuwe kwelders draagt bij aan de biodiversiteit. Aan zandige kusten voegen natuurlijke keringen duinen en brede stranden toe. Ze maken bij voldoende volume meer dynamisch beheer van de zeereep mogelijk, wat bijdraagt aan de kwaliteit van de duinen. Ook worden ecologische verbindingen versterkt, zoals in de voorbeelden duin voor dijk Nieuwvliet Groede (par. 3.4.4.) en de oeverdijk (par.2.4.1).

In het IJsselmeergebied kan de toegevoegde waarde bestaan uit geleidelijke land-waterovergangen via ondiep luw water naar rietland, moerasbos en hoger gelegen grasland. Er ontstaan daarmee paai- en opgroeigebieden voor vis, foerageer- en broedgebieden voor vogels en ecologische verbindingzones. Met een meer natuurlijk peilbeheer wordt de kansrijkdom en ecologische meerwaarde van dergelijke oevers groter. Dit biedt tevens meerwaarde voor recreatie en andere vormen van medegebruik. Opgaven vanuit de Europese Kaderrichtlijn Water, Natura 2000 of natuurcompensatie opgaven zoals die samenhangen met peilopzet (IJsselmeer) of buitendijks bouwen (Markermeer) kunnen in de vorm van natuurlijke keringen worden vervuld. Een win-win scenario dat tot meer natuur en kostenbesparingen leidt.

In het Rivierengebied is een combinatie mogelijk met de ontwikkeling van grienden, hardhout of zachthout ooibos. De natuurwinst hangt af van de situatie, aangezien in het rivierengebied verschillende beschermingsregimes en typen natuurgebieden voorkomen.

Kansen, toetsbaarheid, overige wetgeving

Het adopteren van het concept van natuurlijke waterkeringen biedt de mogelijkheid om unieke nieuwe kennis op te bouwen voor het doelmatig ontwerpen van waterverdedigingswerken. Kennis over het effect van natuurlijke structuren, zoals vegetatie, in verdedigingsconcepten voegt extra informatie toe die van doorslaggevend belang kan zijn bij beslissingen of dijken wel of juist moeten worden verhoogd. Meer gedetailleerde kennis omtrent het gedrag van voorland tijdens stormcondities kan beter inzicht geven over plaatsen waar een groter risico voor falen te verwachten is. Daar kan dan in de ontwerpfase op worden geanticipeerd.

Op dit moment is toetsing van natuurlijke keringen op veiligheid niet altijd mogelijk, vanwege het ontbreken van een geschikt toetsinstrumentarium om de veiligheid adequaat te kunnen beoordelen. Het toepassen van natuurlijke keringen op grotere schaal vereist dan ook een aanpassing van het ontwerp- en toetsinstrumentarium. Meer fundamentele kennis van voorland, maar ook van andere componenten in het keringsontwerp, is nodig voor de doorvertaling naar formele toets- en ontwerpleidraden. Recente veldmetingen tonen bijvoorbeeld aan dat een goede grasmat veel meer overslag verdraagt dan waarmee wordt gerekend, maar ruigte weer minder dan een grasmat. Empirisch onderzoek gericht op de werking van grond en vegetatie, zoals riet en wilgen, en expliciete aandacht voor natuurlijke keringen in de toets- en ontwerpleidraden zal leiden tot een ruimere en beter te onderbouwen keus uit alternatieve verdedigingsstrategieën.

Daarnaast is het voor de toepassing van natuurlijke keringen op grote schaal nodig om de beheers- en onderhoudsverantwoordelijkheden voor het totale veiligheidsconcept afdoende te regelen. Anders gezegd: op het moment dat hij nodig is moet de kering ook daadwerkelijk functioneren. Het is essentieel dat alle onderdelen van de natuurlijke kering die bijdragen aan de veiligheid worden opgenomen in de legger/keur van de desbetreffende kering.

Voorbeelden waar voor de bestaande dijk beschermd voorland is gelegen en waarbij periodiek een Flora- en Faunawet ontheffing wordt aangevraagd voor beheer en onderhoud toont aan dat bestaande natuurwetgeving geen belemmering hoeft te zijn. Natuurlijke oplossingen voor dijken in N2000 gebied, waarbij netto natuurwinst mogelijk is, bieden de gelegenheid om natuurwetgeving te interpreteren met de nadruk op de bedoeling van de wet.

Meer gedetailleerde kennis over aanleg, beheer en onderhoud van natuurlijke keringen, de mogelijke meerwaarde daarvan en het perspectief voor inpasbaarheid in de huidige infrastructuur en ruimtelijke planning is gewenst. Met deze informatie beschikken beheerders over betere mogelijkheden om de voors- en tegens van natuurlijke keringen ten opzichte van gangbare keringen af te wegen. De aantrekkelijkheid van natuurlijke keringen als mogelijk alternatief zal daarmee voor waterkeringbeheerders toenemen. De mogelijkheid dat natuurlijke keringen meerdere (economische) gebruiksdoelen kunnen dienen schept ook de mogelijkheid voor andere partijen om in de financiering van aanleg en onderhoud te investeren.

Perspectief voor natuurlijke keringen

Uit de bevindingen die zijn beschreven in dit rapport kan worden geconcludeerd dat er voldoende perspectief bestaat om natuurlijke keringen als volwaardig alternatief mee te nemen bij waterveiligheidsopgaven. In vergelijking met gangbare keringen leiden natuurlijke keringen in veel gevallen tot kostenbesparing. Daarnaast bieden zij de mogelijkheid van een grotere flexibiliteit bij de aanleg. Wanneer ambities op het gebied van natuur, landschap en recreatie worden meegenomen, neemt het perspectief voor natuurlijke keringen alleen maar toe. Ontwikkeling van natuurlijke keringen biedt ruimte voor nieuwe creativiteit in de Nederlandse watersector.

Het op grotere schaal toepassen van natuurlijke keringen heeft baat bij slim omgaan met beschikbare en goedkope grondstromen, met aansluiting bij (natuur)wetgeving en met het uitwerken van vragen rond beheer en onderhoud. Daarnaast verdient het aanbeveling om, met het oog op efficiënt en doelmatig ontwerpen enerzijds en de toetsbaarheid anderzijds, het ontwerp- en toetsinstrumentarium zo aan te passen dat het toepassen van natuurlijke keringen eenvoudiger wordt. Hiermee krijgt de watersector een vernieuwingsimpuls en blijft Nederland ook internationaal gezien - klimaatverandering en zeespiegelstijging zijn mondiale problemen - voorop lopen op het gebied van hoogwaterbescherming.

1 INLEIDING

1.1 Opzet van de verkenning

De verkenning van het perspectief voor natuurlijke keringen is uitgevoerd aan de hand van bekende voorbeelden en de ervaringen die daar uit naar voren komen. Hieruit wordt al snel duidelijk dat de keuze voor een natuurlijke kering, en het specifieke ontwerp daarvan, maatwerk is. Ieder type watersysteem heeft zijn eigen dynamiek en de mogelijkheden voor het toepassen van natuurlijke keringen hangen daar mee samen. Daarom is gekozen voor de volgende aanpak:

- Een verkenning in deelgebieden, dit zijn IJsselmeergebied, Wadden en Estuaria en Rivierengebied;
- Een onderscheid naar hoofdtypen van natuurlijke keringen, de relatie met de veiligheidsopgave en uitwerking hiervan per deelgebied;
- Een beschrijving van voorbeelden per deelgebied. Dit zijn voorbeelden van lopende projecten of studies waarbij natuurlijke oplossingen zijn bekeken;
- Schetsen van het perspectief voor natuurlijke keringen.

De kansen voor natuurlijke keringen zijn verkend door een evaluatie van de volgende aspecten: kosten, flexibiliteit, veiligheid, andere gebruiksfuncties zoals landschap, natuur en recreatie. Dit is gebaseerd op de huidige voorbeelden maar ook met inachtneming van toekomstige kansen en ontwikkelingen.

1.2 Deelgebieden en kenmerkende omstandigheden

Er is een onderscheid gemaakt naar deelgebieden, zoals gehanteerd in het deltaprogramma: het IJsselmeergebied, de Wadden en estuaria en het rivierengebied. Ieder gebied heeft eigen kenmerken, waardoor de mogelijkheden voor natuurlijke keringen verschillen. Daarom wordt voor ieder deelgebied kort ingegaan op:

- *de belangrijkste natuurlijke processen.* De nadruk ligt hierbij op abiotische processen die van belang zijn voor de veiligheidsopgave en voor het ontwerp van een natuurlijke kering. Voor het IJsselmeer zijn dit windwerking en peildynamiek en samenhangende golfhoogtes en oeverontwikkeling. Voor het Waddengebied en de estuaria is de getijdendynamiek dominant en samenhangende waterstanden en morfologische processen, zoals kweldervorming. Voor het (beneden)rivierengebied bepalen rivierafvoeren in combinatie met windwerking (en getij) de waterstand en hydrodynamiek. Deze beïnvloeden de veiligheidsopgave en het gebruik van natuurlijke keringen door andere functies. Tevens wordt per deelgebied ingegaan op processen die door een natuurlijke kering (positief) worden beïnvloed, zoals het vasthouden van slib in voorland.
- *de veiligheidsopgave.* De veiligheidsopgave bepaalt het bijbehorende type natuurlijke kering. De veiligheidsopgave kan bestaan uit een tekort aan kruinhoogte, maar vaak is ook sprake van te geringe stabiliteit, onvoldoende bekleding of de kans op piping.
- *de mogelijkheden voor kostenbesparing.* Daarbij gaat het om een vergelijking tussen de aanleg- en beheerskosten van gangbare en natuurlijke keringen, Kansen voor kostenbesparing vragen een slimme inzet van zand- en grondstromen, handige fasering van de aanleg en een goed ontwerp. De combinatie met andere functies kan in de vorm van vermeden kosten ook besparingen opleveren.

1.3 Typen natuurlijke keringen en relatie met veiligheidsopgave, natuur en recreatie

Verschillende typen natuurlijke keringen verschillen in de bijdrage aan de veiligheidsopgave en in kansen voor natuur en recreatie. Onderstaand wordt daar op ingegaan.



Figuur 1.1 Voorbeelden van Building with Nature type oplossingen voor veiligheid en dijken met meer natuurwaarde.

Typen natuurlijke keringen

Er kunnen een aantal typen natuurlijke keringen worden onderscheiden die per deelgebied weer een specifieke uitwerking kennen. In de hoofdstukken 2 t/m 4 wordt daar per deelgebied op ingegaan. Daarbij wordt de volgende indeling in hoofdtypen gehanteerd:

- **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 een oeverdijk voor de bestaande dijk.
- **Hybride keringen,** een combinatie van vegetatie en/of een grondlichaam (bijvoorbeeld een vooroever), die de golfbelasting vermindert en een dijk. Naast een combinatie met zand, grond en vegetatie is ook een combinatie met een palenbos, (kunst)rif of bijvoorbeeld een drijvend moeras mogelijk.
- **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.

Bijdrage aan de veiligheidsopgave

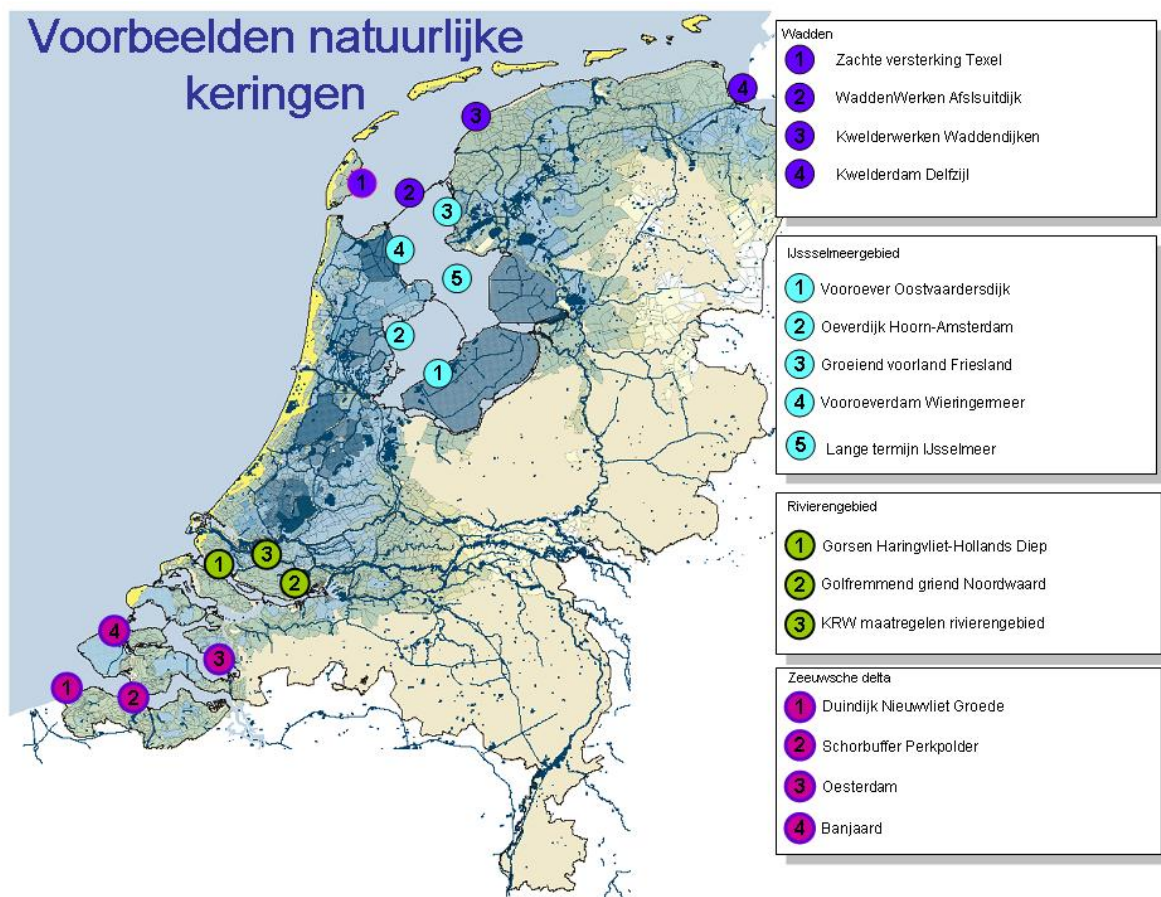
Wat betreft de veiligheid kan een natuurlijke kering een oplossing vormen voor:

- Een tekort aan kruinhoogte. Alle vormen van voorland dragen bij aan het verminderen van de golfoploop en helpen ingeval van een tekort aan kruinhoogte. Deze bijdrage verschilt per type.
- Stabiliteit: Een onvoldoende of te lichte bekleding kan worden gecompenseerd door een voorland. Een voorland vermindert de golfwerking op de bekleding. Ook hiervoor geldt weer dat de golfreducerende werking verschilt per type voorland.
- Stabiliteit: Micro-stabiliteit van het buitentalud kan worden gecompenseerd door een hoog voorland. Het substantieel verkleinen van golfklappen door een hoog voorland kan voor een geringe micro-stabiliteit afdoende zijn.

- Stabiliteit: Macro-instabiliteit van het buitentalud. Een oeverdijk, een duin voor dijk, het verduinen van dijken of een hoog voorland werkt ook stabiliserend en kan bij bepaalde vormen van macro-instabiliteit afdoende zijn.
- Faalmecanisme piping. Afhankelijk van de breedte en de bodemopbouw (minimaal 1 meter klei als toplaag) kan een voldoende hoog voorland ook de kans op piping verkleinen.

Bijdrage aan natuur, recreatie en overig medegebruik

De bijdrage aan natuur en recreatie verschilt van plek tot plek. De lokale omstandigheden bepalen wat wenselijk en mogelijk is. Kansen voor het combineren van natuurdoelen (Natura 2000, Kaderrichtlijn Water) en veiligheidopgaven zijn het realiseren van natuurlijke land-waterovergangen zoals ondiepe zones achter vooroevers, (riet)moerassen, kwelders, schorren, zandplaten, grienden en oesterriffen. Natuurlijke keringen kunnen landschappelijk aantrekkelijk zijn en zo extra kansen bieden voor recreatie of buitendijkse woningbouw. In de volgende hoofdstukken wordt voor elk type aangegeven of en hoe zij bijdragen aan natuur en recreatie. De potenties voor natuur en medegebruik zijn nog lang niet volledig in beeld.



Figuur 1.2 Ligging van de voorbeelden

1.4 Overzicht van voorbeelden van natuurlijke keringen

Deze verkenning is grotendeels gebaseerd op voorbeelden van natuurlijke keringen. Voor elk deelgebied zijn enkele voorbeelden beschreven. Deze staan in de bijlagen en worden

deels ook in de tekst van het hoofdrapport aangehaald. Het is geen volledige lijst van lopende projecten en studies, maar wel een brede beschrijving van mogelijke situaties en types. Voor zover mogelijk zijn daarbij ook de kosten in beeld gebracht en is een vergelijking gemaakt tussen een natuurlijke maatregel en een gangbare versterking. Figuur 1.2 geeft een overzicht van de beschreven voorbeelden.

1.5 Leeswijzer

In dit rapport wordt ingegaan op de mogelijkheden in het IJsselmeergebied (hoofdstuk 2), de Wadden en Estuaria (hoofdstuk 3) en het Rivierengebied (hoofdstuk 4). De zandige kust van Holland wordt niet behandeld. In deze hoofdstukken wordt ingegaan op het ecologisch functioneren, de veiligheidsopgave, typen natuurlijke keringen en voorbeelden. Hoofdstuk 5 gaat in op het perspectief in de verschillende gebieden en de aandachtspunten hierbij. De volgende informatie is in bijlagen opgenomen:

- Overzichtskaarten, voorbeelden, toepasbaarheid bij kruinhoogte tekort en morfologisch sturen van veiligheid (bijlage I);
- Voorbeelden IJsselmeergebied (bijlage II), Voorbeelden Wadden en Estuaria (bijlage III), Voorbeelden Rivierengebied (bijlage IV);
- Overzicht kosten en potentiële besparingen (bijlage V).

2 IJSSELMEERGEBIED

2.1 Ecologisch functioneren en werking natuurlijke kering

Binnen het IJsselmeergebied wordt onderscheid gemaakt in het Markermeer en het (noordelijk) IJsselmeer. Beide meren waren onderdeel van de Zuiderzee en zijn na aanleg van de Afsluitdijk verzoet. Het ecosysteem is volledig veranderd van een brak estuarium vroeger naar grote zoete meren nu. In deze meren is peildynamiek in combinatie met de morfologie (diepte, grootte en vorm van de oeverzone) in belangrijke mate sturend voor de ecologie, maar ook bepalend voor de veiligheid (keringen). Deze factoren bepalen, samen met de aanvoer van water en voedingsstoffen, het ecologisch functioneren. In het Markermeer speelt ook de slibdynamiek een belangrijke rol.

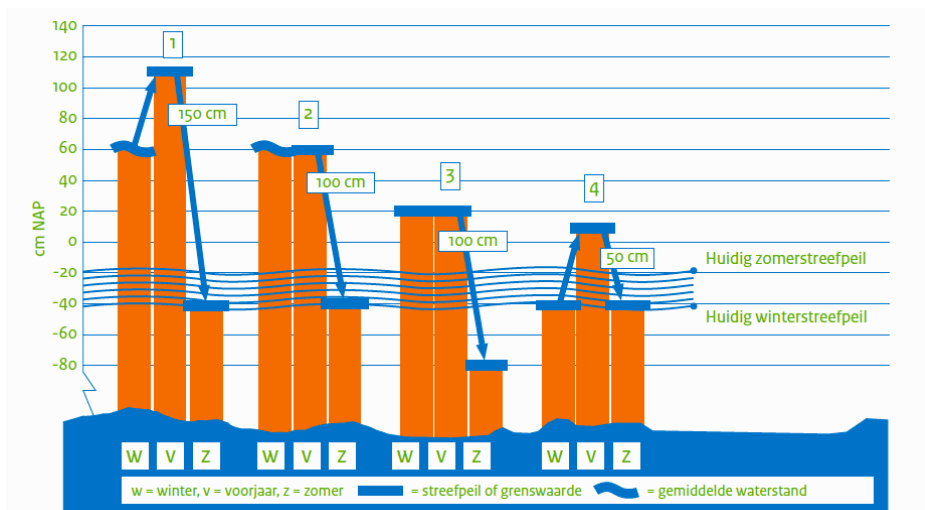
Natuurlijke peildynamiek in een meer en relatie met de oeverzone

In zoete meren is van nature sprake van seizoensmatige peilfluctuaties. In de winter is het waterpeil hoog, een gevolg van een neerslagoverschot (neerslag is groter dan verdamping). In de zomer zakt het peil uit door verdamping. Een peilvariatie van een halve meter tot een meter is gangbaar. In extreem droge jaren zakt het peil verder uit. Door de wisselende peilen ontwikkelen zich (afhankelijk van de oeverhelling) brede zones met riet en moerasvegetaties (STOWA, 2008). Natuurlijke oevers zijn belangrijk als paaiplaats en kraamkamer voor vissen. Voor vogels vormen ze foerageergebied en in de vorm van riet- en moerasland broedgebied. Natuurlijke oevers bieden bescherming tegen erosie door golven. De variatie in waterpeil voorkomt dat de golfaanval zich op een plaats concentreert. Goed functionerende oevers zijn dus in het belang van natuur en veiligheid.

Peilbeheer, nu en in de toekomst

Door peilbeheer is de fluctuatie in waterpeil sterk afgenomen en tegennatuurlijk, 's zomers hoger dan 's winters. De streefpeilen van IJsselmeer en Markermeer zijn in de winter 40 cm onder NAP en in de zomer 20 cm onder NAP. 's Zomers staat het water 20 cm hoger. Dit is ongunstig voor de ontwikkeling van oevervegetatie en voor de "natuurlijke" bescherming van de oeverzone.

De "voorverkenning lange termijn peilbeheer IJsselmeer" (Deltaprogramma IJsselmeergebied, 2010) hanteert 4 peilscenario's voor de lange termijn (na 2050). In alle peilscenario's daalt het peil in de zomer door verdamping en vanwege onttrekking ten behoeve van de zoetwatervoorziening. Voor de zoetwatervoorziening is een "schijf" van 0,5 tot 1,5 meter beschikbaar. Het daadwerkelijke peilverloop is afhankelijk van de zoetwaterbehoefte, maar kan ook gestuurd met oog op andere waarden en functies (bijvoorbeeld ecologie). In jaren met geringe waterbehoefte laat men het peil in de zomer dalen met oog op de oeverzone. De scenario's zijn schematisch weergegeven in onderstaande figuur. Natuurlijke keringen hebben veelal flauw oplopende oevers. In combinatie met een natuurlijk peilverloop levert dit brede oeverzones en meer natuur.



Figuur 2.1 Vier peilscenario's voor het IJsselmeer

Streven naar helder en plantenrijk water en keuze voor natuurlijke keringen

Vroeger waren de meeste meren en plassen in ons land helder en plantenrijk. Vooral door eutrofiëring en peilbeheersing is die toestand in veel meren verdwenen (STOWA 2008. Scheffer, 1998). Vanuit verschillende invalshoeken (o.a. Kaderrichtlijn Water en Natura 2000) bestaat de wens en ook de verplichting om deze toestand te herstellen. Natuurlijke keringen kunnen bijdragen aan veiligheid en aan ecologisch herstel. Te denken valt o.a. aan de aanleg van beschutte ondiepe zones of het realiseren van riet- en moeraszones. Voor de randmeren en het Zwarte Meer zijn dit de N2000 opgaven voor het realiseren van overjarig waterriet voor grote karekiet en snor.

In het IJsselmeergebied is de waterkwaliteit al spectaculair verbeterd en vooral de helderheid is de laatste jaren groot. Grote delen van de oevers hebben een "badkuipprofiel", ofwel ze lopen steil af. Het ontbreekt aan brede oeverzones, maar die kunnen met een natuurlijke kering worden aangelegd. Het Markermeer is te slibrijk (zie onder het kopje "Markermeer"). Brede oeverzones vangen slib in en ook de zandwinputten fungeren als slibvang.

Markermeer

Slibdynamiek en TBES

Het Markermeer was de eerste jaren na aanleg helder. De laatste decennia is sprake van een neerwaartse trend in kwaliteit die samenhangt met de slibhuishouding. Er komt voortdurend slib vrij uit de oude Zuiderzeebodem. Dit proces wordt versterkt doordat in zout water afgezette kleien bij verzoeten grotendeels desintegreren. Daarbij is het Markermeer nergens dieper dan 4 tot 5 meter, waardoor golven overal het slib van de bodem op kunnen wervelen. Met de aanleg van de Houtribdijk vormt het Markermeer een gesloten bekken met weinig doorspoeling en lange verblijftijden. Er komt per saldo meer slib vrij uit de bodem dan met overtollig water wordt afgevoerd. Dit heeft over de jaren geleid tot de vorming van een omvangrijke slibdeken die zich onder invloed van golven en wind voortdurend verplaatst.

Door de slibdeken heeft het bodemleven het erg moeilijk. Waterplanten en ook driehoeksmosselen worden periodiek afgedekt en stikken. Dit heeft de laatste jaren geleid tot een sterke achteruitgang in het bestand aan driehoeksmosselen en waterplanten. Met de afname in mosselen en waterplanten nemen ook de voedselbronnen voor vogels af. Het resultaat is dan ook een afname in beschermde vogelsoorten.

Deze neergaande trend is al jaren onderwerp van onderzoek en in het kader van TBES (Toekomst Bestendig EcoSysteem) zijn plannen gemaakt om de dominantie van het slib te

doorbreken. Maatregelen zijn diepe winputten waarin slib kan bezinken, de aanleg van eilanden en dammen om de invloed van de wind op het slib te verminderen en de aanleg van moerassen die mede dienen voor de invang van slib.

Met de aanleg van natuurlijk voorland kan moeras worden toegevoegd waarmee extra slib kan worden vastgelegd. Ook de winputten waaruit de grond voor de aanleg wordt gewonnen kunnen bijdragen aan het vastleggen van slib. Er is dan ook sprake van een potentieel sterke relatie tussen verschillende beleidsdoelen.

Natuurlijk peilbeheer en de oeverzone

In samenhang met het vraagstuk van de slibhuishouding wordt ook gestudeerd op een meer natuurlijk peilverloop. Op dit moment is het peilverloop tegennatuurlijk met hoge peilen in de zomer en lage peilen in de winter. De oevers langs het Markermeer zijn daarom ook slecht ontwikkeld. Dit komt echter ook doordat ondiepe oeverzones ontbreken. Op de meeste plaatsen is het water 3 tot 4 meter diep tot voor de dijk. Dit geldt vooral voor de oeverzone langs de dijken van Flevoland, de Houtribdijk en voor grote delen van de kust van Noord-Holland. Ondiepere delen zijn aanwezig in het IJmeer en de Gouwe, maar de omvang aan ondiepe oeverzones is beperkt.

Goed functionerende oevers zijn belangrijk als paaiplaats en kinderkamer voor vissen, als foerageergebied en in de vorm van riet- en moerasland ook als broedgebied voor vogels.

Met de aanleg van natuurlijk voorland kunnen ondiepe oeverzones worden toegevoegd. De baten van een toekomstig natuurlijk peilbeheer worden zo vergroot.

Noordelijk IJsselmeer

Koelte en beter ecologisch functioneren

Ook in het noordelijke IJsselmeer komt slib vrij uit de bodem, maar de bodem is zandiger dan in het Markermeer. Ook voert de IJssel via het IJsselmeer voortdurend water met slib af, waardoor de hoeveelheid slib niet toeneemt en een slibdeken ontbreekt. Een neergaande trend zoals in het Markermeer ontbreekt hier.

Toch zijn er indicaties dat het, vanwege de hoge temperaturen, vooral met de populatie spiering niet goed gaat. De spiering staat aan de basis van de voedselketen en is belangrijk als voedselbron voor roofvissen en veel vogelsoorten.

De spiering is een salmonide vis die voor de aanleg van de Afsluitdijk een deel van zijn leven in zout water doorbracht. Nu is sprake van een aangepaste populatie die het IJsselmeer niet meer verlaat. Spiering gedijt het beste in wat koeler en zuurstofrijk water.

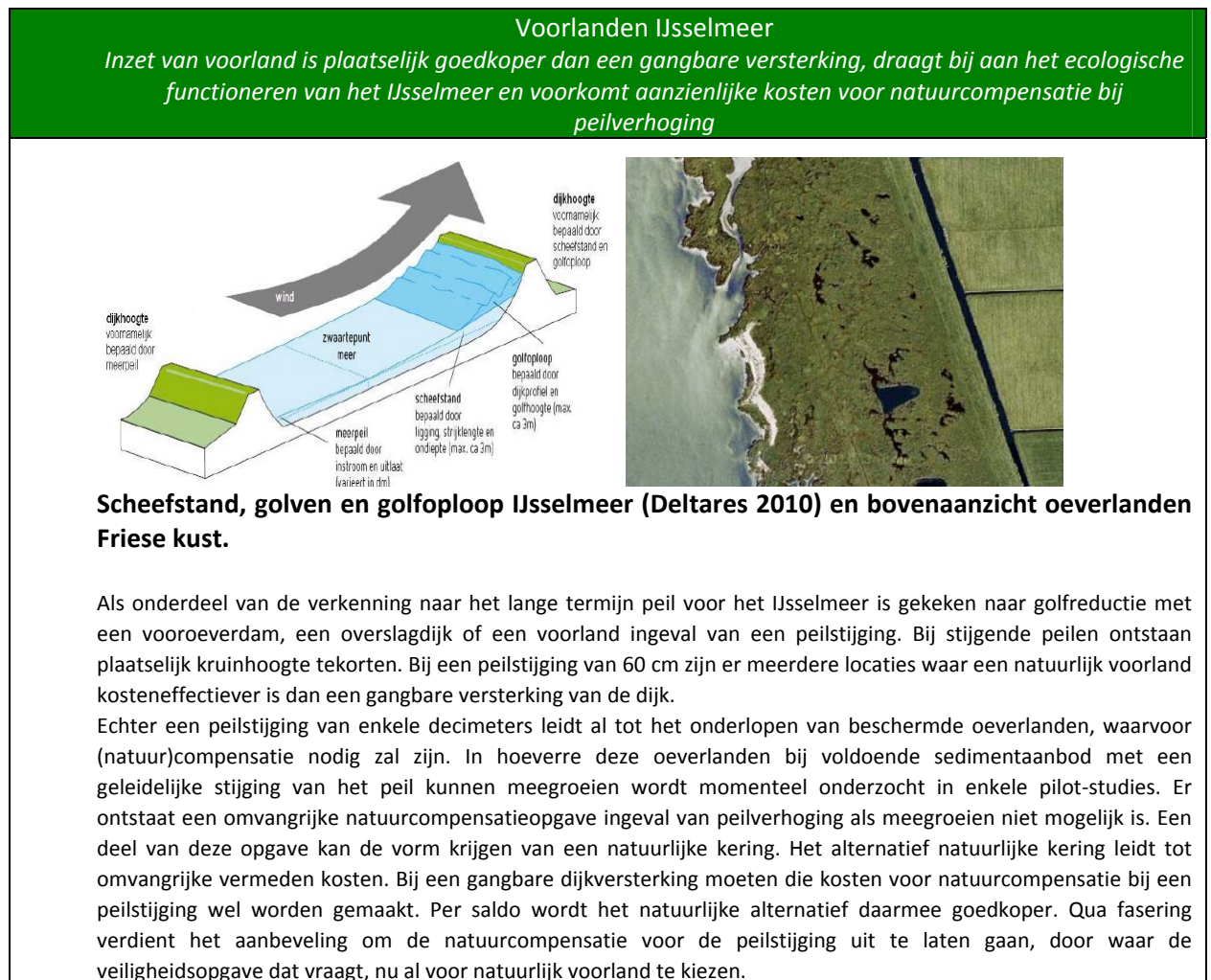
Met de aanleg van diepe putten kunnen koelteplaatsen voor de spiering worden geschapen. Deze kunnen dienen als temperatuur refugium als in hete zomers het water te warm voor ze wordt. Voorwaarde is wel dat er voldoende zuurstof in de putten beschikbaar is. De grond die vrijkomt bij het aanleggen van de putten kan gebruikt worden voor aanleg van natuurlijke keringen.

Voorland en natuurlijk zandtransport

Langs de Friese kust komen ondiepten en voorland voor, de vroegere kwelders van de Zuiderzee. Een deel hiervan is maar enkele decimeters boven gemiddeld zomerpeil gelegen. Bij het stijgen van het meerpeil zullen deze onderlopen.

Vanwege een dominant zuidwestelijke wind vindt voortdurend transport van materiaal in de richting van deze oever plaats. Vanwege de ondiepe vooroevers vindt ook zandtransport plaats vooral naar het noorden en beperkt naar het zuiden. We treffen langs de Friese kust daarom ook ondiepe flauw oplopende oevers aan die begroeid zijn met riet. Riet kan zich doorgaans alleen handhaven bij niet te veel golfslag en een beperkte waterdiepte. Aan de Noord-Hollandse kust zien we minder zandtransport en ondiepten.

Het uitgewerkte voorbeeld 'Voorlanden IJsselmeer' illustreert de kansen die voorlanden bieden als natuurlijke kering en de bijdrage die ze kunnen leveren aan het ecologisch functioneren van het IJsselmeer.



2.2 Veiligheidsopgave op korte en langere termijn

Wat betreft de veiligheidsopgave moet, net als bij de beschrijving van de belangrijkste ecologische processen, onderscheid worden gemaakt tussen het Markermeer en het noordelijke IJsselmeer.

Voor het Markermeer geldt ook op langere termijn een vast peil. De veiligheidsopgaven hangen vooral samen met:

- mogelijke aanpassingen van de norm, bijvoorbeeld op basis van een overstromingsrisico benadering,
- stringenter toetsing, bijvoorbeeld op stabiliteit,
- op termijn mogelijk een toename van de maatgevende stormcondities.

Een deel van de ontwerphoogte van dijken hangt samen met windopzet. Deze varieert afhankelijk van de ligging van een dijk ten opzichte van de maatgevende storm. De maximum windopzet is ongeveer 1 meter.

Voor het IJsselmeer hangt de veiligheidsopgave af van een mogelijke toename van het meerpeil. Het lange termijn peil is nu in discussie. Veel dijken zijn bij het huidige meerpeil

voldoende hoog, maar hebben plaatselijk problemen met (kans op) piping of onvoldoende stabiliteit. Bij een forse toename van het meerpeil krijgen veel van deze dijken een kruinhoogte tekort.

Voor beide meren hangt de veiligheidsopgave af van de oriëntatie op de maatgevende windrichting. De (golf)belasting van de dijken aan de kant van Noord-Holland is vooral door het meerpeil bepaald. De (golf)belasting van de Friese dijken en de Noordoostpolder is groter en wordt sterk door de maximale windsterkte en opwaaiing bepaald.

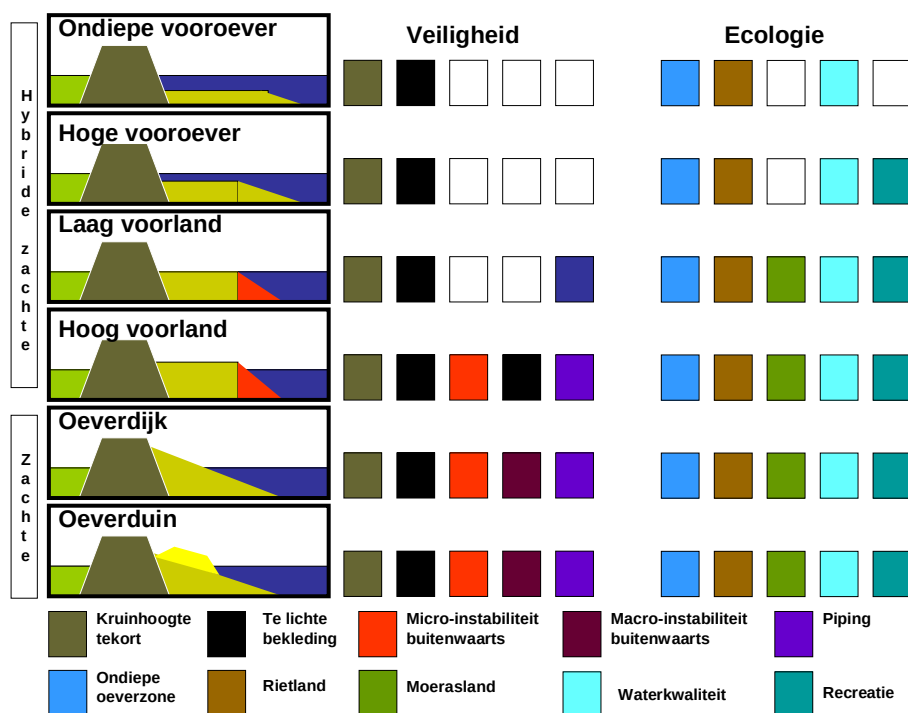
2.3 Typen natuurlijke keringen in relatie tot veiligheidsopgave en ecologie

De volgende typen natuurlijke keringen zijn onderscheiden:

1. Volledig zachte typen
2. Hybride zachte typen: voorland en vooroevers
3. Hybride harde typen
 - a. Overslagdijken
 - b. Constructieve oplossingen

2.3.1 Volledig zachte typen

De volledig zachte typen natuurlijke keringen en de hybride zachte typen die in deze en de volgende paragraaf worden besproken staan in figuur 2.2 schematisch weergegeven.



Figuur 2.2 Schematisch overzicht grotendeels zachte en hybride typen natuurlijke keringen voor het IJsselmeergebied (inkleuring van de vakjes betekent een positief effect)

Oeverdijk

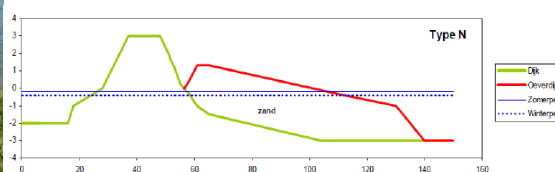
Veiligheidsopgave Dit type bestaat uit een glooiend voorland, waarin de golven doodlopen. De bestaande dijk heeft niet langer een directe functie als kering maar vormt

wel als grondlichaam een onderdeel van de totaaloplossing. Zie het voorbeeld op de volgende pagina. Dit type is vooral een alternatief voor (verzwaring van) instabiele oude IJsselmeerdijken. De bestaande dijk wordt daarmee onderdeel van een groter robuuster grondlichaam en hoeft als dijk alleen niet langer aan de eisen voor de waterkering te voldoen. Er zijn verschillende varianten:

- **Oeverdijk:** flauw oplopend vast grondlichaam tegen de bestaande dijk. De golven lopen daarbij dood op maaiveld en in de vegetatie. De oeverdijk creëert een gradiënt van ondiep water naar drogere milieus. Afhankelijk van beheer en functie kunnen op deze gradiënt verschillende typen natuur ontstaan.
- **Oeverduin:** voorland in combinatie met een zandbuffer tegen de bestaande dijk. De zandbuffer werkt als een klein duin waaruit een afslagprofiel ontstaat waarop de golf zijn energie verliest. De mogelijkheden voor natuurontwikkeling zijn vergelijkbaar. Het duin biedt mogelijkheden voor de ontwikkeling van specifieke duin- of stroomdalflora. Dit zijn dan wel habitats die van nature niet langs het IJsselmeer voorkomen.

Oeverdijk

Een flauw oplopend grondlichaam als alternatief voor een omvangrijke dijkversterking, met een substantiële bijdrage aan de natuur en besparing in kosten.



De oude zeedijk aan het Markermeer (www.hhnk.nl) en een van de mogelijke principe ontwerpen voor een oeverdijk (zie voorbeelden IJsselmeergebied).

Grote delen van de primaire waterkering tussen Hoorn en Amsterdam voldoen momenteel niet aan de wettelijke norm. Er is sprake van intensieve bewoning en grondgebruik langs en op de dijk, infrastructuur en natuurgebieden grenzend aan de dijk en kritische bewoners. Een gangbare versterking vraagt vanwege de zettinggevoelige ondergrond om brede steunbermen en forse dijklichamen met een groot ruimtebeslag, dat maar moeilijk kan worden ingepast. Dit gaat gepaard met veel effecten op landschap en natuur en ook hoge kosten. Het alternatief is een oeverdijk in de vorm van een breed grondlichaam dat buitendijks in het Markermeer tegen de bestaande dijk wordt aangebracht. Het biedt een oplossing voor een plaatselijk tekort aan hoogte en ook voor een tekort aan stabiliteit, waardoor vooral binnendijks minder maatregelen nodig zijn. Met de oeverdijk wordt een brede flauw oplopende oever gemaakt met een gradiënt in habitattypen, waaronder ondiep water en een oeverzone. Beide dragen bij aan het ecologisch functioneren van het aangrenzende Markermeer dat kampt met waterkwaliteitsproblemen vooral als gevolg van veel slib. Het zand voor de aanleg kan lokaal uit diepe putten worden gewonnen, waarin ook slib kan bezinken. Eerste ontwerpen en berekeningen geven aan dat de oeverdijk gemiddeld 30% goedkoper is dan de gangbare dure versterkingen die over het gehele traject nodig zijn. Dit betekent een besparing van tientallen miljoen euro's. Het ontwerp wordt nu verder uitgewerkt (door Arcadis en Deltares in opdracht van HHNK en DGW) met aandacht voor voldoende toetsbaarheid, zetting, stabiliteit, eisen aan profiel en substraat en mogelijkheden voor natuurontwikkeling.

Er kan worden gevarieerd in breedte, hoogteligging, substraat, begroeiing, beheer en ook de wijze waarop de oever wordt beschermd en beheerd. Dit maakt verschillende combinaties met natuur en ook recreatie mogelijk.

Een oeverdijk blijkt voor de specifieke situatie van instabiele dijken langs de Noord-Hollandse IJsselmeerkust een goedkopere oplossing dan een gangbare versterking. Wel zijn er nog vragen over de wijze van toetsing, de eisen aan het ontwerp en de combinatie van natuurbeheer en het voor de kering noodzakelijke beheer en onderhoud. Een verder punt van aandacht is de functie van de dijk als fundament voor gebouwen die op en tegen

de kering staan. Bij het plaatsen van veel grond op de kering kan deze gaan zetten met gevolgen voor de stabiliteit.

Ecologie en recreatie: De oeverdijk is een flauw oplopende oever, die bestaat uit ondiep water, een ondiepe oeverzone (mogelijk met riet), een vochtige oeverzone (met riet of moerasbos) en een droger gelegen grondlichaam (in gras of desgewenst ook met opgaande begroeiing). Het is mogelijk een habitatype te benadrukken, zoals de zone met riet als broedgebied voor (riet)vogels of (zeer) ondiep water als paaigebied voor vis. Dit vraagt een aanpassing in het profiel bovenop het profiel dat voor veiligheid nodig is.

2.3.2 Hybride zacht: voorland en vooroevers

Dit type werkt als een golfreducerende drempel, waarbij de dijk zijn functie als kering behoudt. Verschillende mogelijkheden worden besproken in het voorbeeld Oostvaardersdijk (bijlage II). Hoger voorland kan ook de buitenwaartse stabiliteit vergroten of het gevaar van piping verkleinen.

Ondiepe vooroever

Veiligheidsopgave: Dit type voorland bestaat uit een verondieping onder meerpeil. Langs de Oostvaardersdijk is dit vaak voldoende als alternatief voor een zeer beperkte verhoging van de kruin. Door de ligging onder water is een oeverbescherming niet nodig en is er geen risico van ijsgang. Beheer en onderhoud nemen nauwelijks toe. Inspectie is een aandachtspunt, vooral als krap wordt ontworpen.

Ecologie en recreatie: De ondiepe vooroever draagt bij aan het ecologisch functioneren van het aangrenzende meer. Het is ongewis of een ondiepe vooroever geschikt is voor vestiging van waterplanten. Vanwege de open ligging aan het meer kan veel slib bezinken en is de invloed van golven groot. De bodem wordt vaak afgedekt met slib en weer omgewoeld wat de vestiging van waterplanten moeilijk maakt.

Hoge vooroever

Veiligheidsopgave: Dit is een vooroever met een iets hogere ligging (<0,7 m water diepte). Vanwege de hogere ligging wordt meer golfremming bereikt. De vooroever ligt nog steeds onder gemiddeld waterpeil en een harde oeververdediging is dan niet nodig. Beheer en onderhoud zijn beperkt en hangen af van de functie van rietkraag die kan ontstaan.

Ecologie en recreatie: Op een ondiepe vooroever kan rietland tot ontwikkeling komen. De beheerdoelstellingen en vitaliteit bepalen de omvang van het beheer. Als riet geen functie in de golfremming wordt toegedicht, wordt het beheer vooral vanuit natuurdoelstellingen ingevuld. Ook kan de rietzone door een rietteler worden beheerd en geëxploiteerd.

Laag voorland

Veiligheidsopgave: Dit is een vochtig natte zone tot 1 meter boven gemiddeld meerpeil. De hogere ligging maakt een aanzienlijke reductie van de golfoploop mogelijk. Dit type kan ook de kans op piping verkleinen. De bovenste meter moet dan aangelegd in klei.

Ecologie en recreatie: Afhankelijk van het beheer kan grasland, rietland of moerasbos ontstaan. Het beheer is vooral gericht op natuur als de begroeiing geen golfremmende functie heeft. Bomen zijn een aandachtspunt. Op dit moment is onduidelijk of bomen bij storm kunnen omwaaien en tot problemen leiden.

Hoog voorland

Veiligheidsopgave: Dit type is grotendeels meer dan 1 meter boven meerpeil gelegen en kan bestaan uit moerasbos, gras of ruigte. Een breed hoog voorland met minimaal 1 meter klei verkleint de kans op piping.

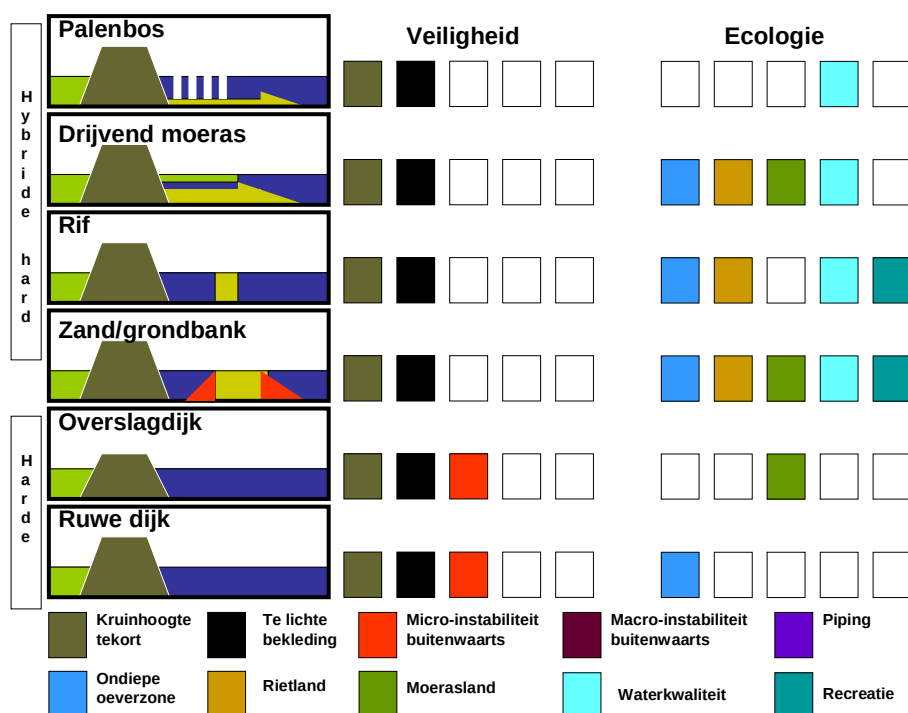
Ecologie en recreatie: De oeverzone is bij dit type smal. De nadruk ligt op de ontwikkeling van een zone met opgaande begroeiing.

Er zijn verschillende mogelijkheden voor natuur en recreatie. Een voorland of vooroever tot op 50 tot 100 meter van de dijk levert vrijwel dezelfde golfreductie als een tegen de dijk aan gelegen voorland of vooroever. Varianten kunnen bestaan uit brede heldere lagunes, maar ook uit kanolandschappen van kleine eilandjes.

Meegroeïend voorland (zie voorbeeld Friese IJsselmeerkust in paragraaf 2.2): Langs de Friese IJsselmeerkust wordt een fysiek pilot-experiment uitgevoerd. Er wordt gekeken of het mogelijk is om het aanwezige voorland te laten groeien door golfgedreven zandtransport vanuit een onderwateroeversuppletie. De pilot bestaat uit een zandsuppletie en een golfuwe aanzandingszone achter een palenrij die in maart 2011 is geplaatst. Er is eerder voor de Friese kust een zandsuppletie uitgevoerd, maar deze is niet gemonitord.

2.3.3 Hybride hard: overslagdijken

In deze en de volgende paragraaf worden hybride harde typen natuurlijke keringen beschreven. In figuur 2.3 staan deze typen schematisch weergegeven.



Figuur 2.3 Schematisch overzicht mogelijke hybride harde typen natuurlijke keringen voor het IJsselmeergebied (inkleuring van de vakjes betekent een positief effect).

In principe is elke dijk een overslagdijk. Bij “normale” dijken is het toegestane overslag debiet echter zeer klein (<1 liter/s/m in geval van een gras op klei bekleding). Recent onderzoek heeft uitgewezen dat gras op klei, mits de grasmat in goede conditie is, veel meer overslag aankan, mogelijk zelfs tot 30 l/s/m. Bij overslaghoeveelheden tot 10 l/s kan worden volstaan met Geogrid en een goede grasmat. Bij grotere overslaghoeveelheden is de macrostabiliteit van het binnentalud mogelijk een probleem en is een dure versterking van het binnentalud nodig.

Bij grote overslaghoeveelheden kan wateroverlast achter de dijk optreden. In geval van stedelijk gebied zijn dure aanvullende waterhuishoudkundige maatregelen nodig. Een

combinatie van een overslagdijk met achter de dijk gelegen natte natuurgebieden is het eenvoudigst.

Een overslagdijk kan een aantrekkelijke oplossing zijn als een kruinverhoging duur en moeilijk inpasbaar is.

2.3.4 Hybride hard: constructieve oplossingen

Drijvende golfremmende moerassen

Veiligheidsopgave: Drijvende of hangende constructies reduceren golven zonder gebruik van grond of zand. De dijk behoudt daarbij zijn functie. Deze innovatieve oplossingen bouwen voort op pilots (drijvend rietmoeras Houtribsluizen, waterproeftuin NMII). Een drijvend moeras beweegt met het waterpeil mee, is daarom altijd op MHW peil gelegen en draagt daarmee maximaal bij aan het afzwakken van de golven. Voorwaarden zijn een degelijke constructie en een verankering, die tijdens maatgevende omstandigheden functioneren. Onder drijvende moerassen zal slib bezinken. Het zandtransport naar de kust is beperkt. De drijvende moerassen zijn geen alternatief voor stabiliteitsproblemen of piping.

Ecologie en recreatie: Drijvende moerassen bieden een substraat voor driehoeksmosselen, die vanwege de slibdeken in het Markermeer geen geschikt substraat meer op de bodem vinden. Het moeras zelf vormt een paai- en foerageergebied voor vissen en een broedgebied voor vogels. Betreding is niet mogelijk. De combinatie met recreatie is een aandachtspunt.

Golfremmend palenbos

Veiligheidsopgave: Golven kunnen worden afgezwakt door golfbrekende palen. Een pilot palenbos is in 2006 aangelegd in de Nieuwe Waterweg (RWS Dienst Zuid Holland). Er zijn vragen ten aanzien van omvang, diepte en robuustheid van een dergelijke constructie. De palen moeten stevig genoeg zijn voor stormomstandigheden, voldoende diep zijn verankerd en ook voldoende hoog steken.

Met SWAN berekeningen is onderzocht hoe breed het wilgengriend in de Noordwaard moest zijn (zie voorbeeld Golfremmend griend in de Noordwaard). Omdat rekening werd gehouden met periodieke kap en ziekte van bomen is voor een 150 meter brede zone gekozen om een golfreductie van ca 80% te bereiken. Een vergelijkbaar breed palenbos is een (erg) dure constructie. Tussen de palen kunnen andere (goedkopere) constructies worden aangebracht. Een golfremmend palenbos kan een alternatief zijn voor een golfremmend rif/voorlanddam.

Een golfremmend palenbos reduceert alleen de golfbelasting. Het kan een alternatief zijn ingeval van een kruinhoogte tekort of onvoldoende bekleding, maar vormt geen oplossing voor een instabiele dijk of een dijk met kans op piping.

Ecologie en recreatie: Een palenbos biedt een hard substraat voor de vestiging van driehoeksmosselen. Driehoeksmosselen filteren het water en dragen bij aan de waterkwaliteit. De mosselen vormen een belangrijke voedselbron voor duikenden. Achter de palen en tussen de palen vinden deze vogels een golfvloed foerageergebied. Het aanbieden van hard substraat voor Driehoeksmosselen is vooral van belang voor het Markermeer. De bodem is hier zo slibrijk dat Driehoeksmosselen zich nog maar moeilijk kunnen handhaven.

Golfremmend rif/voorlanddam

Veiligheidsopgave: Ook met een rif of voorlanddam worden golven afgezwakt. Een voorlanddam/rif werkt sterk golfreducerend als deze een halve meter boven MHW uitsteekt. Een golfremmende voorlanddam reduceert alleen de golfbelasting. Het is mogelijk een alternatief ingeval een kruinhoogte tekort of onvoldoende bekleding, maar

het is geen oplossing voor een instabiele dijk of een dijk met een kans op piping. In opdracht van Werkmaatschappij Markermeer-IJmeer en DGW en in overleg met HHNK, wordt door Deltares in 2011 gekeken of een combinatie Oeverdijk en rif/voorlanddam meerwaarde oplevert voor veiligheid en natuur. Verminderde golfaanval op de oeverdijk kan leiden tot lichter ontwerp, bredere toepasbaarheid en gereduceerd onderhoud.

Ecologie en recreatie: Bij het ontwerp wordt rekening gehouden met andere functies. Het harde substraat van de voorlanddam vormt habitat aan Driehoeksmosselen en bij een open stenen structuur ook aan de Rivierdonderpad. Afhankelijk van de afstand tot de oever ontstaat een lagune met een functie als paai- en foerageergebied. Ook kan varieert worden in plaats en omvang van open verbindingen en de hoogte van de dam. Hogere delen boven water kunnen dienen als rustplaats voor vogels, maar ook als aanlegplaats voor recreatievaart.

Voorlandbank

Veiligheidsopgave: In plaats van een volledig harde constructie kan ook gekozen worden voor een breder zand/grondlichaam. Deze zandbank moet voldoende breed zijn om voldoende golfreductie te bewerkstelligen, in het geval van het IJsselmeer mogelijk orde 30 meter. Bij (zeer) flauw oplopende oevers (orde 1 op 20 tot 1 op 50) is een harde bekleding en een harde oeverbescherming niet nodig.

De voorlandbank biedt geen oplossing in geval van kans op piping en onvoldoende stabiliteit van de dijk. De bank is onder gemiddeld waterpeil gelegen en daarom is de golfremmende werking beperkt, vooral waar door opwaaiing het toetspeil veel hoger ligt dan gemiddeld waterpeil.

Ecologie en recreatie: De bank bestaat uit aarde. Afhankelijk van de hoogte en de golfbelasting kan zich riet vestigen. Rietland is broed- en foerageergebied voor (riet)vogels en paaigebied en kraamkamer voor vis. In de luwte van de voorlandbank is vestiging van waterplanten mogelijk.

Ruwe dijk

Veiligheidsopgave: Een beperkt kruinhoogte tekort kan worden opgelost door de bekleding te verruwen. Dit kan door een deel van de stenen uit te laten steken of door grotere ruwere stenen te gebruiken.

Ecologie en recreatie: Verruwing van het dijktaalud leidt boven de waterlijn niet tot meer natuurwaarden. Er is onderzoek gedaan naar het rijke dijk concept (zoute) in intergetijdengebieden. De natuurwinst van rijke dijken aan het IJsselmeer is (nog) onduidelijk. Het aanbrengen van grotere stenen op de vooroevers kan meer leefgebied voor vissen zoals de Rivierdonderpad opleveren.

2.4 Voorbeelden en kansen voor kostenbesparing

Natuurlijke keringen bieden kansen voor kostenbesparing ten opzichte van gangbare keringen:

- In aanleg kan een natuurlijke kering goedkoper zijn dan het versterken van een bestaande kering;
- Inzet van goedkope grond(stromen) maakt een natuurlijke kering al gauw goedkoper dan een gangbare kering. Voorwaarde is dat het moment dat versterking nodig is kan worden afgestemd op het beschikbaar komen van (goedkope) grond of zand;
- Een natuurlijke kering kan tegen geringe kosten verder worden versterkt en gefaseerd worden aangelegd. Voor gangbare versterking is gefaseerd versterken duur. Ingeval van onzekerheden ten aanzien van de maatgevende eisen op termijn, kan een natuurlijke kering, die wordt versterkt wanneer dat echt nodig is, goedkoper zijn. Eisen veranderen met normen, klimaatverandering en inzicht in faalmechanismen. De

meeste dijken in Nederland worden versterkt voordat de functionele levensduur is verstreken.

- Aanleg vanaf het water van een buitendijkse oplossing leidt tot minder verstoring van infrastructuur, cultuurmonumenten, woningen en bewoners in dorpen grenzend aan het projectgebied. Hierdoor worden verdere besparingen gerealiseerd.

Kostenbesparing bij aanleg

De uitgewerkte voorbeelden in bijlage II geven zicht op de kansen voor kostenbesparing in het IJsselmeergebied. Verder wordt in bijlage V nog ingegaan op de mogelijkheden voor kostenbesparing. Tabel 2.1 geeft een samenvatting van deze kansen.

Voorbeeld	Type kering	Beoordeling ten opzichte van traditionele oplossing			Kansrijkdom		Toelichting
		veiligheid	kosten	natuur en recreatie	huidig	op termijn	
IJsselmeergebied							
- Groeiend voorland Friesland	voorland	voldoende	-	kansen aanwezig	groot	groot	Een traditionele dijk scoort negatief op natuurwaarden.
- Lange Termijn IJsselmeer	hoge vooroevers/dam	gelijk	locatie afhankelijk	toename waarde	groot	groot	Kosten hangen sterk af van de locatie, soms iets duurder, soms iets goedkoper dan een traditionele versterking, wel natuurwinst.
- Vooroeversdam Wieringermeer	vooroevers	gelijk	2 tot 4 maal zo duur	geringe waarde	klein	klein	Niet geacht en daarom niet verder uitgewerkt.
- Vooroevers Oostvaardersdijk	hybride met (hoog) voorland	groter	veel duurder	toename waarde			
	hybride met (diepe) vooroevers	groter	mogelijk goedkoper	toename waarde			
- Oeverdijk Hoorn-Amsterdam	oeverdijk	slecht toetsbaar	mogelijk 20-30% goedkoper	wordt onderzocht	klein	groot	Er is perspectief, want goedkoper en met winst voor natuur en recreatie. Landschappelijke inpassing is een aandachtspunt.

Tabel 2.1 Samenvatting van ervaring bij voorbeelden in het IJsselmeergebied

Kansen voor (verdere) kostenbesparing zijn.

- Met een slank ontwerp (ondiepe vooroevers) en lage zandkosten vormt een ondiep voorland een kosteneffectief alternatief voor het verhelpen van een tekort aan kruinhoogte voor de Oostvaardersdijk, dat ontstaat bij ophogen van de norm.
- Het versterken van de instabiele dijk Hoorn-Amsterdam met een oeverdijk kan gemiddeld 30% goedkoper zijn dan een gangbare versterking. Lage zandprijzen maken de oeverdijk nog kosteneffectiever. De combinatie met een golfremmend rif kan tot nog grotere besparingen en meer natuurwinst leiden.
- Versterking van de Houtribdijk aan de Markermeerszijde in combinatie met een oermoeras is een kosteneffectieve natuurlijke oplossing;
- Uit de lange termijn verkenning voor het IJsselmeer blijkt dat op enkele trajecten voorland goedkoper is dan een gangbare versterking, ingeval van een forse peilstijging. Met een geoptimaliseerd slanker ontwerp kunnen de kosten nog lager uitvallen.

Naast mogelijke kostenbesparing zijn er bijkomende voordelen, zoals natuurwaarde, recreatiepotentie, etc.

Onderstaand wordt dieper ingegaan op kansen rondom grondstromen, wingebieden en grondprijzen.

Kansen rondom grondstromen, wingebieden en grondprijzen

Voor het noordelijke IJsselmeer is de vraag of natuurlijke keringen, in de vorm van voorland, mee kunnen groeien met een stijgend meerpeil. Men kan dan werken met grondstromen die periodiek beschikbaar komen zoals bij baggeronderhoud.

Voor de oeverdijk langs de Noord-Hollandse kust moet veel zand in een korte tijd beschikbaar komen. De vraag is of dat qua timing te matchen is met bijvoorbeeld het zand dat vrij kan komen bij de uitvoering van de bouwplannen van Almere (zie hierna). Er zijn meer (concurrerende) plannen die grond vragen, vooral voor natuurontwikkeling, zoals de geplande aanleg van een oermoeras.

Grondstromen door baggeren van vaargeulen

In het IJsselmeergebied kan grond worden benut die vrijkomt bij onderhoud van de vaargeul. Zo komt uit de vaargeulverdieping op het traject Lemmer-Meppel ongeveer 2 miljoen m³. Daarna blijft onderhoud van de vaargeul nodig. Het zand wordt meestal op de markt weggezet, zoals met de recente verdieping van de vaargeul Amsterdam-Lemmer, die grotendeels als concessies is uitgegeven.

Grondstromen vanwege stedelijke ontwikkelingen

Om het IJsselmeergebied is sprake van een stedenbouwkundige opgaven, waarvoor zand nodig is. Tot voor kort werd dit zand uit de Noordzee gehaald, zoals voor delen van Almere-Oost en ook IJburg. Er zijn plannen om zandwinning op het IJsselmeer en Markermeer weer mogelijk te maken. In het Markermeer zijn metersdikke fijnere Holecene sedimenten op Pleistocene zandlagen gelegen. Deze laatste zandlagen zijn geschikt als ophoog zand, maar de daarop gelegen Holocene lagen niet of minder. Deze Holocene lagen moeten eerst worden verwijderd. Dit zand is geschikt voor de aanleg van voorland of oeverdijken. Door aanleg van de tweede fase van IJburg komt ook ca 0,6 mln. m³ kleiige specie vrij. Ook dit materiaal kan worden gebruikt voor de aanleg van een oeverdijk.

Voor beide meren kan aangesloten worden op het ecologische programma en daarin vigerende peilstrategieën. Met voorland is de winst van een natuurlijk peilregime groter.

Grondprijzen

De prijs van zand hangt af van de afstand tot het wingebied en de aanlegwijze. Er is dus geen sprake van een enkele zandprijs. Voor het Markermeer zijn de volgende wingebieden en prijzen genoemd (zie voorbeeld oeverdijk):

- Noordzeezand 9,3 tot 14,4 euro/m³, de hoge kosten hangen vooral samen met de lange transportweg.
- Markermeerzand 7 tot 11,30 euro/m³ vooral ook afhankelijk van de aanlegwijze en aantal werkslagen.

In het project Toekomst Afsluitdijk is voor grotere hoeveelheden lokaal uit het IJsselmeer gewonnen zand uitgegaan van prijzen in de orde van 5,3 euro/m³. Dit betreft een minimaal aantal werkhandelingen, dus bijvoorbeeld niet gelaagd aanbrengen of per as verplaatsen. Bovenstaande prijzen zijn exclusief domeinvergoedingen (ad 2,2 euro/m³).

Als over het gehele traject Hoorn-Amsterdam een oeverdijk wordt aangelegd dan is hiervoor orde 18 tot 20 miljoen m³ grond/zand nodig. Dit is veel meer dan bij het onderhoud van vaargeulen beschikbaar kan komen. Een goedkope aanleg is dan mede afhankelijk van andere grondstromen. De vraag is of men het moment van dijkversterking daarvan wil laten afhangen.

2.5 Aandachtspunten en implementatiestrategieën

Aandachtspunten bij de toepassing van natuurlijke keringen zijn:

- **Formele toetsbaarheid:** deze ligt vooral bij de oeverdijk op niet geconsolideerde ondergrond gecompliceerd, het gevolg is dat het ontwerp kostentechnisch moeilijk verder geoptimaliseerd kan worden. Hetzelfde geldt voor enkele andere hybride constructies.
- **Eisen aan de constructie:** er zijn onduidelijkheden ten aanzien van de eisen die moeten worden gesteld aan fundatie, te gebruiken materialen, etc. Vaak worden conservatieve eisen gesteld die met name voor de natuurlijke alternatieven tot hoge kosten leiden, waardoor deze uit kostenoverwegingen afvallen. Ook zien we soms dat de ontwerpen niet zijn geoptimaliseerd, waardoor ze ook duurder zijn dan nodig.
- **Beheer en onderhoud:** de beperkingen die zouden kunnen voortkomen uit de natuurwetgeving baren de waterschappen zorgen. Er zijn voorbeelden waar de waterschappen bij de toetsing geen rekening willen houden met het aanwezige voorland, omdat ze niet op elementen willen vertrouwen die buiten de keur vallen. Daarom is ook in het ontwerp voor de Oostvaardersdijk door het waterschap Zuiderzeeland uitgegaan van opname in de keur en een plaatsing op een zandlichaam in een cunet, dus met dezelfde fundatie als de dijk. Er ontstaat zo wel een dure oplossing.
- **Gebrek aan kennis en informatie:** dit betreft onduidelijkheden ten aanzien van zetting en ondergrond en het golfdempende vermogen van de oeverdijk, haar stabiliteit en daarmee samenhangende onderhoudskosten. Ook het effect van zetting op de ondergrond en de gevolgen hiervan voor het grondwater zijn onzeker. Ook bij enkele constructieve oplossingen, zoals het drijvende moeras en het palenbos, zijn er onduidelijkheden over de werking en de ontwerpeisen.
- **Inpassing, landschap en cultuurhistorie:** deze vormen op meerdere plaatsen zwaarwegende argumenten om niet voor een natuurlijke kering te kiezen. Dit gaf voor het eiland Marken de doorslag om niet voor een natuurlijke kering te kiezen. De oeverdijk vormt ook geen optie voor beschermde dorps- en havengezichten op het traject tussen Hoorn en Amsterdam. Landschap en cultuurhistorie spelen geen rol bij de Houtribdijk en de nieuwe IJsselmeerdijken om Flevoland en de Noordoostpolder.
- **Vertraging besluitvorming en aanleg:** dit speelt o.a. een rol bij de discussie over de oeverdijk tussen Hoorn en Amsterdam. Door onzekerheden die spelen rond de toetsing en de optimalisatie van het ontwerp dreigt vertraging. Ook als men wil wachten op het vrijkomen van goedkope grond, moet met aanzienlijke vertraging rekening worden gehouden, wat niet past binnen het HWBP. Ook vinden enkele partijen dat er geen tijd is om te wachten op een formeel goedgekeurd toetsprotocol.

Er komt in het IJsselmeergebied grond vrij bij het baggeren van vaargeulen en bij het verwijderen van de holocene deklaag gelijk met de winning van pleistoceen ophoogzand voor stedelijke uitbreidingen. De aanleg van een oeverdijk vraagt veel meer zand dan uit vaargeulonderhoud beschikbaar komt. Gebruik van de holocene deklaag voor dijkversterking kan niet wachten op de stedelijke ontwikkeling van Almere. Wel is denkbaar dat deze holocene deklaag alvast wordt verwijderd ten behoeve van dijkversterking en dat daarbij afspraken worden gemaakt over de verrekening. Bij buitendijkse stedelijke ontwikkeling is waarschijnlijk een fysieke (natuur)compensatie vooraf nodig. Dit zou voor een deel in de vorm van een oeverdijk kunnen.

Het materiaal dat vrijkomt uit het vaargeul onderhoud kan worden ingezet voor de aanleg van voorland. Op dit moment wordt dit zand commercieel weggezet op de markt. Derving van deze inkomsten zal worden verrekend via de prijs van het zand.

Het combineren van een oermoeras met een golfremmend voorland ligt voor de hand voor de Houtribdijk. De vraag is daarbij vooral hoe de kosten verdeeld worden tussen veiligheid en natuurontwikkeling.

Belangrijk voor de zandprijs is de wijze van aanleggen. Als laag voor laag moet worden aangebracht, bijvoorbeeld op locaties met zettinggevoelige ondergrond, dan leidt dat tot extra kosten. Op enkele plaatsen op de loefzijde kan mogelijk worden gewerkt met zandsuppleties, die op ondiep water worden geplaatst, waarna golven het zand verder naar de kust transporteren. De aanleg is zo goedkoper maar men moet meer geduld hebben. Een grotere zandsuppletie kan als golfremmend zandlichaam op enige afstand van de bestaande dijk kan worden aangebracht. Deze aanleg wijze kan dan ook op kortere termijn al extra veiligheid bieden daar waar de veiligheidsopgave beperkt is, zoals bij de Oostvaardersdijk.

2.6 Samenvattend: perspectief en maatwerk

In het IJsselmeergebied liggen kansen voor natuurlijke keringen en daarmee kansen voor kostenbesparing en meerwaarde voor natuur en recreatie. Verschillende typen natuurlijke keringen zijn mogelijk. Sprekende voorbeelden zijn de voorlanden in het IJsselmeer en de oeverdijk in het Markermeer. Het benutten van deze kansen vraagt formele toetsbaarheid van natuurlijke keringen, zodat deze slanker worden ontworpen tegen lagere kosten. Mogelijkheden voor het slim gebruiken van goedkope grondstromen zijn aanwezig in het gebied en bieden verdere kansen voor kostenbesparingen. Het benutten van deze kansen vraagt om afstemming tussen partijen en voldoende tijd en daarmee minder strikte deadlines voor dijkversterking.

3 WADDEN EN ESTUARIA

3.1 Kenmerken: ecologie en morfodynamiek

Wadden en estuaria worden gekenmerkt door dynamische kusten. Morfologische dynamiek en meerjarige trends zijn van grote invloed op de ontwikkeling van natuurlijk voorland. Het sturen van deze processen, maar ook het kustonderhoud, kan niet los worden gezien van de inzet van natuurlijke keringen. Voor zandige kusten gaat het om behoud van strand en vooroever door middel van suppleties. Voor slibbige kusten gaat het om behoud van kwelders en platen en op afstand houden van geulen.

Morfodynamiek van zand en slib

Wadden en estuaria worden gekenmerkt door de vorming van zandplaten, kwelders en schorren en de ontwikkeling van geulen. Morfologische processen worden beïnvloed door transport en afzetting van zand en slib, ecologische processen en biogene structuren. Door de aanwezigheid van slib komt het zand in het binnengebied niet tot stuiven en ontbreekt het proces van natuurlijke duinvorming grotendeels. De kust van het vasteland en aan de binnenzijde van de eilanden wordt gedomineerd door de aanwezigheid van geulen en platen; golfgedreven zandtransport komt minder voor.

Op plaatsen met meer golfenergie, zoals de eilandkusten, de buitendelta's, de Voordelta en plaatsen zoals de Banjaard, die voor de monding van de Oosterschelde is gelegen, komt meer golfgedreven transport voor. Hier passen meer zandige kustverdedigingstrategieën, (zie o.a. discussie over inzet zandmotor voor de Banjaard). Plaatsen verder van de zeegaten en dieper in de Waddenzee, de estuaria, worden gedomineerd door getijgedreven transport. Er kunnen enkele deelgebieden worden onderscheiden zoals de **Wadden**, de **Westerschelde**, de **Oosterschelde**, maar ook de buiten/voordelta's die veel zandiger zijn, zoals de kust van **Zeeuws Vlaanderen** en Voorne.

Benthos en plaatranden

De intergetijdzone en vooral de randen van platen zijn het domein van oesters en mosselen. Dit zijn organismen die hun voedsel uit langsstromend water filteren. Oesters en mosselen hechten aan de ondergrond en vooral ook aan elkaar. Oester- en mosselbanken kunnen gemiddelde golfcondities goed aan en zorgen voor stabiele plaatranden. Niet te zware stormen (tot windkracht 8 en 9) kunnen ze goed doorstaan. Daarnaast wemelt een intergetijdgebied van het bodemleven, dat sedimenteigenschappen, zoals samenstelling en erodeerbaarheid beïnvloedt, en dient als voedsel voor hogere organismen, zoals vogels.

Natuurlijk proces van kweldervorming

Een belangrijk proces in estuaria en wadden is de vorming van kwelders/schorren. Dit proces is uitvoerig bestudeerd, vooral in het waddengebied. Kwelders ontstaan op (zand)platen achterin de kommen. Bij een bepaalde hoogte van de plaat wordt de invloed van stroming en golven minder en kan slib tot afzetting komen. Er ontstaan kleinere afwateringsgeulen, waarmee de drainage van de bovengrond lokaal verbetert. Hierdoor kunnen zich de eerste planten vestigen. De aanwezige vegetatie versnelt de afzetting van slib. Een lage kwelder inundeert tweemaal daags waarbij veel slib wordt afgezet. Hoge kwelders inunderen alleen bij hoge waterstanden en slibben nog maar weinig op. Een kwelder groeit door slibafzetting in de regel niet hoger dan ca. 30 cm boven springvloedniveau. Het materiaal boven springvloedniveau komt tot afzetting bij stormen en vanwege golfoploop.

Sturen en stimuleren van kweldervorming

Met kwelderwerken wordt kweldervorming gestimuleerd en kweldergroei versneld. Een kwelderwerk is een constructie van rijshoutenschermen, die golfluwe situaties biedt waardoor het slib beter tot afzetting kan komen. Kwelderwerken waren oorspronkelijk een vorm van landaanwinning. De huidige kwelderwerken zijn allemaal beschermd natuurgebied en worden niet meer ingedijkt.

Migratie van geulen

Natuurlijk proces van geulmigratie

Binnen wadden en estuaria zijn platen en geulen voortdurend in beweging. Veelal gaat het daarbij om langjarige trends. Een geul zoekt altijd een evenwicht tussen waterbeweging en natte doorsnede. Zo zoekt de Waddenzee nog steeds een nieuw evenwicht na afsluiting van de Zuiderzee, waarbij het Marsdiep wint aan invloed en haar beïnvloedingsgebied langzaam oostwaarts loopt. Het wantij, de scheiding tussen de invloedsgebieden van naburige zeegaten, is een ondiepe zone zonder doorlopende geulen. Het (onvolledige) wantij tussen Marsdiep en Vlie ligt nu ca 10 km westwaarts van Harlingen en loopt nu richting Harlingen.

Langjarige trends zijn ook aanwezig in de buitendelta's, die als zandbuffers voor de kommen fungeren. Ook de Voordelta, het buitengebied van de Zuidwestelijke Delta, transformeerde na de (gedeeltelijke) afsluiting van de zeegaten. De Oosterschelde heeft sinds de bouw van de kering te kampen met een zandtekort, ontstaan doordat de geulen te groot zijn voor de gereduceerde getijbeweging en zand 'lenen' van de platen. Omdat de kering nauwelijks zand doorlaat, wordt deze 'lening' niet afgelost met zand van buiten en dreigt een groot deel van het intergetijdengebied voorgoed te verdwijnen.

Op kleinere schaal is de migratie van geulen een aandachtspunt, vooral ook voor het kustonderhoud en daarmee ook voor de kustveiligheid. Voorbeeld is de Doove Balg, een grote getijdengeul die richting de Afsluitdijk beweegt. In de Oosterschelde was geulmigratie vroeger de oorzaak van de beruchte dijkvallen.

Sturen van geulmigratie

Sommige getijdengeulen fungeren als vaargeul. Deze worden periodiek gebaggerd om de geul op diepte te houden en soms verdiept om grotere schepen te kunnen accommoderen. Het baggeren leidt tot een morfologische reactie van de geul. Na baggeren is een geul groter dan nodig voor transport van water en sediment en slibt hij dicht. Migratie van de geul wordt vaak tegengaan door zand aan de rand van de geul te suppleren. Dit kan worden beschouwd als een onderhoudssuppletie. Vooral in de Westerschelde is het stortbeleid kritisch voor de ontwikkeling van het plaat-geul systeem en een punt van aandacht. Men kan echter ook op andere wijze de ligging van een geul sturen, bijvoorbeeld door andere geulen te verdiepen en zo de stroomvoerende functie te laten overnemen. De oude geul gaat dan dichtslibben (zie ook voorbeeld de Banjaard). Het (getij)stroomgedreven zandtransport neemt af en golfgedreven transport krijgt de overhand. Afhankelijk van de situatie beweegt er meer zand naar de kust, waardoor het kustonderhoud afneemt en ook de veiligheid kan toenemen.

Ecologisch functioneren

Er is sprake van een duidelijke relatie tussen platen, kwelders/schorren en geulen. Zo zorgen kwelders en schorren voor de invang van slib, de laagdynamische ondiepe gebieden vormen een paai- en opgroeigebied voor jonge vis, de slikken, platen en kwelders vormen een foerageergebied voor vogels.

In de Oosterschelde gaat ten gevolge van de 'zandhonger'-problematiek niet alleen het areaal aan intergetijdengebied achteruit, ook wordt de bovenkant van de platen vlakker.

Hierdoor lopen de platen in korte tijd onder en hebben de vogels minder foerageertijd. Vooral in de winter kan dit kritisch zijn.

3.2 Veiligheidsopgave

De veiligheidopgave verschilt van plaats tot plaats. In het gehele gebied moet rekening worden gehouden met zeespiegelstijging. In de ontwerprandvoorwaarden voor de keringen wordt doorgaans rekening gehouden met een zeespiegelstijging van ca 60 cm per eeuw. Dit is minder dan de maximale bandbreedte zoals aangegeven in de deltascenario's met maximaal een stijging van 85 cm in 2100.

Op diverse plaatsen is een tekort aan hoogte van dijken en speelt een bekledingsprobleem. Verder bestaat op verschillende plaatsen een probleem met geulen die richting de kust bewegen. Eroderende kwelders en het verdwijnen van platen zorgt voor minder ondiep voorland en dus minder golfremming.

Afsluitdijk (zie voorbeeld Waddenwerken aan de Afsluitdijk)

De veiligheidsnorm voor de Afsluitdijk is recent verhoogd naar een kans van voorkomen van de maatgevende condities van 1/10.000 per jaar. De Afsluitdijk heeft daardoor een hoogtetekort en bekledingsprobleem. Het tekort in kruinhoogte is in de orde van 3 à 4 meter.

Voor de Afsluitdijk is de Doove Balg gelegen, een grote getijdengeul die langzaam richting Afsluitdijk migreert. Op dit moment wordt het ontwerp gemaakt voor aanvullende spuicapaciteit (ESAI), waarin strekdammen worden voorzien die de Doove Balg op afstand van de Afsluitdijk houden. De geul zelf wordt gebruikt als nieuw lozingspunt voor het spuiwater.

Waddendijken Friesland en Groningen (zie voorbeeld Waddendijken)

De veiligheidsnorm voor de waddendijken van Friesland en Groningen betreft maatgevende condities met een kans van voorkomen van 1/4.000 per jaar. In de derde toetsing zijn de hydraulische randvoorwaarden met ongeveer een halve meter verhoogd en zijn ook de eisen aan de bekleding aangescherpt. Op veel plaatsen is de dijk voorzien van een asfaltbekleding die niet meer voldoet.

Dijken Waddeneilanden (zie voorbeeld Texel).

De veiligheidsnorm voor de dijken van de Waddeneilanden bedraagt 1/2000 per jaar (op Texel 1/4.000 per jaar). Deze dijken hebben plaatselijk een beperkt hoogtetekort. Nabij het Horntje op Texel moet bij dijkverzwaring rekening worden gehouden met een diepe migrerende geul, de Texelstroom. Er is een alternatief in discussie dat uitgaat van een zachte versterking waarbij ook de geul op afstand wordt gehouden.

Dijken Westerschelde (zie voorbeeld schorbuffers/Perkpolder)

Belangrijk voor de Westerschelde is de relatie tussen vaargeulverdieping, platen en schorren. Op enkele plaatsen in de vaargeul komen drempels voor die periodiek worden gebaggerd. Tot enkele jaren geleden werd het zand dat hierbij vrijkomt verder westelijk in de Westerschelde neergelegd en was er een trend zichtbaar in afname van plaatareaal. De laatste tijd wordt dit materiaal lokaal gestort en ziet men de platen weer aangroeien en omhoog komen, in sommige gevallen zelfs met schorvorming bovenop. De aangroei van platen helpt bij het in standhouden van het voorland van de dijken. Bij versteiling en verdieping van dit voorland kan echter de veiligheidsopgave voor de dijken toenemen. Het Waterschap Scheldestromen heeft hiertoe o.a in Perkpolder al met het concept van de schorbuffer gewerkt.

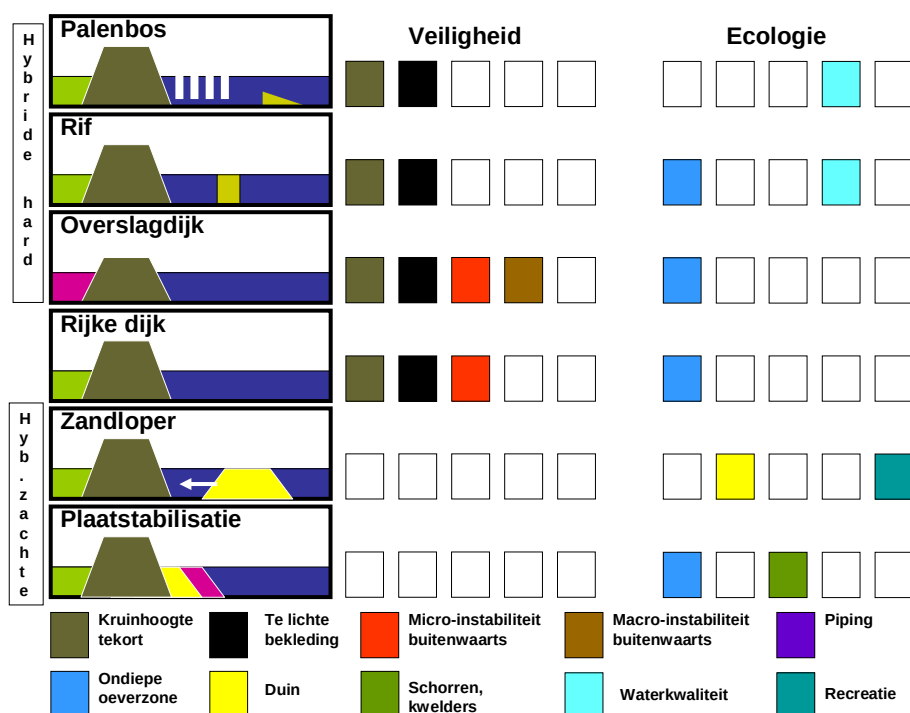
Dijken Oosterschelde (zie voorbeeld Oesterdam)

De dijken om de Oosterschelde zijn oude zeedijken. Er is doorgaans geen sprake van een hoogtekort. Dat ligt anders voor de nieuw aangelegde Oesterdam. Deze heeft een tekort aan hoogte. Verder is de zandhonger een belangrijk aandachtspunt. Als gevolg hiervan eroderen kwelders, voorland en platen en neemt de golfbelasting op de dijken toe.

Voordelta: Zeeuws-Vlaanderen, Voorne, Goeree

Voor Zeeuws Vlaanderen en de Zeeuwse en Hollandse Eilanden geldt een veiligheidsnorm van 1/4000 per jaar. De veiligheidsopgave is zeer verschillend. Voor de kust van Zeeuws Vlaanderen is op veel plaatsen sprake van een hoogtekort tussen de 1 en 4 meter. Ook is meestal sprake van onvoldoende bekleding. Deze trajecten worden op dit moment versterkt als Zwakke Schakel of als onderdeel van het project Zeeweringen. Er zijn enkele dijken, zoals langs de Verdrongen Zwarte Polder, die achter een breder intergetijdengebied zijn gelegen en zijn goedgekeurd.

Belangrijk voor de Voordelta is de dynamiek van platen en geulen. Op enkele plaatsen zijn geulen vlak voor de kust gelegen en hebben deze invloed op het kustonderhoud maar ook op de gekozen veiligheidsoplossing. Er zijn oplossingen voor verschillende zwakke schakels ontwikkeld, o.a. Het Flauwe Werk (dijk in zand), de Kop van Voorne (suppletie), Walcheren en Zeeuws Vlaanderen (een combinatie met oplossingen dijk “verduinen”, “duin voor dijk” en voor Waterdunen ook een landwaartse oplossing: “duin achter dijk” in combinatie met de aanleg van een intergetijdengebied).



Figuur 3.1 Schematisch overzicht typen natuurlijke keringen, gekoppeld aan dijken en platen, voor de Wadden en estuaria (inkleuring van de vakjes betekent verbetering van het desbetreffende aspect).

3.3 Typen natuurlijke keringen in relatie tot veiligheidsopgave en ecologie

De volgende typen natuurlijke keringen kunnen voor wadden en estuaria worden onderscheiden:

1. Riffen, geulwand- en plaatrandstabilisatie met ecosystem engineers
2. Zandlopers, morfologisch baggeren en suppleren
3. Kwelders en schorren als voorland
4. Strand en duinen voor, achter en in plaats van dijken
5. Rijke dijken

3.3.1 Riffen, geulwand- en plaatrandstabilisatie met ecosystem engineers

Figuur 3.1 laat een schematisatie zien van de typen natuurlijke keringen, gekoppeld aan dijken en platen, voor de Wadden en estuaria.

Riffen als 'golfbreker' voor dijken

Veiligheidsopgave: Dit type is bij de zwakke schakels niet verder verkend. Wel is er verkennend onderzoek geweest naar de inzet van een kunstrif voor de kust van Zuid-Holland. Dat bleek per saldo niet tot een kosteneffectievere oplossing te leiden. Dit neemt niet weg dat een kunstrif op bepaalde plaatsen een betere oplossing kan zijn, bijvoorbeeld daar waar het versterken van een dijk tot grote inpassingproblemen kan leiden, zoals in badplaatsen. Voor de Noordzee moet rekening worden gehouden met erg hoge toetspeilen. Alleen een hoog kunstrif leidt bij maatgevende condities golfremmend. Op dieper water is dan een groot grondlichaam en veel dure bekleding nodig. Bovendien werken riffen onder normale omstandigheden sterk golfremmend, wat gevolgen kan hebben voor de recreatie (zandstrand). In situaties met een lager toetspeil, zoals in de Oosterschelde, kan een hooggelegen plaat al effectief de golf remmen en reduceren.

Ecologie en recreatie: Plaatstabilisatie en herstel van het plaatreliëf spaart ook natuurlijk habitat. Droogvallende platen zijn van belang voor foeragerende vogels en vormen een rustgebied voor zeehonden.

Plaatrandstabilisatie met ecosystem engineers

Veiligheidsopgave: Stabilisatie van bestaande platen draagt bij aan behoud van het voorland voor de dijk. In de Oosterschelde is onlangs een grootschalige proef uitgevoerd waarin met nieuw aangelegde oesterriffen (substraat voor nieuw te vormen oesterbanken) erosie van intergetijdengebied wordt voorkomen. Idealiter vindt zelfs plaataangroei plaats, waardoor dijken op termijn minder worden belast door golven en de dijkteen minder last heeft van erosie.

Na een eerste proef met blokken van biologisch verkit zand zijn vorig jaar schanskorven met daarin schelpen aangelegd. Oesters en ook mossels hechten goed op schelpen. De eerste resultaten van een kleine pilot zijn veelbelovend. Er is veel broedval van nieuwe oesters en naar verwachting ontstaat een levende schelpenbank. Achter de kleine riffen wordt zand vastgehouden. Het is nog te vroeg voor uitspraken over de erosieremmende werking van de schelpenbanken op grotere schaal.

Plaatstabilisatie heeft geen directe relatie met de primaire kering. Elke dijk staat echter op zand en een stabiele vooroever is van belang voor de stabiliteit van het dijklichaam. Een hoge plaat werkt daarnaast golfremmend, wat gunstig is voor beheer en onderhoud. Bij voldoende hoogte reduceert een plaat de golfbelasting op de dijk bij maatgevende omstandigheden (zie ook kwelders en schorren).

Ecologie en recreatie: Behoud van droogvallende platen is behoud van habitat voor bodemleven en foerageergebied voor vogels.

Mosselgroynes (zie voorbeeld Banjaard)

Veiligheidsopgave: Deze mogelijkheid werd geopperd in een werksessie over de Banjaard. Het is een alternatief voor geulwandsuppletie. Een mosselgroyne bestaat uit palen met daartussen hangende netten waaraan zich mosselen kunnen vestigen. Deze constructies leiden tot plaatselijke stroomvertraging waardoor verder landwaarts uitschuren van de geul wordt vertraagd, of zelfs gestopt. Bij plaatselijke aanzanding kunnen de

mosselgroynes worden verplaatst of uitgebreid, zodanig dat de geul telkens verder zeewaarts opschuift. Tijdelijk minder goed functioneren van de constructie heeft geen directe gevolgen voor de veiligheid, zodat het systeem mogelijk op commerciële basis door de mosselsector kan worden geëxploiteerd.

Ecologie en economie: De mosselgroynes filteren water en leveren een bijdrage aan de waterkwaliteit. Verder dienen ze mogelijk een economisch belang, direct (exploitatie door mosselsector) of indirect (recreatie op breder strand).

3.3.2 Zandlopers, morfologisch baggeren en suppleren

Platen verhogen (zie voorbeeld Oosterschelde)

Veiligheidsopgave: Vooral in de Ooster- en Westerschelde hebben platen een belangrijke golfremmende functie. Voor de Oosterschelde speelt, behalve bij de Oesterdam, geen kruinhoogte tekort. Wel zijn er veel dijken langs de Oosterschelde met onvoldoende bekleding. Door het ophogen van platen kan de golfremmende werking worden vergroot. Het voorbeeld voor de Oosterschelde geeft aan dat dit voor een groot deel van de dijken goedkoper is dan een gangbare versterking van de bekleding. Platen los van de oever reduceren de golfbelasting, maar vormen geen oplossing voor problemen met de stabiliteit van een dijk of een kans op piping.

Ecologie en recreatie: Behoud van plaatareaal en -reliëf is behoud van foerageergebied.

Zandloper (zie voorbeeld Banjaard)

Veiligheidsopgave: Op meerdere plaatsen zijn in de Zeeuwse Delta en in het Waddengebied getijdengeulen dicht onder de kust gelegen. Met veel moeite worden de getijdengeulen op afstand gehouden, vooral met (geulwand)suppleties. In de geulen treedt vooral zandtransport op door stroming. Door het plaatselijk dempen van getijdengeulen wordt de stroming uitgeschakeld en wordt golfgedreven transport het belangrijkste transportmechanisme voor zand. De plaat beweegt daarbij langzaam in de richting van de kust. Dit proces kan worden versneld door de geul te verondiepen. Er wordt in feite een soort “zandloper” gecreëerd, waardoor een voor de veiligheid gunstige ligging van platen en geulen ontstaat. Het dempen van de getijdengeul wordt gecompenseerd door een geul verder van de kust te verruimen. Het zand dat daarbij vrij komt, wordt gebruikt voor het plaatselijk dempen van de geul dicht bij de kust. Een “zandloper” draagt bij aan behoud van vooroever en strand en daarmee aan de veiligheid.

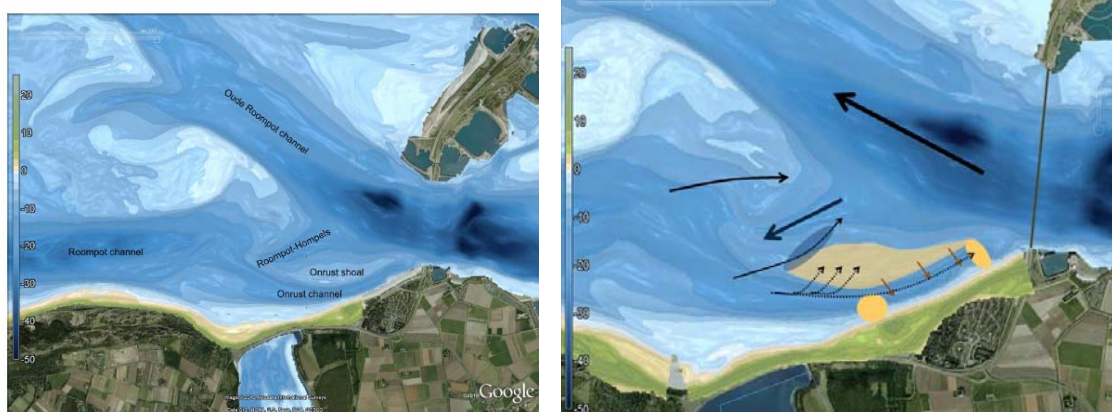
Ecologie en recreatie: Het verschuiven van platen is beperkt van invloed op het areaal aan platen en geulen. Een breder strand kan leiden tot de aangroei van duinen wat afhankelijk van de plaats kan leiden tot een verdere versterking van aanwezige natuurgebieden en/of ecologische verbindingen.

3.3.3 Kwelders en schorren als voorland

Voor grote delen van de Friese en Groningse kust liggen kwelders tegen de dijk (zie voorbeeld kwelders Friese/Groningse kust). Deze kwelders reduceren plaatselijk (ook nu al) de golfenergie. De vraag is of dat plaatselijk voldoende is om versterking van de dijk uit te kunnen stellen of de dijk voor verdere verzwakking te kunnen behoeden. De huidige toetspeilen in het Waddengebied liggen tussen de 5 en 6 meter boven NAP. Een kwelder kan maximaal aangroeien tot 30 cm boven het springvloedniveau. De maximale hoogte van de kwelders ligt meestal tussen NAP + 1,6 m en NAP+1,9 m. Bij maatgevende omstandigheden staat er daarom nog circa 3 tot 4,5 meter water boven de kwelders. Dit is veelal te diep om de maatgevende golf (in de orde van 2,2 meter) te kunnen verlagen.

De Banjaard: een zandloperoplossing

Handhaven van de kustlijn door een opdringende geul richting kust: Zandloperoplossing



Figuren: links de ligging van polder de Banjaard en de Onrust geul. Rechts de voorgestelde ingreep: twee suppleties die de geul dichtknijpen. Het sediment komt uit een meer zeewaarts gelegen vloedgeul, die daarmee verruimd wordt. Door de gedeeltelijke afsluiting van de geul de Onrust neemt de stroomsnelheid hierin af en verzandt de geul. De stroming verplaatst zich naar de noordelijke geul. Hierdoor verplaatst de tussenliggende zandplaat zich richting de kust.

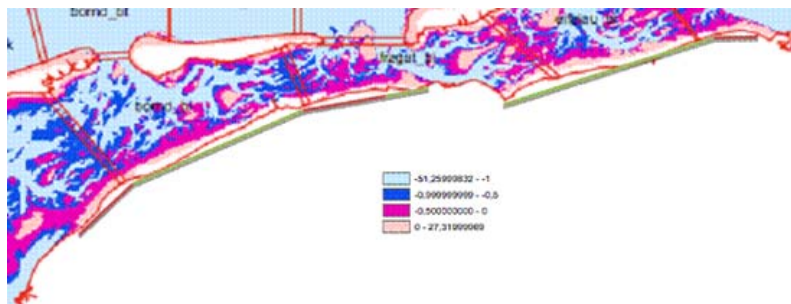
Op verschillende plekken in Nederland speelt het probleem van kustwaarts opdringende geulen. De kustveiligheid komt hierdoor in het geding. Dit probleem speelt onder andere bij polder de Banjaard in Zeeland. De oorspronkelijke oplossing van dit probleem is continu suppleren met zand. Binnen het programma Building with Nature is een andere oplossing voor het bovengenoemde probleem bedacht, met modelberekeningen ondersteunt door Deltares. De essentie van deze oplossing is te zorgen dat de geul ondieper wordt en de zandbank de geul niet meer tegen de kust aandrukt. In dit ontwerp wordt dit bewerkstelligd door aan het begin en aan het einde van de geul suppleties van beperkte omvang (elk circa 1 miljoen m³) aan te brengen. Het zand daarvoor wordt gewonnen aan de zeewaartse kant van de zandbank. Door de lagere stroomsnelheden in de Schaar van de Onrust zal hier sedimentatie optreden en de stroming verder afnemen. Het natuurlijke proces, het opschuiven van de zandplaat richting de kust, zal daarmee versneld worden.

In deze oplossing wordt met een beperkte ingreep met natuurlijke processen een grote hoeveelheid zand versneld naar de kust gehaald. De bijbehorende tijdschaal (jaren tot decennia) heeft als voordeel dat de levende natuur dit kan bijhouden. Deze tijdschaal is hier acceptabel omdat het probleem niet urgent is. Mochten er op korte termijn wel problemen ontstaan met de handhaving van de basiskustlijn, dan kan een kleine extra strandsuppletie aangebracht worden.

Bij stijgen van de zeespiegel groeit de kwelder met het toetspeil mee. De kwelder behoudt zijn golfremmende werking. Het toetspeil stijgt echter ook en bij gelijkblijvende golfvloed moet de kruinhoogte van de dijk verder omhoog. Er ontstaan dan situaties waarin de kwelder onvoldoende golfremming levert en andere maatregelen nodig zijn. Gedacht kan worden aan het kunstmatig verhogen van het achterste deel van de bestaande kwelder (zie onder) in combinatie met kweldercompensatie elders. De dijk wordt breder en minder steil, maar ten koste van (verouderd) kwelder areaal. Bij grootschalige toepassing nemen ook oppervlakte en vloedvolume van de kom af. De geulen worden dan te ruim en verzanden, waarbij erosie van platen en kwelders optreedt.

Kwelders langs de Waddenkust

Op plaatsen met kwelders zijn de dijken lager en met nieuwe kwelders kan dijkverhoging op een kosteneffectieve wijze worden uitgesteld.



Intergetijdeplaten op verschillende hoogten tussen Harlingen en Delfzijl ten opzichte van NAP (tussen 0 en – 0,5 meter (paars) en tussen –0,5 en –1,0 meter (donker blauw). Langs de groene lijnen zijn kwelderwerken gelegen. Bron: RIKZ

Kwelders hebben een golfremmende werking, vooral onder gemiddelde omstandigheden, waardoor de golfaanval op de dijk minder is dan op plaatsen waar kwelders ontbreken. Hierdoor is minder dijkonderhoud nodig. Langs ca. 66 km van de Groningse en Friese vastelandkust (groene lijnen in bovenstaande kaart) en langs de Dollard liggen kwelders. Hieraan kan ca. 20 km worden toegevoegd. Langs de bruine lijnen in bovenstaande kaart is kweldervorming wellicht mogelijk op intergetijdeplaten (paarse lijnen) rond gemiddeld hoog water (vanaf ca. 0,8 tot 1 m +NAP). Hiervoor is aan de voet van de dijk een verhoging met 1 tot 1,5 m vereist. De meest westelijke locatie biedt de beste kans op kweldervorming door plaatsen van rijshouten schermen. Langs de beide andere bruine lijnen is in het verleden met wisselend succes getracht kweldervorming te initiëren. Kweldervorming is hier wellicht mogelijk, bijvoorbeeld door ophogen van het voorland tot gemiddeld hoog water met een helling van ca. 0,5%. Overwegingen om hier kwelderwerken aan te leggen kunnen zijn een kosteneffectieve waterkering, het verlengen van de levensduur van de dijk, natuurontwikkeling, of een combinatie. Maatwerk is nodig afhankelijk van de huidige staat van de dijk, de plaatselijke hydrologische en geomorfologische situatie, de wenselijkheid en de praktische mogelijkheden van kwelderaanleg. Ook moet rekening worden gehouden met sociaaleconomische en bestuurlijk-juridische randvoorwaarden.

In figuur 3.2 staan de typen natuurlijke keringen schematisch weergegeven die gekoppeld zijn aan kwelders.

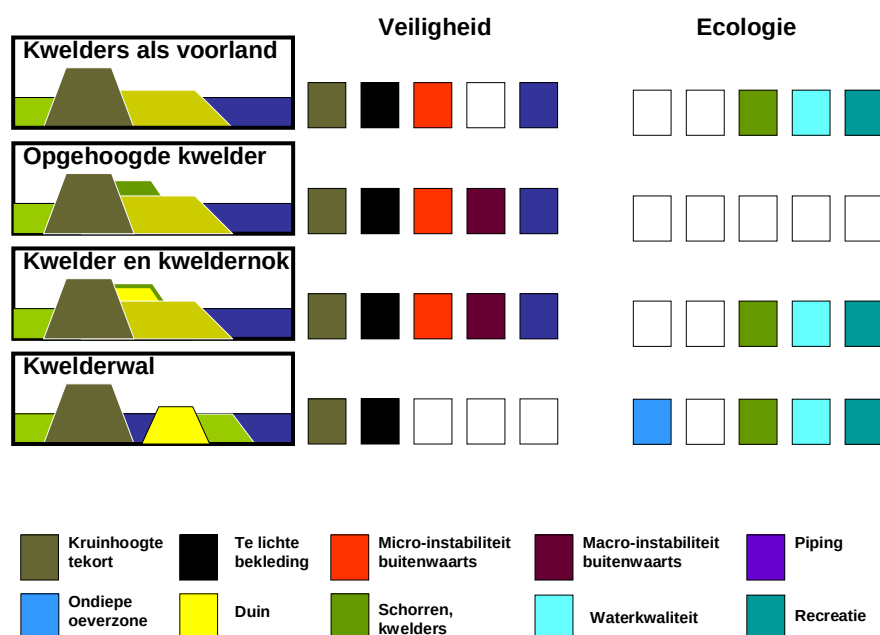
In de Westerschelde is het verschil tussen springvloedniveau en toetspeil bij maatgevende omstandigheden groter dan in de Waddenzee. Hier kunnen schorbuffers dus een iets minder grote rol spelen. Voor de Oosterschelde is het verschil juist kleiner, maar de oude zeedijken hebben hier geen kruinhoogte tekort. Bij de Oesterdam is de situatie echter anders (zie inzet in par. 1.4.4).

Verhoogde kwelder

Veiligheidsopgave: Op enkele plaatsen waar een kwelder is gelegen is de kruinhoogte van de dijk hier op aangepast. Bij stijgende zeespiegel groeit de kwelder mee, maar onvoldoende om een tekort aan kruinhoogte te kunnen voorkomen. De kwelder moet in feite verder omhoog dan deze van nature kan aangroeien. De bestaande kwelder kan hiervoor worden opgehoogd met klei. Waarschijnlijk is het voldoende om de achterste 100 meter van de kwelder op te hogen, maar dit is afhankelijk van de kenmerken van de maatgevende golf en moet per plek worden bepaald.

Ecologie en recreatie: Het opgehoogde deel van de kwelder verliest haar kenmerken als kwelder. De zee is niet langer van invloed bij een verhoging van enkele decimeters. Karakteristieke zoutminnende planten verdwijnen en de ecologische kwaliteit neemt af. Compensatie voor verlies aan bestaande natuurwaarden is nodig en mogelijk in de vorm

van uitbreiding van (jong) kwelderareaal elders. Dit kunnen ook weer plaatsen zijn waar de aanleg van nieuwe kwelders bijdraagt aan de veiligheidsopgave.



Figuur 3.2 Schematisch overzicht typen natuurlijke keringen, gekoppeld aan kwelders, voor de Wadden en estuaria (inkleuring van de vakjes betekent verbetering van het desbetreffende aspect).

Kwelderwal (zie voorbeeld Kwelderdam Delfzijl)

Veiligheidsopgave: Voor de havendam van Delfzijl is door Deltares in het kader van het Marconi-project uitgebreid gerekend aan een natuurlijke zachte kering (de kwelderwal) bestaande uit kwelders en duin. Ook in deze situatie reiken de kwelders maar tot ongeveer NAP+1,65 meter, terwijl de wal doorloopt tot NAP+6,0 meter. De kwelders hebben een beperkte rol in het beperken van de golfoploop en dienen vooral als stabiel voorland voor de havendam.

Ecologie en recreatie: Aanleg van nieuwe kwelders kan positief zijn voor een natuurgebied als de Wadden, maar alleen als de nieuwe kwelders passen binnen de instandhouding- en verbeteringsdoelstellingen. De ondiepe oeverzone waarop de nieuwe kwelder wordt aangelegd heeft nu ook een belangrijke natuurwaarde en ecologische functie en een beschermde status.

Kwelder en kweldernok/ duin als zachte kering (zie voorbeeld WaddenWerken voor de Afsluitdijk)

Veiligheidsopgave: Deze mogelijkheid is uitgewerkt in het project Toekomst Afsluitdijk. De maatgevende waterstand voor de Afsluitdijk is te hoog om voldoende golfreductie met alleen een kwelder te realiseren. Daarom is een combinatie met een zandlichaam noodzakelijk en werkt de oplossing zoals een duin. Bij een duin wordt (vrijwel) geen rekening gehouden met golfoploop. Het duin is daarom lager dan de kruinhoogte van de dijk. Duinen horen echter niet thuis in de Wadden. In het project WaddenWerken is het zand afgedekt met klei. Er ontstaat zo een kweldernok begroeid met gras, met de kenmerken van een Waddendijk. Afhankelijk van de uitvoering biedt deze kweldernok een oplossing voor een kruinhoogte tekort maar ook voor onvoldoende bekleding en stabiliteit.

Door het aanbrengen van zand wordt ook gewicht op de dijk geplaatst. Dit kan leiden tot zetting en instabiliteit van het bestaande dijklichaam. Als dit een rol speelt kan worden

gekozen voor een duin voor dijk oplossing, waarbij het duin zo ruim wordt aangelegd dat de afslaglijn binnen het duin is gelegen. De dijk verliest daarmee haar functie als primaire kering en er worden dan minder strenge eisen aan de stabiliteit van het dijklichaam gesteld.

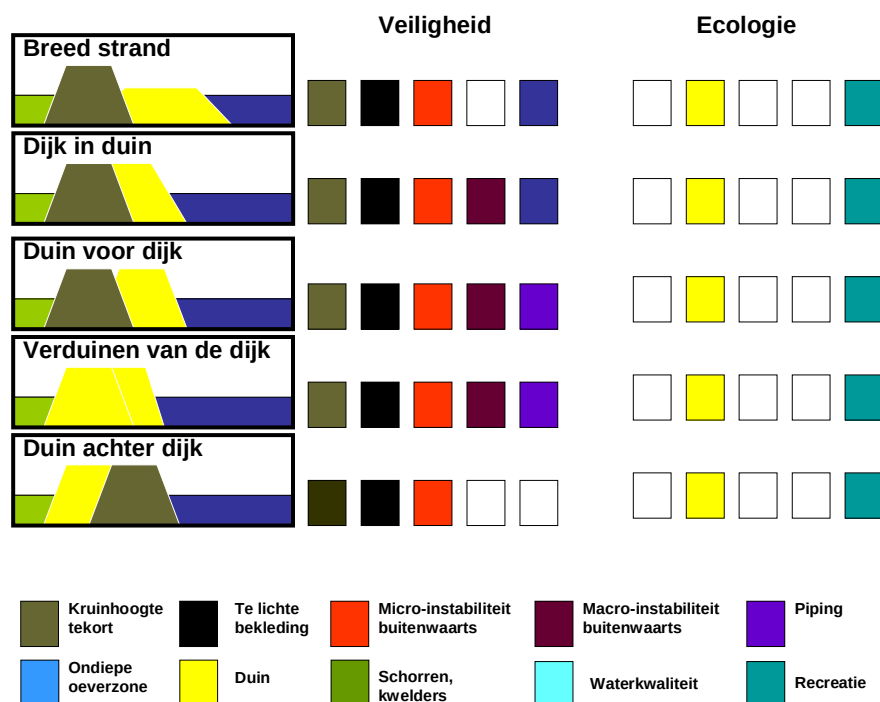
De kweldernok/duin kan ook op enige afstand van de dijk worden geplaatst, waardoor er minder gewicht op het bestaande dijklichaam rust.

Ecologie en recreatie: Een kwelder past in een waddenmilieu. Een duin is echter een vreemd habitat voor een waddenkust. Vanwege het slib komt zand vrijwel niet tot stuiven en ontbreken duinen aan de Waddenkust. Anders dan aan de Noorzeekust zal een duin in het Wad niet door natuurlijke processen in stand worden gehouden.

De kweldernok/duin gaat dus ten koste van prioritaire waddenmilieus en leidt in de zin van de natuurwetgeving dan ook tot negatieve effecten. In het ontwerp WaddenWerken is daarom gezocht naar kwaliteitsverbetering van het habitat “permanent overstroomde zandbanken”.

3.3.4 Strand en Duinen voor, achter en in plaats van dijken

In figuur 3.3 staan de typen natuurlijke keringen schematisch weergegeven die gekoppeld zijn aan dijken en duinen.



Figuur 3.3 Schematisch overzicht typen natuurlijke keringen, gekoppeld aan dijken en duinen, voor de Wadden en estuaria (inkleuring van de vakjes betekent verbetering van het desbetreffende aspect).

Brede stranden

Veiligheidsopgave: Een hoog en breed strand werkt golfremmend. Voor de Hondsbossche en Pettemer zeewering is een hoog en breed strand aangewezen als een (mogelijke) voorkeursoplossing. Een breed strand vraagt veel ruimte in zeewaartse richting. Bij een steil aflopend vooroeverprofiel of met een getijdengeul dicht voor de kust kan een breed strand tot veel kustonderhoud leiden.

Een breed strand is een oplossing voor een tekort aan kruinhoogte of een onvoldoende sterke bekleding, maar niet voor stabiliteitsproblemen.

Ecologie en recreatie: Een breed strand biedt mogelijkheden voor de vorming van embryonale duintjes, een prioritair habitat in Natura 2000 gebieden. Een breder strand stimuleert natuurlijke duinvorming, waardoor bredere duinen ontstaan.

Een breed strand is foerageergebied voor strandvogels. Veel Nederlandse stranden zijn voorzien van strandhoofden. Bij een zeewaartse uitbreiding van strand en duinen komen deze strandhoofden (deels) onder het zand te liggen. Het foerageergebied voor specifieke vogelsoorten, zoals de Steenloper, neemt dan af. De voorkeursoplossing voor de Hondbossche en Pettemer Zeewering voorziet in de ontwikkeling van alternatieve foerageergebieden. Het verbreden van smalle stranden schept meer mogelijkheden voor strandrecreatie.

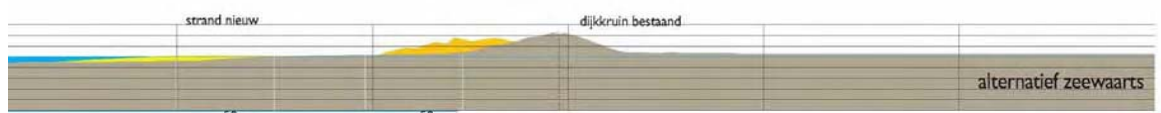
Duin voor Dijk Nieuwvliet Groede

Extra duinen en strand en een ecologische versterking en verbinding langs de kust, maar wel 30% goedkoper dan een gangbare versterking van dijk en goed uitbreidbaar op termijn



Figuur: de huidige kust en het versterkingsplan met bredere duinen, strand en een erosie berm.

Nieuwvliet-Bad-Groede vormt onderdeel van de zwakke schakel Zeeuws Vlaanderen. De primaire kering is een dijk met een hoogtetekort van 0,5 tot 4 meter, onvoldoende bekleding en ook een onvoldoende aansluitingsconstructie. In geval van een gangbare versterking wordt over het gehele traject de stenen bekleding vervangen. Hierbij wordt over delen de dijk zeewaarts versterkt en waar nodig verhoogd. Het ontwerp wordt daarbij afgestemd op het veiligheidsniveau van 100 jaar. Het voorkeursalternatief is een zeewaartse versterking van de dijk met duinen, waarmee een doorlopende kustboog en dynamisch kustlandschap wordt geschapen. Het strand behoudt zijn breedte en schuift mee zeewaarts. De strandhoofden worden niet verlengd. Het op breedte houden van het strand is daarom mede afhankelijk van zandsuppletie. Direct na aanleg is extra suppletie nodig, maar met de jaren, valt deze na het bereiken van een nieuw evenwichtsprofiel terug tot het huidige niveau. Het zand nodig voor onderhoud wordt op een erosie berm gestort die van daar het gehele kustvak voedt met zand. Het is daarmee een soort kleine zandmotor. De totale kosten van de Duin voor Dijk oplossing zijn orde 30% goedkoper dan van een gangbare versterking van de dijk.



Figuur: Dwarsprofiel duin voor dijk oplossing.

Duinen voor dammen en dijken

Veiligheidsopgave: Dit is een oplossing die gekozen is voor de Oesterdam (zie voorbeeld). Dit oostelijke deel van de Oosterschelde is voornamelijk zandig. In de gekozen oplossing wordt veiligheid gecombineerd met handhaving van intergetijde areaal en verminderen van zandhonger op lange termijn.

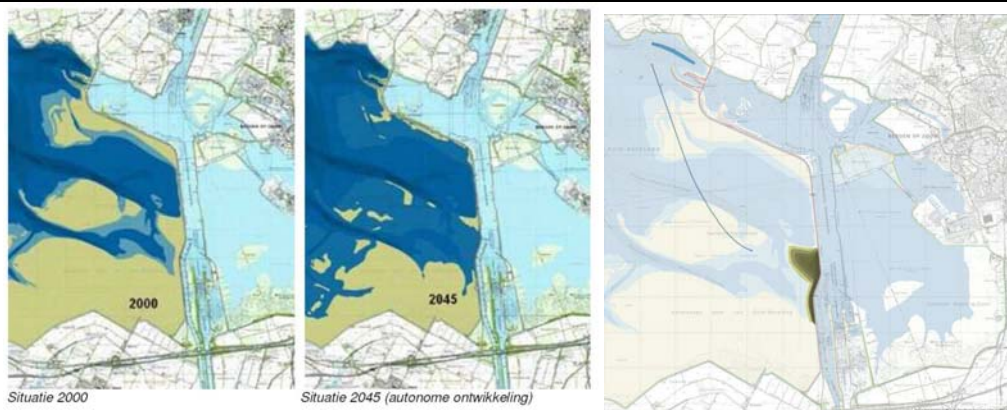
De zwakke schakel Nieuwvliet Groede kent een kruinhoogte tekort. Hier is gekozen voor een “duin voor dijk” oplossing, waarbij de primaire functie van de dijk als waterkering komt te vervallen. Deze oplossing bleek het meest kosteneffectief en draagt bij aan natuur en recreatie.

Ecologie en recreatie: Waar dijken liggen, ontbreken duinen in het kustlandschap. Langs de Noordzee vormen duinen een natuurlijke habitat. Op enkele plaatsen ontbreken duinen als gevolg van doorbraken van de zee waarbij duinen zijn weggeslagen. Met de aanleg van duinen wordt nieuw natuurgebied toegevoegd en kunnen bestaande duingebieden met elkaar in verbinding worden gebracht.

De Oesterdam ligt aan de Oosterschelde, een intergetijdengebied met zandplaten maar zonder duinen. De gekozen oplossing draagt bij aan het behoud van het plaatareaal.

Oesterdam in zand

Het inpakken met zand is kosteneffectiever en draagt bij aan behoud van de platen, die belangrijk zijn als habitat maar ook voor de golfreductie op de dijken.



De verwachte afname in plaatoppervlak als gevolg van zandhonger en het ontwerp van een zandige oplossing voor de Oeverdam.

Door zandhonger verdwijnen veel slikken en platen voor de dijk in de komende jaren, waardoor de golfbelasting op de dijken toeneemt. Bij de huidige dijkversterkingen is dit effect te laag geschat, waardoor er de komende 50 jaar grote investeringen in dijkversterking nodig zijn. Met het verdwijnen van platen en slikken gaat ook belangrijk leef- en foerageergebied verloren. Ook de schelpdiersector en de recreatie hebben hiervan te lijden.

Met een suppletie van 600.000 m³ zand wordt een zandbron en hoger plaatareaal aangebracht. De golfbelasting op de dijk neemt daarmee af en er wordt een zandbron gecreëerd die zand afgeeft naar de omgeving. Onderhoud blijft periodiek nodig maar per saldo is de oplossing kosteneffectief met als bijkomende voordelen behoud van plaatareaal en habitat.

Verduinen van de dijk

Veiligheidsopgave: Veel zeedijken hebben een kern van zand. Dit volume aan zand is bij hoge en brede dijken zo groot, dat het toetsen van de dijk als duin soms al een afdoende oplossing biedt voor een tekort aan kruinhoogte en stabiliteit. Er zijn geen voorbeelden waarbij een dijk is omgebouwd tot duin door het slopen van de bekleding.

Het wegnemen van de bekleding heeft meerdere voordelen. Zonder bekleding is er geen golfoploop en kan worden volstaan met een minder hoge kruin. Een duin hoeft niet hoger te zijn dan het toetspeil. De kruin van een zeedijk ligt vaak meer dan 5 meter hoger dan het toetspeil. Ook gelden voor een duin minder stabiliteitseisen.

Bij een “duin voor dijk” oplossing moet rekening worden gehouden met een lokale doorbraak, die plaatselijk tot veel erosie kan leiden. Dit vraagt een “brestoeslag” van enkele tientallen meters extra duin.

Ecologie en economie: Ingeval van bebouwing achter de dijk moet rekening worden gehouden met verstuiwen van zand. Verduinen kan leiden tot een grotere zoetwaterlens, die benut kan worden voor waterwinning. In geval van bebouwing moet rekening worden

gehouden met een hoger grondwaterpeil. Een duin betekent ook strand, dus mogelijkheden voor recreatie.

3.3.5 Rijke dijken

Dijken kunnen aan natuurwaarde winnen door het “inbouwen” van cruciale habitats en ‘stepping stones’, zoals die voorkomen langs natuurlijke rotsen. Verrijken van dijken vraagt een andere profielopbouw in de intergetijdenzone (bijvoorbeeld poelen en kunstriffen aan de voet van de dijk) en andere steensoorten en -vormen (ruwere oppervlakken geven betere vestigingsmogelijkheden). Voorbeelden zijn aangelegd in de Ooster- en Westerschelde.

Verruwing kan de golfoploop reduceren. Een breder profiel, in de intergetijdezone, draagt bij aan de (buitenwaartse) stabiliteit van een dijk. Kunstriffen kunnen ondergraven van een dijk voorkomen, iets waarvoor doorgaans een steenkoffer wordt aangelegd. Hangende golfremmende constructies (paalhula’s) zijn aangelegd in de haven van Rotterdam. Deze constructies dempen golven waardoor kalmer water ontstaat voor de scheepvaart. In theorie kan een paalhula een rol spelen in maatgevende situaties, maar dat stelt hoge eisen aan de constructie.

3.4 Voorbeelden en kansen voor kostenbesparing

Natuurrijke keringen bieden kansen voor kostenbesparing ten opzichte van gangbare keringen:

- In aanleg kan een natuurrijke kering goedkoper zijn een gangbare kering. Vooral bij inzet van goedkope grondstromen zijn de aanlegkosten laag.
- Bij wijziging van eisen en normen kan een natuurrijke kering tegen weinig kosten worden aangepast en opgehoogd. Het aanpassen van een gangbare kering is daarentegen duur.
- Bepaalde typen natuurrijke keringen groeien met stijgende peilen mee en vragen weinig onderhoud.

kostenbesparing bij aanleg

De uitgewerkte voorbeelden in bijlage III laten kansen voor kostenbesparing zien in de Wadden en estuaria. In bijlage V wordt ingegaan op de mogelijkheden voor kostenbesparing. Tabel 3.1 geeft een korte samenvatting van de ervaringen bij de voorbeelden.

Voorbeelden van natuurrijke keringen met kostenbesparingen:

- De “duin voor dijk” bij NieuwVliet Groede is gerealiseerd. De totale kosten, aanleg en gekapitaliseerde beheer- en onderhoudskosten, liggen ongeveer 25-30% lager dan van een gangbare versterking, ondanks de vrij hoge zandprijzen in Zeeland.
- Bij de Oesterdam is gekozen voor een oplossing waarbij de dam wordt voorzien van een voorliggend duin. Deze oplossing is goedkoper dan een gangbare versterking van de Oesterdam. De baten bestaan ook uit behoud van plaatareaal.

Onderstaand wordt dieper ingegaan op kansen rondom grondstromen, wingebieden en grondprijzen.

Kansen rondom grondstromen, wingebieden en grondprijzen

Grondstromen als gevolg van baggerwerk

Waddenzee

In de Waddenzee wordt gebaggerd, o.a. voor de havens van Den Helder (ca 1 miljoen m³ per jaar, vooral zand) en Harlingen (ca 300.000 m³ per jaar, vooral slib) en in de vaargeulen tussen Harlingen en de eilanden, de Afsluitdijk en in de monding van de Eems.

Door de haven van Den Helder is het kustlangstransport van zand richting het Balgzand onderbroken. Het zand sedimenteert nu in de haven, wordt gebaggerd en in het Marsdiep gestort en beweegt daarna dieper de wadden in.

Voorbeeld	Type kering	Beoordeling ten opzichte van traditionele oplossing			Kansrijkdom		Toelichting
		veiligheid	kosten	natuur en recreatie	huidig	op termijn	
Waddengebied:							
- Kwelderdam Delfzijl	kwelderwal	slecht toetsbaar	goedkoper/ gelijk/ duurder	kansen aanwezig	groot	groot	Kosten afhankelijk van variant en faseerbaarheid. Goedkoper dan versterking primaire dijk, gelijk tot duurder dan versterking schemerdijk. Echter kwelderwal is goed faseerbaar wat kansen en voordelen biedt.
- Kwelderwerken Waddendijken	kwelder/schor	groter	-	kansen aanwezig	groot		Er wordt niet echt een vergelijking gemaakt met traditionele keringen.
- WaddenWerken Afsluitdijk	kwelder en kweldermok	gelijk	gelijk tot duurder	neutraal tot positief	klein	groot	Kosten hangen sterk af van de zandprijs, kan gelijk, duurder, of goedkoper zijn, kansrijkdom bij huidig ontwerp en wetgeving gering.
- Zachte versterking Texel	duin (voor dijk)	voldoende	-	kansen aanwezig	matig	groot	Qua ecologische waarde biedt niet per se de duinenrij perspectief, maar vooral de aan te brengen landtong en eiland ervoor.
Zeeuwse Delta							
- Duindijk Nieuwvliet-Groede	duin voor dijk	groter	25% goedkoper	toename waarde	groot	groot	Deze oplossing is al aangelegd, bewezen goedkoper met winst voor natuur en recreatie.
- Oesterdam	schorren	groter	goedkoper	toename waarde	groot	groot	
- Schorbuffer Perkpolder	schor	voldoende	-	toename waarde	groot	-	Wordt aangelegd als onderdeel van een compensatie regeling van RWS.
"- Banjaard	zandbank	voldoende	waarschijn- lijk goedkoper	onduidelijk	klein	groot	Naar effecten op de natuur moet nog onderzoek worden gedaan. Continue suppleren lijkt duurder.

Tabel 3.1 Samenvatting van ervaringen bij voorbeelden in het Waddengebied en Zeeuwse Delta

Zeeuwse Delta

Ook in de Westerschelde wordt veel gebaggerd, maar dat materiaal wordt nu binnen dezelfde morfologische cel teruggestort. Het is onduidelijk of dit materiaal beschikbaar kan komen voor de directe aanleg van bijvoorbeeld schorbuffers.

Natuurlijke zand- en slibstromen

Waddenzee

Voor de ontwikkeling van kwelders is het slibgehalte in het water van belang. Dit varieert binnen de Waddenzee, en ook binnen de Oosterschelde en de Westerschelde. Voor de Afsluitdijk is het slibgehalte verhoudingsgewijs laag en voor de oostelijke Waddenzee hoger. Bij hogere slibgehalten kunnen kwelders sneller aangroeien. Voor de oostelijke Waddenzee is aangetoond dat de kwelders voldoende snel groeien om de geprojecteerde zeespiegelstijging bij te houden. Op plaatsen met veel lagere slibgehalten is dat ongewis.

Wingebieden en grondprijzen

Zeeuwse kust en voordelta

Grond/zandprijzen verschillen vooral door verschillen in transportafstand. Zand is voor Zeeuws Vlaanderen (winafstand 30-40 km) dubbel zo duur als voor de Delflandse kust (winafstand 12-14 km). De prijs voor kustlijnsuppleties varieert tussen de 3 euro/m³ (directe kosten) voor de kust van Delfland tot 6 euro/m³ (directe kosten) voor de kust van Zeeland. De zandprijs hangt ook af van de aanlegwijze. Klappen van zand op de vooroever is ongeveer 50% goedkoper dan een strand- of duinsuppletie. Maar ook de omvang van de suppletie is van invloed op de prijs. De Zandmotor voor de Delflandse kust wordt voor minder dan 2,5 euro/m³ (totale kosten) aangelegd. Dit kan worden beschouwd als een bodemprijs.

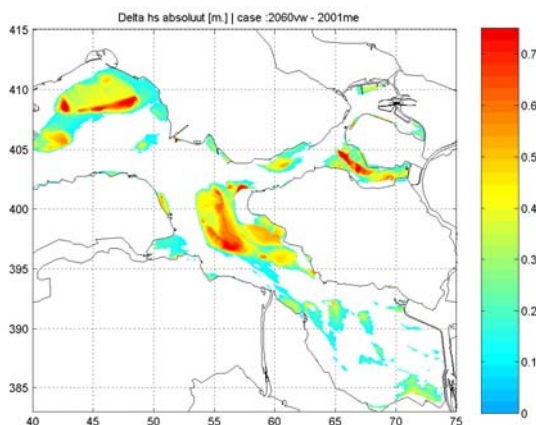
Het voorbeeld De Banjaard gaat uit van het verplaatsen van zand door morfologisch te baggeren en te storten. De directe kosten van morfologisch baggeren liggen in de orde van 3 euro/m³ of minder vanwege de korte transportafstanden.

Zandhonger en Plaatsuppletie Oosterschelde

Kosteneffectiever dan gangbare versterking van de bekleding en een langere functionele levensduur dijken en daarmee omvangrijke besparingen op termijn. Behoud van plaatareaal is ook behoud van habitat

Metingen tonen aan dat grote delen van het intergetijdengebied verdwijnen als gevolg van de onbalans tussen het geuloppervlak en het getijdenvolume (zandhonger). De sterke verlaging van platen en slikken en de afname van schorareaal heeft consequenties voor het (gebruik)functies van de Oosterschelde. Naast voor de hand liggende functies als de kraamkamerfunctie en foerageergebied voor vogels kan de bodemverlaging ook gevolgen hebben voor de veiligheid van waterkeringen.

De zandhonger heeft tot gevolg dat de golfbelasting op de waterkeringen langs de Oosterschelde de komende decennia significant toeneemt. Deze toename tekent zich, in tegenstelling tot eerdere aannamen, niet alleen af bij lage waterstanden. Dit kan tot gevolg hebben dat de levensduur van de zeeweringen afneemt met gemiddeld 40%. In termen van kosten praten we hier over extra afschrijvingskosten van ca. M€ 200-250. (Jacobse en vd. Laan, "Zandhonger Oosterschelde, een bedreiging voor de veiligheid?" Rapport Royal Haskoning, dec. 2007). Door vooral de voorlanden op peil te houden, blijven de gevolgen van zandhonger voor de veiligheid beperkt. Netto wordt bij deze methode het zandverlies naar dieper water gecompenseerd door strategische suppleties op platen en slikken. De aanleg van oesterriffen kan helpen bij de stabilisatie van de plaatranden, waardoor het jaarlijks onderhoud aan de platen kleiner wordt. Dit wordt in het kader van het programma Building with Nature met veldonderzoek nu onderzocht. Grote delen van de oude zeedijk hebben een onvoldoende bekleding. Het ophogen van platen vermindert de golfbelasting en is voor ongeveer de helft van de dijken een goedkoper alternatief dan het gangbaar versterken van de bekleding. Deze besparing ligt in de orde van M€ 50. Het overlagen van de bestaande maar onvoldoende sterke bekleding is nog goedkoper. Overlagen voorkomt de zandhonger niet en daarmee ook niet de achteruitgang in de functionele levensduur van dijken.



Toename golfhoogte bij lineair afnemende bodem tot 2060 (uit: Jacobse, J.J.; O. Scholl, J. v/d Koppel: "Prognose van Schor en slikontwikkelingen in de Oosterschelde, Een analyse naar de te verwachten ontwikkelingen tot 2060"; Royal Haskoning, rapport 9R9125.A0/R0003; november 2006.

Waddengebied

Zand uit de haven van Den Helder wordt nu in het Marsdiep gestort. Dit zand kan ingezet voor het ophogen van voorland langs de dijk langs het Balgzand. Er dan moet rekening worden gehouden met extra transport en aanlegkosten (vooral laagsgewijs opspuiten). Naar verwachting bedragen de directe kosten orde 3 euro/m³.

In het project Toekomst Afsluitdijk is gekeken naar de prijzen van zand voor de aanleg van kwelders. Zand uit het IJsselmeer komt op ongeveer 5,4 euro/m³ (directe kosten), ervan uitgaande dat op enkele honderden meters van de dijk zand wordt gewonnen. In de Wadden zelf mag geen zand worden gewonnen. Zand uit de Noordzee is op deze locatie meer dan dubbel zo duur vanwege de grote vaarafstanden.

Westerschelde

Zand dat wordt gebaggerd uit de vaargeul wordt enkele kilometers verderop in de geul teruggestort. Dit zand kan worden ingezet voor aanleg en ontwikkeling van schorren. Dit vraagt om extra transport en werkhandelingen en de inzet van ander materieel. De directe kosten bedragen dan al gauw in de orde van 3 tot 6 euro/ m³. Het onttrekken van zand aan de geul leidt echter ook tot erosie van platen. In plaats van direct aanleggen kan ook worden uitgegaan van het stimuleren van een natuurlijke schoraangroei over een langere periode.

Oosterschelde

Voor de Oosterschelde speelt het probleem van zandhonger. Voor verschillende projecten in de Oosterschelde wordt echter lokaal zand gewonnen, zoals voor de proefsuppletie op de Galgeplaat. Recent is besloten tot het 'verpakken' van de Oesterdam in lokaal gewonnen zand (directe kosten ca 4 euro/m³).

3.5 Aandachtspunten en implementatiestrategieën

Aan de kust worden in zand al zachte oplossingen gerealiseerd. Ingeval van duinen is voorland (het strand en de vooroever) onderdeel van de kering. Het onderhoud van dit voorland is voor verantwoording van het Rijk. Ondanks de grote dynamiek en mogelijke erosie tijdens maatgevende situaties wordt op dit voorland vertrouwd in de toetsing. Dit kan een voorbeeld zijn voor voorland als onderdeel van de kering langs IJsselmeer en rivieren en langs de Waddenkust.

Op veel plaatsen ligt natuurgebied voor de dijk. De kustschappen hebben leren werken met natuurwetgeving als het gaat om de controle, beheer en onderhoud van een dijk. Enkele kustschappen toetsen op de aanwezigheid van voorland. Het Wetterskip Fryslân en het waterschap Scheldestromen hebben hier ervaring mee. Of voorland wel of niet wordt meegenomen bij de toetsing hangt sterk af van de situatie (o.a. het soort toetsing) en ook van het waterschap.

3.6 Samenvattend: perspectief en maatwerk

In de Wadden en estuaria liggen veel kansen voor natuurlijke keringen. Deze natuurlijke keringen bieden kansen voor kostenbesparing en meerwaarde voor natuur en recreatie. Diverse sprekende voorbeelden zijn beschikbaar van natuurlijke keringen, waarbij Het duin voor dijk concept bij NieuwVliet Groede en het voorliggende duin bij de Oesterdam duidelijk goedkoper zijn dan gangbare versterkingen. Verder zijn er kansen voor het gebruik van kwelders als golfremmend voorland. Rijke dijken zijn op veel locaties toepasbaar en bieden interessante meerwaarde voor ecologie en recreatie.

Er liggen kansen voor de aanleg van natuurrijke keringen in dit type gebied. Hiermee is al ervaring opgedaan door enkele waterschappen, net als met het meenemen van voorland in de toetsing.

Mogelijkheden voor het slim gebruiken van goedkope grondstromen zijn aanwezig en bieden verdere kansen voor kostenbesparingen.

4 RIVIERENGEBIED

4.1 Morfodynamiek, hydrodynamiek en ecologisch functioneren

Morfodynamiek van zomerbed en uiterwaarden

Anders dan in het Waddengebied is de morfodynamiek in het rivierengebied grotendeels beperkt door kribben, zomerkades en dijken. Het enige dat niet is vastgelegd is de bodem van de rivier. Dit met uitzondering van een deel bij Arnhem dat in het verleden al eens is “versteend”, sommige bochten in de Waal waar bodembestortingen zijn uitgevoerd en de Onbedijkte Maas, die in Limburg door een dal loopt.

Een natuurlijke rivier verlegt voortdurend zijn bedding. Dit gebeurt in een vlechtend stelsel anders dan in een meanderende rivier. De meeste rivieren in Nederland, met uitzondering van de Onbedijkte Maas, vertonen een meanderend verloop.

In het proces van vrije meandering slijten buitenbochten uit, zanden binnenbochten aan en verplaatst een meander zich langzaam stroomafwaarts. De uiterwaarden worden van tijd tot tijd door de migrerende hoofdgeul doorsneden en verlaagd en verjongd weer achtergelaten. Door de kribben en kades komt dit natuurlijke meandergedrag niet meer voor. De uiterwaarden groeien alleen nog maar in de hoogte en verlaging en verjonging door laterale erosie komt niet meer voor. Hierdoor ontbreekt jong en dynamisch rivierhabitat. Een mogelijke oplossing hiervoor is het cyclische beheer van uiterwaarden, waarin in delen van de uiterwaarden periodiek de vegetatie wordt verwijderd en nevengeulen worden uitgegraven.

Dynamiek van het zomerbed

Het zomerbed kent een grote dynamiek. Bij het toenemen van de afvoer neemt de stroomsnelheid toe totdat de rivier buiten haar oevers treedt. Afhankelijk van de situatie (stroomt het water in de uiterwaarden mee?) neemt de snelheid daarna vrijwel niet meer toe met toename van de afvoer. Door het toenemen van de stroomsnelheid wordt door het rivierwater meer zand opgenomen. Op plaatsen waar de stroomsnelheid kleiner is, wordt zand afgezet.

Tijdens een hoogwater kunnen aanzienlijke veranderingen in de ligging van het zomerbed optreden, soms met meer dan 0,5 meter. Er is tot dusver maar beperkt gemeten tijdens hoogwater. We weten daarom niet goed wat te verwachten bij een maatgevend hoogwater.

Reactie op verruimen doorstroomprofiel

Veel rivierverruimingsprojecten streven een MHW-verlaging na door het winter- en soms ook het zomerbed te verruimen. De doorstroomcapaciteit wordt daarmee vergroot. Verruiming leidt echter ook tot veranderingen in stroomsnelheden en heeft daarmee ook gevolgen voor erosie en sedimentatie.

Door kribverlaging wordt het doorstroomprofiel verruimd en kan de rivier eerder buiten het laagwaterbed treden. Doordat de rivier eerder buiten haar oevers treedt, nemen de stroomsnelheden in het zomerbed af ten opzichte van de situatie zonder kribverlaging. Als gevolg hiervan komt het zomerbed omhoog. Er loopt op dit moment een pilot met kribverlaging op de Waal. Daar wordt als reactie een flinke aanzanding van het zomerbed waargenomen. Een zelfde respons zien we op trajecten waar de uiterwaarden worden verlaagd of een hoogwatergeul wordt gegraven.

Gorzen Haringvliet

*De voormalige kwelders zijn nu gorsen die substantieel bijdragen aan beperking van de golfploop.
Aanleg van nieuwe gorzen, of verhogen van beplanten van gorzen in agrarisch gebruik is goedkoper dan kruinverhoging.*



Gorzen langs het Haringvliet, op plaatsen al bebost, en hier en daar in agrarisch gebruik.

De meeste dijken langs het Hollands Diep en het Haringvliet liggen achter een hoog voorland met een variërende breedte van ongeveer 100 m tot 500 m. Het zijn voormalige schorren nu voorzien van een oeververdediging. Hoe hoger een voorland hoe groter de reductie van de golfbelasting op de dijk. Een voorland reduceert de golfhoogte tot maximaal 60 % van de waterdiepte bij maatgevend hoogwater. Hiervoor moet een voorland wel een minimale breedte hebben, meer dan 2 maal de golflengte. De waterstand en golfhoogte variëren afhankelijk van opwaaiing en oriëntatie op de wind. In de derde toetsronde is voor het Haringvliet uitgegaan van een standaard buitentalud, waarbij voorland grotendeels is verwaarloosd. Voor de vierde toetsronde wordt het golfmodel SWAN aanbevolen (de Waal, 2008). Dit model houdt beter rekening met de aanwezigheid van een voorland en leidt naar verwachting tot 0,5 m tot 0,75 m lagere vereiste dijktafelhoogten (de Waal, 2008). Een groot deel van deze reductie kan aan het voorland worden toegeschreven. Op veel plaatsen voorkomen aanwezige gorzen al omvangrijke investeringen (orde 3 miljoen per km dijk). Op enkele plaatsen kan nieuw voorland worden aangelegd. Een vooroeverdam is mogelijk goedkoper dan aanleg van nieuw voorland maar leidt tot minder golfreductie waardoor aanleg van nieuw voorland economisch voordeliger kan zijn (Ytsma, 1999). Beplanten en voorhogen van voorland is goedkoper dan kruinverhoging (zie bijlage Kosten en potentiële besparingen). Dit lijkt goed mogelijk ingeval van gorzen die gebruikt worden voor landbouw. Veel gorzen zijn beschermd natuurgebied en de mogelijkheden voor ophoging zijn hier minder groot.

Over langere perioden zoekt het zomerbed in reactie op de verruiming een nieuw evenwichtsprofiel op, zowel in dwars- als in langsrichting. Veranderingen in het langverhang, zoals die nu nog steeds optreden in de Rijntakken als gevolg van de normalisaties van bijna een eeuw geleden, kunnen tot problemen leiden met vaste elementen zoals brugpijlers, oeververdedigingen en kribben, maar ook bij de slecht erodeerbare drempel in de bodem van de Rijn bij Emmerich, inmiddels een obstakel voor de scheepvaart. Verder kan deze 'autonome bodemdaling' leiden tot het omlaag trekken van de grondwaterspiegel in de omgeving. Deze lange-termijn trends in de bodemligging vallen op korte termijn kwantitatief in het niet bij die ten gevolge van de afvoervariaties, maar zijn daarom niet minder belangrijk.

Relatie vegetatie en morfodynamiek

De ontwikkeling van vegetatie leidt tot meer weerstand in het profiel. Het onderhoud van het doorstroomprofiel is daarmee een belangrijk aandachtspunt. Hier wordt in deze studie alleen globaal naar gekeken. De nadruk ligt op natuurlijke oplossingen als aanvulling of alternatief voor dijkconstructie en dijkverzwaring.

Invloed van baggeren

In het benedenrivierengebied wordt met baggeren materiaal aan de vaargeul onttrokken. Het gevolg is aanzanding maar ook een verlaging van de ligging van het zomerbed die zich geleidelijk stroomopwaarts uitbreidt.

Bij het nautisch baggeren in het bovenrivierengebied wordt het gebaggerde materiaal momenteel bovenstrooms terug in de vaargeul gezet, als tijdelijke methode om de 'autonome bodemdaling' (kanteling van het langsprofiel als gevolg van allerlei ingrepen in het verleden) tegen te gaan. Een verdere verlaging van het zomerbed is hier niet gewenst.

4.2 Veiligheidsopgave

Veranderingen in MHW rivierengebied

In het rivierengebied loopt het Ruimte voor de Rivier programma, waarbij op veel locaties is gekozen voor verruiming van het doorstroomprofiel, bijvoorbeeld door uiterwaardverlaging, verplaatsing of verwijdering van zomerkades en aanleg van hoogwatergeulen.

Met het Ruimte voor de Rivierprogramma wordt de rivier geschikt gemaakt voor een maatgevende afvoer van 16.000 m³/s bij Lobith, zoals die in 2001 is vastgesteld (was daarvoor 15.000 m³/s). Dijkversterking wordt waar mogelijk vermeden via verruiming van het rivierbed. De daarmee samenhangende opgave, uitgedrukt in MHW verlaging ten opzichte van de situatie met de hogere maatgevende afvoer, maar zonder verruiming, is afhankelijk van de locatie en varieert tussen enkele centimeters en meer dan 30 cm.

Plaatselijk wordt, onder andere via ruimtelijke reserveringen, geanticipeerd op 18.000 m³/s, wat beschouwd wordt als een bovengrens voor de afvoer op lagere termijn. Met de huidige vormen van rivierverruiming kan de aanpassing aan 16.000 m³/s grotendeels via buitendijkse ingrepen worden gerealiseerd, maar hogere maatgevende afvoeren vragen ook binnendijkse maatregelen.

Benedenrivierengebied: plus zeespiegelstijging en stormcondities

In de benedenrivieren wordt het MHW mede bepaald door zeespiegelstijging, storm en het operationeel beheer van de stormvloedkeringen. Tijdens een MHW-situatie zijn de keringen gesloten en stijgt het peil achter de kering vanwege de aanvoer van rivierwater. Een hogere afvoer of een langere stormduur leidt tot hogere peilen.

IJsseldelta: meerpeil en stormcondities

Het MHW voor de IJsseldelta hangt af van de afvoer van water over de IJssel in combinatie met peilopzet op het IJsselmeer. De opwaaiing kan bij noordwesterstorm in de orde van 1 meter bedragen. Ook een hoger meerpeil leidt tot een stijging van het MHW in de gehele IJsseldelta tot voorbij Zwolle en Kampen.

Verschillen in veiligheidsopgave tussen dijkringen en dijkvakken

Er zijn grote verschillen in de opgave tussen verschillende dijkvakken. Zo zijn er dijken waar het grootste probleem niet samenhangt met het MHW, maar vooral met een instabiele dijk en/of de kans op piping. Voor deze vakken zijn dijkversterkingstrajecten gaande. Ook de 3^e toetsronde zal naar verwachting weer veel dijken opleveren die zijn afgekeurd vanwege problemen met stabiliteit en piping.

De Ruimte voor de Riviertrajecten kennen vooral een taakstelling in MHW termen. De taakstelling is deels afgeleid uit wat in de PKB op basis van integrale verkenningen haalbaar werd geacht.

Natuurlijke keringen, zoals een golfremmend griend, reduceren vooral de golfhoogte. Het aandeel van golven in de kruinhoogte van dijken verschilt afhankelijk van oriëntatie op de maatgevende wind, de strijklengte en de diepte van het water ten tijde van een maatgevend hoogwater. In het benedenrivierengebied zijn er dijkvakken waar rekening wordt gehouden met golven van slechts enkele decimeters tot meer dan een meter. Vooral in het Haringvliet-Hollands Diep moet rekening worden gehouden met grote golven. Het

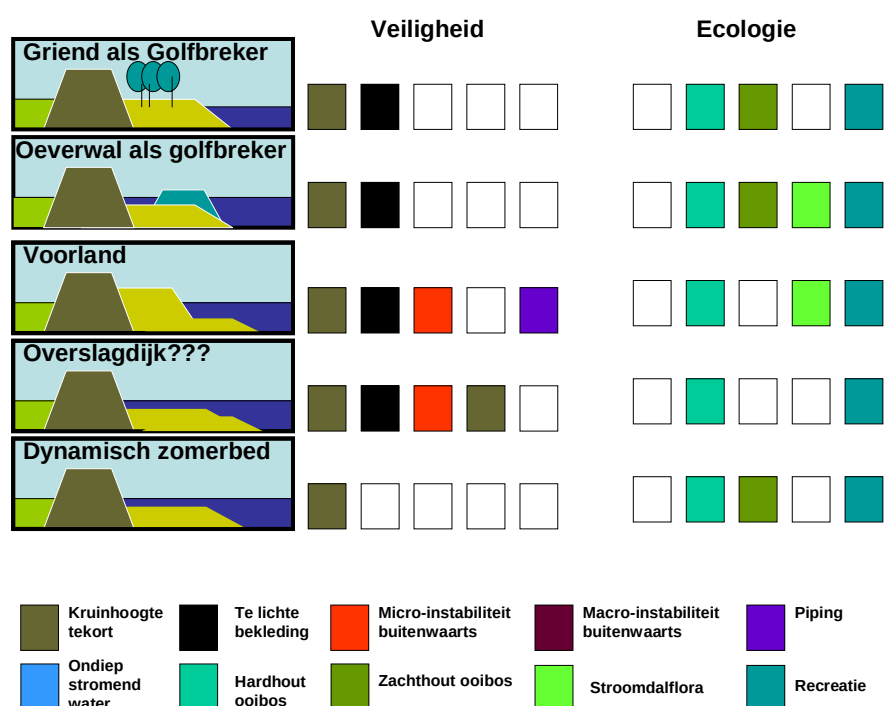
winterbed is hier vaak al ruimer en stormopzet en golfoploop maken deel uit van de maatgevende condities en ook de norm ligt hoger. In het bovenriviereengebied spelen golven vrijwel geen rol. Er wordt hier gewerkt met een waakhoogte, voldoende om golfoploop in combinatie met andere onzekerheden op te vangen.

De veiligheidsopgave is ook een onderhoudsopgave

De MHW's op de rivieren zijn afhankelijk van de doorstroomcapaciteit. Vegetatie is van invloed op de hydraulische ruwheid en daarmee op deze doorstroomcapaciteit. Hoogopgaande begroeiing leidt tot opstuwing op plaatsen waar het water stroomt.

De MHW wordt uitgerekend op basis van een model schematisatie waarin ook de wrijving ten gevolg van vegetatie is meegenomen. Als referentie hiervoor geldt het jaar 1997, het jaar waarin de schematisatie van het modelinstrumentarium voor Ruimte voor de Rivier tot stand kwam. Sedert die tijd is sprake geweest van vegetatieontwikkeling die plaatselijk heeft geleid tot een toename in hydraulische ruwheid. In het project Stroomlijn wordt gewerkt aan beheer- en onderhoudplannen die de referentiesituatie moeten herstellen.

Maar ook na de realisatie van een RvR project blijft beheer en onderhoud nodig. Het gaat daarbij om beheer van de vegetatie met oog op de ruwheid, maar ook om nautisch en mogelijk ook MHW baggerwerk. Rivierverruiming leidt tot aanzanding van het zomerbed en daarmee van de vaarweg. Plaatselijk kan de aanzanding zo groot zijn dat de doorvaart bij laag water wordt belemmerd. Er moet dan gebaggerd worden. Verruiming kan ook leiden tot zoveel aanzanding dat dit gevolgen heeft voor het MHW. Er is dan MHW-baggerwerk nodig. Op dit moment wordt hierop beperkt getoetst.



Figuur 4.1 Schematische voorstelling van natuurlijke keringen in de vorm van voorland, grienden en overslagdijken die voor het riviereengebied van toepassing zijn (inkleuring van een vakje betekent verbetering van het desbetreffende aspect).

4.3 Typen natuurlijke keringen in relatie tot veiligheidsopgave en ecologie

In deze paragraaf worden de mogelijke typen natuurlijke keringen voor het rivierengebied onder elkaar gezet. Deze typen komen voort uit de verbinding tussen veiligheidsopgave en natuurlijke processen in het gebied. De typen kunnen worden ingedeeld in de volgende typen:

- Voorland/gorzen;
- Wilgenbossen (grienden);
- Andere vormen van natuurlijk voorland bedoeld voor een reductie van de golfoploop.

In figuur 4.1 staan de typen natuurlijke keringen die kunnen worden toegepast in het rivierengebied schematisch weergegeven.

Golfremmend griend

Veiligheidsopgave: Het wilgenbos dat nu voor de Noordwaard staat gepland is een oplossing met levende natuur voor het beperken van golfoploop. Deze aanpak kan ook bruikbaar zijn op andere plaatsen waar de golfoploop substantieel is. Een dergelijke maatregel kan gecombineerd worden met landschapsherstel. Er is op zich in het buitenland, zoals Hongarije, meer ervaring met dit type maatregel dan in Nederland.

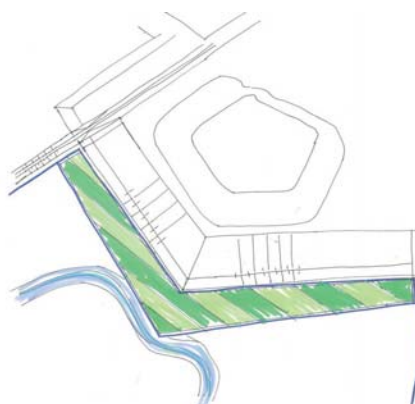
Voor wat betreft de toepasbaarheid is er een verschil tussen het beneden- en bovenrivierengebied. Voor het benedenrivierengebied geldt dat de maatgevende condities worden bereikt bij een combinatie van hoge rivierafvoer en zware storm. Golven spelen hier een grote rol bij het bepalen van de kruinhoogte van een dijk. In het bovenrivierengebied is deze relatie minder aanwezig en wordt de hoogte van een dijk vooral door rivierafvoer bepaald. Mogelijke plaatsen voor toepassing vinden we vooral langs het Haringvliet en Hollands Diep. Met het oog op het weerstandseffect ligt het voor de hand golfreducerende vegetatie vooral in stromingsluwe delen van de uiterwaard te plaatsen. In de praktijk is echter veelal sprake van een compromis tussen opstuwing als gevolg van vegetatie en reductie van golven.

Een griend werkt golfremmend, maar is geen oplossing voor problemen met de stabiliteit van de dijk of met piping. De golfremmende werking van griend is afgeleid met modelberekeningen. Het is onduidelijk of wilgen onder maatgevende condities standhouden. Hier is nader onderzoek naar nodig.

Ecologie en recreatie: Een griend kan bijdragen aan natuur- en landschapswaarden maar dit is sterk afhankelijk van de locatie. Veel van de gorzen langs het Haringvliet en Hollands Diep zijn al natuurgebied en zijn begroeid met riet en plaatselijk ook wilgen. Voor een goede golfremming is een dicht bos met een minimale afmeting dwars op de dijk nodig. De aanleg van een dergelijk bos kan sterk ingrijpen in de bestaande natuur. Zo zijn grote delen van de uiterwaarden aangewezen als ganzengebied. Voor ganzen is een open landschap met gras een voorwaarde. In gebieden met agrarisch gebruik zal de aanleg van een griend eerder bijdragen aan de natuur.

Golfremmend Griend Noordwaard

Inzet van een wilgenbos voor vermindering van golfhoogte en kruinhoogte, voor veel plaatsen een kosteneffectief alternatief, met mogelijkheden voor landschapsherstel.



Fort Steurgat en een schets van het voorkeursalternatief dat wordt gerealiseerd.

Fort Steurgat vormt onderdeel van het Ruimte voor de Rivier project Noordwaard. Bij hoogwater is voor dit fort zo'n 7 km open water gelegen. Er moet daarom op deze plaats rekening worden gehouden met flinke golven, reden waarom bij een gangbare versterking van de dijk de kruin flink omhoog moet en de dijk verbreed moet worden. Dit gaat ten koste van cultuurhistorische waarden en ook zichtlijnen. Een alternatief is de aanleg van een golfremmend griend voor de dijk, waarmee de vereiste kruinhoogte met een halve meter kan worden verlaagd. Het is voor deze plaats een kosteneffectieve oplossing om de aanwezige ruimtelijke kwaliteit te behouden.

Een golfremmend griend kan in het benedenrivierengebied op meer plaatsen perspectief bieden, vooral waar bij maatgevende afvoer sprake is van groot open water en daarom een flinke golfoploop. Wel moet voldoende ruimte beschikbaar zijn en moet rekening gehouden met natuur- en landschapswaarden. Zo is de combinatie met foerageergebieden voor ganzen en open landschapstypen moeilijk. De kosten van aanleg van een 100 meter breed griend omvatten grondaankoop (in geval van landbouw), planten van een griend en aansluitend beheer en onderhoud. De kosten liggen in de orde van 35-55 euro/meter dijk, vooral door de kosten van grondverwerving. De golfreductie wordt vooral in de eerste 20 meter begroeiing gehaald. Afhankelijk van plantdichtheid en beheer kan daarom een 50 meter breed griend al voldoende zijn, tegen 25-30 euro/meter. De kosten zijn dan lager dan voor een gangbare versterking van de dijk, waarbij de bekleding wordt versterkt of de kruin wordt verhoogd (kosten in de orde van 150 tot meer dan 1500 euro/meter dijk). Een aandachtspunt is nog wel de stormbestendigheid van een wilgenbos en de kans op massale sterfte door ziekte (op te vangen door verschillende soorten door elkaar te planten).

Golfremmende gorzen

Veiligheidsopgave: Vooral langs het Haringvliet en ook het Volkerak-Zoommeer zijn gorzen gelegen. Dit zijn voormalige schorren, die met de tijd zijn verzoet en begroeid zijn geraakt met struiken en bomen. De aanwezige gorzen werken sterk golfremmend (zie voorbeeld Haringvliet). Er zijn enkele plaatsen waar geen gorzen zijn gelegen en waar aanleg ervan kan worden overwogen.

Ecologie en recreatie: Bestaande gorzen kunnen ook worden opgehoogd. Daar waar sprake is van natuurgebieden gaat dit gepaard met grote effecten op de bestaande natuur. Veel laaggelegen gorzen zijn bijvoorbeeld belangrijk als foerageergebied voor steltlopers. Geforceerd ophogen leidt tot verlies aan habitat. Wellicht is het mogelijk deze gebieden mee te laten groeien met de stijgende gemiddelde waterstand, door de bestaande vegetatie sediment in te laten vangen (zie ook de experimenten aan de Friese IJsselmeerkust). Of en op welke wijze dat mogelijk is zal moeten blijken uit pilot-experimenten. Daar waar sprake is van agrarisch gebruik is geforceerd ophogen beter mogelijk.

4.4 Kansen voor kostenbesparing

Natuurlijke keringen bieden ook in het rivierengebied kansen voor kostenbesparing ten opzichte van gangbare keringen. De grootste kansen voor kostenbesparing liggen in de volgende onderdelen:

- De aanleg van een natuurlijke kering kan goedkoper zijn dan de aanleg van een gangbare kering. Dit is vooral het geval ingeval kan worden volstaan met de aanplant van griend op bestaand voorland.
- Door handig gebruik te maken van goedkope grondstromen kan een natuurlijke kering goedkoper zijn dan een gangbare kering. Bij veel ruimte voor de rivierprojecten komt grond vrij die hiervoor kan worden ingezet.
- Een natuurlijke kering kan op termijn tot kostenbesparingen leiden omdat aanpassingen ervan, nodig vanwege strengere eisen en normen, veel goedkoper zijn dan het versterken van dijken.

Kostenbesparing bij aanleg

Aan de hand van de uitgewerkte voorbeelden in bijlage IV kan meer gezegd worden over de kansen voor kostenbesparing in het rivierengebied. Verder wordt in bijlage V nog ingegaan op de mogelijkheden voor kostenbesparing. Tabel 4.1 geeft een korte samenvatting van de ervaringen bij de voorbeelden.

Voorbeeld	Type kering	Beoordeling ten opzichte van traditionele oplossing			Kansrijkdom		Toelichting
		veiligheid	kosten	natuur en recreatie	huidig	op termijn	
Rivierengebied							
- Gorsen Haringvliet-Hollands Diep	voorland	groter	goedkoper	gelijk tot toename waarde	groot	groot	Kosten en natuurwinst hangen af van de situatie/locatie
- KRW maatregelen rivierengebied	vooroevers/land	voldoende	duurder	toename waarde	groot	-	Maatregelen worden uitgevoerd ter verbetering waterkwaliteit
- Golfremmend Griend Noordwaard	golfremmend griend	gelijk	onduidelijk	toename waarde	groot	groot	

Tabel 4.1 Samenvatting van ervaringen bij voorbeelden in het Rivierengebied

Een voorbeeld van een maatregel die kansen biedt voor kostenbesparing op een of meer van de genoemde onderdelen is het golfremmende griend Noordwaard: hier zijn de kosten lager dan voor een gangbare versterking van de dijk, waarbij de bekleding wordt versterkt of de kruin wordt verhoogd. Ook is er sprake van een grotere natuur- en cultuurwaarde en een hogere ruimtelijke kwaliteit.

Onderstaand wordt dieper ingegaan op kansen rondom grondstromen, wingebieden en grondprijzen.

Kansen rondom grondstromen, wingebieden en grondprijzen

Voor de meeste typen natuurlijke keringen is grond nodig. Het griend Noordwaard is een voorbeeld waar weinig tot geen behoefte is aan het opbrengen van grond: de bomen kunnen in de bestaande grond worden aangeplant. Bij grondstromen in het rivierengebied moet onderscheid worden gemaakt naar klei en zand. Klei kan anders worden ingezet.

Grondstromen bij (nautisch) baggeren

Er wordt op meerdere plaatsen in het rivierengebied gebaggerd om de vaargeul op diepte te houden. Het zand dat wordt uitgebaggerd wordt momenteel enkele kilometers bovenstrooms weer teruggestort, met het doel de zogenaamde autonome bodemdaling tegen te gaan. Deze kan problemen opleveren voor de scheepvaart en voor vaste

constructies en kan door het omlaag trekken van de grondwaterspiegel tot problemen in de omgeving leiden.

In het benedenrivierengebied wordt (of werd tot voor kort) commercieel zand gewonnen en aan de rivier onttrokken. Op deze trajecten levert verdere verlaging van het zomerbed lokaal geen problemen op (zelfs een verlaging van het MHW), maar deze verlaging van het bed breidt zich geleidelijk steeds verder stroomopwaarts uit, waar wel problemen kunnen ontstaan (zie boven).

Grondstromen bij ruimte voor de rivierprojecten

Bij de aanleg van Ruimte voor de Rivierprojecten worden uiterwaarden verlaagd en nevengeulen gegraven en daarbij komt grond vrij. Bij elk project wordt gestreefd naar een gesloten grondbalans, vooral ook uit oogpunt van kosten. Er is dus vooral sprake van een lokale grondstroom die binnen het projectgebied kan worden ingezet. In veel van de lopende Ruimte voor de Rivierprojecten wordt de vrijgekomen grond zo ingezet dat de invloed op het MHW minimaal is.

Grondstromen bij MHW baggeren

Het is denkbaar dat we dijken versterken met materiaal dat vrijkomt bij het (cyclische) morfologische beheer van het rivierbed. We zien nu vaak bij uiterwaard vergraving dat men niet weet waar men de grond moet laten. Overigens hangt dit deels ook samen met de vervuilingsgraad van de grond.

4.5 Aandachtspunten en implementatiestrategieën

Aandachtspunten bij de toepassing van natuurlijke keringen zijn:

- Hoe om te gaan met voorland bij het toetsen en ook bij het ontwerp. Het voorbeeld van het Haringvliet-Hollands Diep geeft al aan dat er onduidelijkheden zijn over belang en werking van voorland en hoe dat mee te nemen.
- Zoals eerder aangegeven wordt in het benedenrivierengebied het aanwezige voorland soms wel en soms niet (volledig) meegenomen in de toetsing van de waterkeringen.
- Vooral bij oude rivierdijken spelen ook landschappelijke en cultuurhistorische bezwaren tegen maaiveldverhoging voor de dijk. Het herstel van grienden loopt soms parallel met landschapsherstel, mogelijk liggen hier meer aanknopingspunten.
- Er zijn plaatsen waar grienden en maaiveldverhoging zullen leiden tot negatieve effecten op bestaande natuurwaarden.
- Een mogelijke discussie is de toepassing van opgaande golfremmende vegetatie als deze onder extreme omstandigheden meer in de stroom is gelegen. De vraag is dan of de afname in golfoploop die ermee bereikt wordt, opweegt tegen de extra opstuwing.

4.6 Samenvattend: perspectief en maatwerk

In het rivierengebied liggen verschillende kansen voor natuurlijke keringen. Afhankelijk van de situatie bieden deze kansen voor kostenbesparing en meerwaarde voor natuur en recreatie. De typen natuurlijke keringen die meerwaarde kunnen bieden in het rivierengebied zijn voorland/gorzen, aanleg van wilgenbossen (grienden) en andere vormen van natuurlijk voorland bedoeld voor een reductie van de golfoploop van dijken. Een sprekend voorbeeld van een natuurlijke kering die goedkoper is dan een gangbare oplossing is het golfremmend griend Noordwaard. Kansen liggen in het inpassen van voorland in de toetsing en het verbinden van landschapsherstel aan het realiseren van natuurlijke keringen.

5 PERSPECTIEF NATUURLIJKE KERINGEN

5.1 Inleiding

Het perspectief voor de toepassing van natuurlijke keringen hangt af van meerdere factoren. De kosten van een natuurlijke kering in verhouding tot de kosten van een gangbare oplossing spelen daarbij een grote rol. Maar ook als een natuurlijke kering iets duurder uitvalt, kan ze vanwege de meerwaarde voor natuur, recreatie of ander medegebruik en de betere mogelijkheden voor opschalen op termijn toch de voorkeur genieten. Wat betreft kostenbesparing zijn al eerder de volgende kansen benoemd:

- in bepaalde gevallen zijn natuurlijke keringen goedkoper in aanleg, inclusief (gekapitaliseerde) beheer en onderhoudskosten;
- door slim gebruikt te maken van beschikbare en goedkope grondstromen bestaat er verder perspectief op kostenbesparing;
- de mogelijkheid om gefaseerd aan te leggen maakt het mogelijk om kosteneffectiever om te gaan met onzekerheden.

Deze kansen kunnen op termijn worden benut door in te spelen op toekomstige ontwikkelingen zoals klimaatverandering, grootschalige infrastructurele werken of wijzigingen in het peilbeheer van het IJsselmeer. Daarop wordt onderstaand per deelgebied ingegaan.

Voor een verdere uitrol van natuurlijke keringen is verdere ontwikkeling nodig op verschillende punten zoals ontwerp, controleerbaarheid en formele toetsbaarheid van de keringen en het omgaan met onzekerheden die nu eenmaal inherent zijn aan werken met de natuur. Ook liggen er optimalisatiemogelijkheden op het vlak van beheer in combinatie met andere functies zoals natuur. Er kunnen hierover goede afspraken worden gemaakt tussen partijen. Hier wordt in 5.3 op ingegaan.

Voor een overzicht van mogelijke toepassingen van natuurlijke keringen zijn enkele overzichtskaarten opgesteld (zie bijlage I).

5.2 Perspectief voor natuurlijke keringen per deelgebied

Er zijn meerdere dijktrajecten in Nederland waar een natuurlijke kering mogelijk een goedkoper alternatief vormt dat robuuster is, beter aan te passen aan veranderende eisen en waarbij de investeringen direct ook meerdere doelen dienen. Onderstaand is daar per deelgebied een inventarisatie van gemaakt.

Wanneer ook rekening wordt gehouden met ontwikkelingen op lange termijn, komen daar nog mogelijkheden bij. Daar wordt in 5.2.4 op ingegaan.

5.2.1 IJsselmeergebied

Markermeer

Dijken Flevoland Markermeer: kleine taakstelling maakt een veel rijkere oever mogelijk

De bijdrage van golfoploop aan de vereiste kruinhoogte van de dijken bedraagt voor de dijken om het Markermeer tussen de 0,6 meter en 1,7 meter. Met een voorland kan deze

golfoploop vrijwel geheel worden voorkomen. Ten opzichte van de vereiste aanpassing bij wijziging van de norm (naar 1/10.000) of strengere hydraulische randvoorwaarden leidt dit tot een aanzienlijk kleinere toename van de ontwerphoogte. Een natuurlijk voorland is hier kosteneffectiever dan een gangbare oplossing als zij robuust en eenvoudig wordt ontworpen. Als tijd kan worden genomen voor realisatie, kan een natuurlijk voorland veel goedkoper worden omdat de aanleg kan worden afgestemd op het vrijkomen van (goedkope) grond. Daarnaast is er meerwaarde voor waterkwaliteit (troebelheid), natuur en de mogelijkheid voor recreatief medegebruik, vooral in de directe omgeving van stedelijk gebied. Een aandachtspunt zijn de beheer- en onderhoudskosten. Deze kunnen toenemen in vergelijking met een gangbare oplossing. Het voorland kan tegen de dijk of los van de dijk worden aangelegd en plaatselijk worden gecombineerd met verruwing van het talud en het werken met een palenbos. Zo kan per locatie maatwerk worden geleverd.

Oude zeedijken Hoorn-Amsterdam: robuust grondlichaam als antwoord op stabiliteitsproblemen

Bij deze oude zeedijken is er vooral een probleem met de stabiliteit van de dijk. Deze dijken zijn op veel plaatsen op een dik pakket veen gelegen. De toetsing wijst uit dat vanwege instabiliteit veel bredere dijken nodig zijn. Er zijn overigens wel vragen te stellen bij deze toetsing, die gebaseerd is op veel "worst case" aannames.

Er wordt in lopende MER-trajecten (Edam-Amsterdam en Hoorn-Edam) gekeken naar een gangbare versterking (een forse, veel bredere dijk met dezelfde hoogte), een constructieve oplossing (een diep geslagen damwand) en een oeverdijk. Deze laatste vormt een tegen de bestaande dijk geplaatst grondlichaam groot genoeg om de waterkerende functie van de bestaande dijk volledig over te nemen. Omdat in de oeverdijk minder rekening hoeft te worden gehouden met golfoploop is de kruinhoogte lager dan van de bestaande dijk en net boven MHW gelegen.

Een oeverdijk is waarschijnlijk aanzienlijk kosteneffectiever dan een gangbare oplossing. Hoeveel kosteneffectiever hangt vooral af van de zand/grondprijs. Op basis van een eenheidsprijs van 9 euro/m³ is een oeverdijk mogelijk gemiddeld 30% goedkoper, ondanks een vrij ruime post onvoorzien (van 40%) die in de begroting is opgenomen.

Er is meerwaarde voor natuur en recreatie, maar er zijn ook trajecten waar deze oplossing niet de voorkeur heeft vanwege cultuurhistorische en landschappelijke waarden. Zo is voor het eiland Marken, in zijn geheel aangewezen als monument, verder afgezien van de inzet van een oeverdijk. Er is discussie over het instellen van een meer natuurlijk peilregime. Dit zal in combinatie met een oeverdijk meer natuurwaarde opleveren.

Er is belangstelling en in toenemende mate ook draagvlak voor de oeverdijk. Dit komt mede doordat de gangbare versterking meer kost dan op de begroting is gereserveerd. Bovendien zou een veel bredere dijk op veel plaatsen ook ten koste van het landschap gaan.

Houtribdijk: bij voorkeur combineren met een oermoeras

Enkele jaren geleden is voor de Houtribdijk een m.e.r.-procedure gestart omdat bij een toetsing aan een nieuwe, hogere 1/10.000 norm bleek dat de dijk niet meer voldoet. Voor deze dijk speelt vooral een bekledingsprobleem, maar ook micro- en macro-instabiliteit komt voor. Gekoppeld aan de mogelijke versterking zijn ook andere wensen in beeld gebracht waaronder een verbetering van de infrastructuur en een betere bereikbaarheid met oog op onderhoud. De slechte bereikbaarheid is mede een reden dat de huidige dijk maar beperkt wordt onderhouden. Ondertussen is de procedure stopgezet en is de Startnotitie nooit gepubliceerd, omdat er vraagtekens worden gezet bij de normstelling.

In de startnotitie zijn meerdere alternatieven aangegeven waaronder de aanleg van voorland. In het kader van de TMIJ is in samenhang met de Houtribdijk ook een groot oermoeras gepland. Een combinatie met een mogelijke voorlandontwikkeling ligt daarbij voor de hand, bijvoorbeeld in de vorm van een breed moeras dat langs een groot deel van

de te versterken dijk is gelegen. Investerings dienen zo twee doelen en de totale kosten zijn dan aanzienlijk lager dan dat elk doel los van elkaar wordt nagestreefd.

IJsselmeer

Dijken Flevoland IJsselmeer: flexibel anticiperen op een stijging van het meerpeil

De aan het IJsselmeer gelegen dijken van Flevoland en Noordoostpolder zijn nieuwe dijken zonder een stabiliteitsprobleem. Er speelt hier (nog) geen discussie over een mogelijke ophoging van de norm. Wellicht moet op termijn rekening worden gehouden met een meerpeil dat met de zeespiegel meestijgt. Op termijn kan het daarbij gaan om een aanzienlijke peilopzet. Dit is nu onderwerp van discussie.

Met een voorland kan de vereiste kruinhoogte van de dijken met meer dan een meter worden teruggebracht. Dit is ruim voldoende om een peilstijging van 30 cm te accommoderen. Ook bij eventueel daarop volgende verhogingen van het peil tot meer dan een meter kan de veiligheidsnorm vervolgens nog steeds eenvoudig met een voorland worden gehaald.

Dijken Friese kust: natuurlijk voorland dat meegroeit met het peil

De dijken voor de Friese kust zijn oude zeedijken. Voor zover we nu kunnen nagaan speelt hier geen veiligheidsopgave in de huidige situatie. Voor het noordelijke IJsselmeer wordt gekeken naar een mogelijke peilstijging op langere termijn. Zelfs een stijging van 100 cm leidt niet tot een kruinhoogte tekort voor de oude zeedijken.

Aandachtspunt is hier echter vooral het ondiepe voorland, dat bij een beperkte stijging van het IJsselmeerpeil al onderloopt met grote gevolgen voor aanwezige natuurwaarden. Er is een pilot in ontwikkeling waarbij wordt gekeken of het voorland op een natuurlijke wijze gevoed kan worden met zand, in de hoop dat het voorland met een stijging van het IJsselmeerpeil mee kan groeien. Voor de kust van Friesland is bij de overheersende zuidwestelijke wind sprake van zandtransport richting de kust. Door meer zand voor transport beschikbaar te maken kan naar gehoopt het voorland meegroeien.

Dijken IJsselmeer HHNK

Voor de Wieringermeerdijk is gekeken naar de mogelijke inzet van een vooroeverdam. Deze blijkt meer dan 2 keer zo duur als het vervangen en versterken van de aanwezige bekleding. Er speelt op dit moment geen kruinhoogte tekort. In een andere studie (zie voorbeeld lange termijn peilen IJsselmeer) zijn een voorlanddam en voorland als oplossing bekeken ingeval het meerpeil 60 of 100 cm toeneemt. In dat geval blijken deze oplossingen plaatselijk kosteneffectiever dan een gangbare kruinverhoging.

5.2.2 Wadden en estuaria

De Wadden

Waddenzeedijken Friesland en Groningen

Bij de recente toetsing van de dijken langs de Friese en Groningse kust bleek al het belang van het aanwezige voorland. De derde toetsing wijst op veel problemen met bekleding, in verhouding met de 2^e toetsronde lijken veel meer dijktrajecten te worden afgekeurd. Dit komt mede door een wijziging in hydraulische randvoorwaarden, die neerkomt op een verhoging van de benodigde kruinhoogte met 0,5 meter. Dit doet vermoeden dat het ophogen van een deel van het voorland veelal afdoende moet zijn. Er zijn mogelijkheden om meer voorland te ontwikkelen in de vorm van kwelders waar deze nu ontbreken. Hiermee kan lokaal enige golfreductie worden bereikt en misschien ook het gewenste areaal aan jonge kwelders worden uitgebreid. Op termijn is een kwelder niet voldoende

en moet aan een kweldernok worden gedacht, mogelijk met een breedte van 60 meter of meer. Deze nok komt dan als hoog voorland op het achterste deel van de kwelder tegen de dijk aan te liggen. Dit is technisch goed mogelijk maar vraagt waarschijnlijk om compensatie van verloren gegaan kwelderoppervlak. Bij grotere oppervlakken kan daarbij ook sprake zijn van significant negatieve effecten.

Waddendijken Texel

De Waddendijken van Texel moeten worden versterkt. Er is hier sprake van een complexe opgave die samenhangt met veel verschillende dijktrajecten met verschillende problemen. Ook speelt het probleem van de migratie van getijdengeulen. Na bijstelling van de hydraulische randvoorwaarden blijkt de vereiste versterking beperkt. Er is een ontwerp geschetst met daarin ook voorland en duinen als onderdeel van de veiligheidoplossing voor het trajectdeel dijk Prins-Hendrik. Er is nog niet gekozen voor dit alternatief.

Afsluitdijk: inbedding in kwelders kan tegen vergelijkbare kosten

De Afsluitdijk bleek bij recente toetsing onvoldoende hoog en ook onvoldoende bekleding te hebben voor een verhoogde norm van 1/10.000. Het hoogtetekort bedraagt bij deze norm meerdere meters.

Voor de Afsluitdijk heeft het project Toekomstverkenning Afsluitdijk een aantal ontwerpen opgeleverd waarin gebruik wordt gemaakt van natuur en natuurlijke oplossingen. In dit verband wordt vooral gekeken naar de oplossing waarbij kwelders in combinatie met een zandlichaam, de kweldernok, worden ingezet als versterking van de Afsluitdijk. De kosten van aanleg, beheer en onderhoud liggen bij een lage zandprijs in dezelfde orde als een robuust referentiealternatief. Bij een hogere zandprijs is dit alternatief een stuk duurder dan een gangbare versterking. Het alternatief levert wel veel kwelders op in een deel van de Wadden waar verhoudingsgewijs weinig kwelder aanwezig is.

Er zijn echter belemmeringen, die vooral liggen op het vlak van de natuurwet- en regelgeving. Er is een afgeslankte oplossing in het kader van een planMER getoetst, die alleen uit een zandnok bestaat en deze blijkt tot significant negatieve effecten te leiden op een beschermd habitatype. Mede daarom heeft de Raad voor de Wadden negatief geadviseerd. Ondertussen is besloten tot een overslagdijk waarvoor alleen de bestaande bekleding moet worden versterkt. Dit is veruit de goedkoopste oplossing. De eis dat maar zeer beperkt zout water over de dijk mag slaan is daarmee komen te vervallen.

De Zeeuwse Delta

Kust van Zeeuws-Vlaanderen: duinen voor en achter dijken

Op meerdere plaatsen langs de kust van Zeeuws-Vlaanderen zijn zwakke schakels gelegen en zijn prioritaire zwakke schakel projecten in gang gezet. Voor de kust van Zeeuws-Vlaanderen zijn voor meerdere trajecten voorkeursoplossingen gekozen waarbij gebruik wordt gemaakt van duin en strand als onderdeel van de veiligheidoplossing, ook op plaatsen waar nu dijken liggen. Op het traject Herdijkte polder en ook Nieuwvliet Groede is gekozen voor het “verduinen” van de dijk. Dit blijkt goedkoper dan een hybride oplossing (“duin voor dijk”), omdat deze laatste nog steeds een dure aanpassing van de dijkbekleding vraagt. Ook op langere termijn blijkt een zachte verdediging het meest kosteneffectief op beide trajecten, ondanks de hoge prijs van zand op deze plaats, maar dankzij een flauw oplopende vooroever. De kostenbesparing ten opzichte van gangbare dijkversterking ligt in de orde van 20% of meer. Beide trajecten zijn al aangelegd en vanwege een lage zandprijs waren de aanlegkosten beduidend lager dan begroot.

Een geheel andere oplossing is gekozen voor het traject Waterdunen. Hier wordt uitgegaan van het landwaarts van de dijk aanleggen van een duin. De dijk zelf wordt versterkt tot 1/500, maar de combinatie met het aanliggende duin levert de vereiste

1/4000 op. Met het benodigde breedte van het duin wordt al geanticipeerd op een veel grotere taakstelling. De gekozen oplossing kan gemakkelijk worden opgeschaald binnen de aangelegde duinen. Bij de kosten speelt vooral een rol dat grond lokaal vrijkomt bij de aanleg van een groot intergetijdengebied dat onderdeel van het project vormt.

Oosterschelde

Voor de Oosterschelde is sprake van een probleem voor de Oesterdam die als onderdeel van de deltawerken is gerealiseerd. De dijken langs de Oosterschelde zijn oude zeedijken en voldoen. Voor de Oesterdam is een hybride oplossing gekozen, waarbij de dam wordt ingepakt met zand. Het is een oplossing die periodiek groot onderhoud vereist. Vanwege de ligging is er sprake van erosie, maar het zand dat daarbij verdwijnt, komt ten goede aan de voorgelegen platen en draagt bij aan het verminderen van het probleem van de zandhonger in de Oosterschelde. Het is niet duidelijk of deze veiligheidsoplossing per saldo goedkoper is dan een gangbare versterking.

Uit een door Haskoning (2007) uitgevoerde studie blijkt dat het suppleren van (zand)platen aanzienlijk goedkoper is dan het versterken van de afgekeurde bekleding. Het is niet duidelijk of deze weg wordt doorgezet.

5.2.3 Rivierengebied

Rijnmond

Haringvliet

Het Haringvliet is vanouds een estuarium met schorren. De aanwezigheid van deze voormalige schorren (nu: gorzen) is van belang voor de toetsing van de huidige dijken. Deze zijn in de vorige toets onvoldoende meegenomen. De (model)schematisatie is in de 3^e toetsing aangepast. Dit scheelde plaatselijk orde 0,5 meter in de vereiste dijktafelhoogte. Dit geeft al aan dat gorzen lokaal hun waarde weten te bewijzen. Dit komt mede doordat het toetspeil langs het Haringvliet-Hollands Diep vanwege de ligging achter de Haringvlietssluisen niet zeer veel hoger is dan het maaiveld van de gorzen.

Volkerak-Zoommeer

Het Volkerak-Zoommeer (VZM) kan worden gezien als het sluitstuk voor Ruimte voor de Rivier. Het meer wordt ingericht als een overloopgebied voor de benedenrivieren. Bij maatgevende omstandigheden zijn de keringen gesloten en vult het benedenrivierengebied zich als een badkuip. Door water af te laten naar het VZM wordt de badkuip tijdelijk vergroot en is de peilstijging in het benedenrivieren gebied aanzienlijk minder.

Voor het VZM moet rekening worden gehouden met een maatgevende waterstand van NAP + 2,1 meter. Dijken die worden afgekeurd worden met het oog op de langer termijn verhoogd rekening houdend met een MHW van NAP + 3 meter. Bij toetsing blijkt dat dijken waarvoor gorzen (voormalige verzoette schorren) zijn gelegen tot een MHW van NAP + 1,5 meter niet hoeven te worden aangepakt vanwege onvoldoende bekleding. Er is geen sprake van een kruinhoogte tekort. Dit impliceert dat het verhogen van het voorland met ca 0,5 m op veel plaatsen dijkversterking zou kunnen voorkomen. Er is echter niet voor die oplossing gekozen. De voor de dijk gelegen gorzen zijn onderdeel van een Natura 2000 gebied. Het ophogen zou kunnen leiden tot significant negatieve effecten op beschermde habitats.

Benedenrivieren

Op veel plaatsen in het benedenrivierengebied wordt in het kader van Ruimte voor de Rivier maatregelen genomen. Een van de grootste projecten vormt de Noordwaard. Hier

worden door ontpolderen en ontgraven een doorstroomgebied ingericht waarmee water bovenstrooms van de Merwede wordt afgeleid. Onderdeel van het project is ook de aanleg van een golfremmend wilgenbos. Door dit bos wordt de golfoploop zoveel verkleind dat de achterliggende dijk niet hoeft te worden verhoogd. Het is onduidelijk of daarmee een meer kosteneffectieve oplossing wordt geboden.

Er is kort binnen het benedenrivierengebied gekeken naar andere toepassingsmogelijkheden voor een golfremmend bos. In principe kan deze oplossing buiten de stroom op veel plaatsen voor de dijk worden toegepast, bijvoorbeeld in combinatie met de wens tot landschapsherstel. Op veel plaatsen zijn de laatste decennia veel karakteristieke grienden uit het rivierenlandschap verdwenen. Een verkenning van de mogelijkheden binnen het rivierengebied vraagt meer tijd vanwege de vele locatieafhankelijke factoren (bijvoorbeeld landschap, natuur, golfaandeel).

Bovenrivieren

De kruinhoogte van de dijken in het rivierengebied wordt maar beperkt bepaald door de golfhoogte. Er is tijdens maatgevend hoog water minder sprake van grote wateroppervlakken. Het beperken van de kruinhoogte door middel van grienden of voorland speelt hier minder een rol.

Bij de 3^e toetsing bleek dat veel dijken in het rivierengebieden problemen hebben met piping. De oplossing hiervoor is het verlengen van de kwelzone of het verkleinen van het kwel-verval. Het eerste kan door middel van een steunberm, het tweede wellicht door een kwelkade achter de dijk.

5.2.4 Rekening houden met natuurlijke dynamiek en de lange termijn

Het werken met natuurlijke processen betekent ook rekening houden met langere termijnen, met trends en dynamiek.

Rivierengebied

Integreren vegetatie: kijken naar de combinatie van MHW en Golfoploop

Voor het rivierengebied wordt op dit moment sterk op de vereiste MHW verlaging gekoerst en daartoe ook ontworpen. De meeste ruimte voor de rivieroplossingen kijken daarbij vooral naar het optimaliseren van het doorstroomprofiel. Hierbij worden uiterwaarden verlaagd, opgehoogde bedrijfsterreinen afgegraven en ook meidoornhagen en zomerkades afgegraven. In het project Stroomlijn wordt vegetatie gemaaid en weggenomen om de ruwheid van het doorstroomprofiel te herstellen. Dit is allemaal goed voor de doorvoer en het MHW. Echter ook de strijklengte voor de wind en de diepte neemt toe waardoor golven zich beter kunnen ontwikkelen. Het echt meenemen van de potentie van golfremmende vegetatie vraagt om een heroriëntatie in het ontwerpproces waarbij naar de combinatie van golfreductie en MHW verlaging wordt gekeken met kritische dijktrajecten als ankerpunt. Op die wijze kunnen wellicht kosteneffectievere oplossingen worden ontworpen.

Morfologische trends en dynamiek in het rivierengebied

In het rivierengebied is sprake van de migratie van zandgolven in het systeem waardoor er, met name na hoogwaters, sprake is van tijdelijke verhogingen van het zomerbed. Veranderingen in de zandbalans, als gevolg van ontwikkelingen benedenstrooms, maar ook als gevolg van baggeren, zijn ook van grote invloed op de ontwikkeling van het zomerbed. Bij het onderlopen van de uiterwaarden vindt een continue ophoging van het maaiveld plaats door afzetting van slib. Ook is er sprake van een aanzienlijke zomerbedverlaging tijdens hoogwaterafvoeren. Alle ruimte voor de rivier maatregelen

leiden tot een morfologische reactie van de rivier, ook grootschalig en langjarig, maar momenteel wordt in hoofdzaak naar de consequenties voor nautisch baggeren gekeken. Veel Ruimte voor de Rivier projecten richten zich op een taakstelling van centimeters. Bij voornoemde lange termijn ontwikkelingen, maar ook tijdens een hoogwatergolf, gaat het echter eerder om decimeters dan centimeters.

IJsselmeer

Ook in het IJsselmeergebied is sprake van langjarige processen. Zo is er sprake van golfgedreven zandtransport, weliswaar minder intensief dan aan de kust, maar toch een proces dat kan worden ingezet voor voorland ontwikkeling.

Anticiperend en adaptief versterken en compenseren

Voor het noordelijke IJsselmeer loopt een discussie over de peilen. Die nemen mogelijk toe met oog op onder vrij verval lozen en voor het opbouwen van een zoetwaterbuffer. De peilverhoging kan geleidelijk verlopen en zal ook nog niet op korte termijn starten. Dit betekent dat er tijd is om anticiperend voorland te ontwikkelen, waarbij de aanwezige processen, waaronder zandtransport kunnen worden ingezet. Zandtransport maakt de ontwikkeling van voorland mogelijk tot ongeveer gemiddeld hoog peil. Uit berekeningen blijkt dat voorland al effectief is wanneer aangelegd op gemiddeld peil, maar effectiever wordt bij een hogere ligging. Doordat ook wordt gedacht over een hoger voorjaarspeil kan impliciet ook meer worden gedaan met een natuurlijke ontwikkeling van voorland. De geleidelijke aangroei via natuurlijke zandaanvoer richting kust is waarschijnlijk goedkoper dan het laaggewijs aanbrengen dat nu met oog op de zetting vaak wordt aanbevolen.

Waddenzee en Zeeuwse Delta

Slim inspelen op getijgeulen en platen

Ook in onze estuaria is sprake van lange termijn trends en dynamiek. Zo zijn er nog steeds ontwikkelingen in het Waddengebied die in gang zijn gezet met de bouw van de Afsluitdijk en inpolderingen aan de rand. Ook de Deltawerken hebben allerlei morfologische ontwikkelingen in gang gezet, zoals de ontwikkeling van de voordelta. Het meest kenmerkend is de migratie van getijgeulen. Op enkele plaatsen migreren deze in de richting van de kering en leiden daar tot problemen. De migratie van geulen is niet onoverkomelijk en kan worden gestuurd. Het huidige beleid is vooral gericht op het stabiliseren van de geul in zijn huidige ligging, maar er zijn andere mogelijkheden. Door de functie van een geul onder de kust over te laten nemen door een verder van de kust gelegen geul kan het golfgedreven transport richting kust de overhand krijgen en kan zand richting de kust bewegen.

Leg de link tussen veiligheid en baggeronderhoud

Ook het baggerbeleid blijkt lokaal van grote invloed. In de Westerschelde is periodiek baggeren van drempels nodig. Het zand werd in het verleden afgevoerd en in het westelijke deel van het estuarium gestort. Sedert enige tijd wordt het zand binnen de morfologische cel teruggestort, hetgeen tot een aanzienlijke groei van de aanwezige platen heeft geleid. Baggerbeleid heeft hier via platen en schorren invloed op het voorland van de dijken.

Bij Den Helder onderbreekt de marine haven het kustlangtransport van sediment. Jaarlijks wordt 1 miljoen m³ zand uit de haven gebaggerd en in het Marsdiep gestort. Door dit zand in plaats daarvan meteen ten zuidoosten van de haven te storten kunnen in principe de kwelders voor de Balgzanddijk aangroeien, iets dat nu nauwelijks gebeurt, omdat er niet voldoende zand wordt aangevoerd.

Ook de Eurogeul wordt met baggeren op diepte gehouden. Op dit moment wordt het zand ten noorden van de geul in zee gestort, maar buiten de actieve zone. Het zand draagt zo niet bij aan het onderhoud van de kust. Bij plaatsing binnen de actieve zone net ten noorden van Hoek van Holland kan voor de Delflandse kust een tweede zandmotor worden aangelegd. Deze draagt op termijn vooral bij aan de verdere aangroei van de Westlandse Zanddijk, het smalste stuk duinen in deze kust.

Op veel plaatsen vindt onderhoud van vaargeulen en havens plaats. Veel van dit materiaal is geschikt voor de aanleg van voorland (zie o.a. Harlingen, Eemshaven).

5.3 Conclusies ten aanzien van het perspectief voor natuurlijke keringen

In deze verkenning zijn een aantal voorbeelden van natuurlijke keringen gepresenteerd en zijn de ervaringen die daarbij zijn opgedaan beschreven. De hoofdconclusies van de verkenning zijn:

- Natuurlijke keringen bieden kansen voor *kostenbesparing* bij de aanleg. Dit geldt nog steeds wanneer eventuele meerkosten voor beheer en onderhoud worden meegerekend;
- Natuurlijke keringen kunnen gefaseerd worden aangelegd en zo *flexibiliteit* bieden bij adaptief beheer en het omgaan met onzekerheden (klimaat). Dit vergroot de mogelijkheden voor kostenbesparing;
- Natuurlijke keringen zijn veelal *robuuster*, waardoor de gevolgen bij (gedeeltelijk) falen geringer kunnen zijn;
- Natuurlijke keringen dragen wezenlijk bij aan de *kwaliteit van natuur, landschap en recreatie*;
- Een keuze voor natuurlijke keringen brengt de noodzaak met zich mee om locatiespecifieke *toetsingscriteria en richtlijnen* te ontwikkelen voor de veiligheidsopgave van bepaalde dijkvakken. Daarbij kan gebruik gemaakt worden van de kennis en expertise die ontstaat bij de ontwikkeling van deze keringsconcepten;
- Een keuze voor natuurlijke keringen maakt het nodig alle elementen van zo'n kering onder te brengen in hetzelfde *informatiesysteem*;
- Het gebruik van natuurlijke oplossingen in waterkeringen plaatst de huidige *natuurwetgeving* mogelijk ook in een ander perspectief, waardoor wellicht een andere benadering van vigerende natuurrichtlijnen denkbaar wordt;
- Dit rapport toont aan dat het *perspectief voor natuurlijke keringen* in meerdere opzichten – financieel, ecologisch, maatschappelijk - kansrijk is. De toepasbaarheid van natuurlijke keringen is maatwerk. Niet overal zijn natuurlijke oplossingen mogelijk of genieten zij de voorkeur boven gangbare keringen.

5.4 Aandachtspunten en aanbevelingen

Om de toepassing van natuurlijke keringen op grotere schaal te kunnen uitrollen en gebruik te kunnen maken van de aanwezige kansen zijn er enkele aandachtspunten. Daarbij kan onderscheid worden gemaakt in aandachtspunten op het vlak van toetsing en waardering en op het gebied van kostenbesparing. Onderstaand wordt hierop kort ingegaan en worden enkele aanbevelingen gedaan.

5.4.1 Toetsing en waardering

Op het gebied van toetsing en waardering komen uit de verkenning de volgende aandachtspunten naar voren:

- Het *ontbreken van een formeel toetsingsinstrumentarium* om een oeverdijk, voorland of golfreducerend bos te toetsen. Dit werkt overdimensionering van natuurlijke oplossingen in de hand, waarmee deze onnodig duur worden;
- De *waardering van het medegebruik* van een natuurlijke kering is nog onvoldoende in beeld. Dit geldt zowel voor wat betreft de meerwaarde van bijvoorbeeld recreatief medegebruik of woningbouw als voor de vermeden kosten voor het verwezenlijken van andere doelen zoals natuur.

Op basis van deze aandachtspunten wordt aanbevolen om formele criteria en richtlijnen te ontwikkelen voor de toetsing van natuurlijke keringen en om de waardering van het medegebruik en vermeden kosten mee te nemen in de afweging voor de keuze van een kering.

5.4.2 Kostenbesparing

Belangrijke kansen voor kostenbesparing liggen in:

- *het optimaliseren van het ontwerp*, in samenhang met de toetsbaarheid. Momenteel leidt een te robuust ontwerp tot te hoge kosten;
- *het gebruik maken van beschikbare en goedkope grondstromen*;
- *het faseren van de aanleg*, kijkend naar de (geleidelijke) ontwikkeling in de maatgevende omstandigheden;
- het in een kosten-batenanalyse meenemen van *medegebruik en vermeden kosten*, vooral als met een natuurlijke dijk meerdere doelstellingen worden gediend, zoals recreatie en natuurontwikkeling.
- Het in beeld brengen en afwegen op basis van de totale kosten van een kering, op basis van *aanleg, beheer en onderhoud*. Dit hangt ook samen met het goed regelen van het beheer.

In hoeverre deze kansen ook daadwerkelijk kunnen leiden tot kostenbesparing verschilt van geval tot geval. Aanbevolen wordt daarom om deze kansen telkens expliciet in beeld te brengen en mee te nemen in de afweging.

5.4.3 Juridisch kader

Tot slot verdient het aanbeveling om wettelijke kaders voor veiligheidsopgaven en natuurdoelstellingen, met name voor gebieden waar (Europese) natuurwetgeving van kracht is, met elkaar in verband te brengen.

Het is ook van groot belang dat de beheers- en onderhoudsverantwoordelijkheden goed zijn geregeld. Het is essentieel dat alle onderdelen van de natuurlijke kering, die bijdragen aan de veiligheid, worden opgenomen in de legger/keur van de desbetreffende kering. In dit verband moeten ook duidelijke regels worden opgesteld om controle en beheer van de dijk mogelijk te maken, ook in geval van andere functies, zoals natuur.