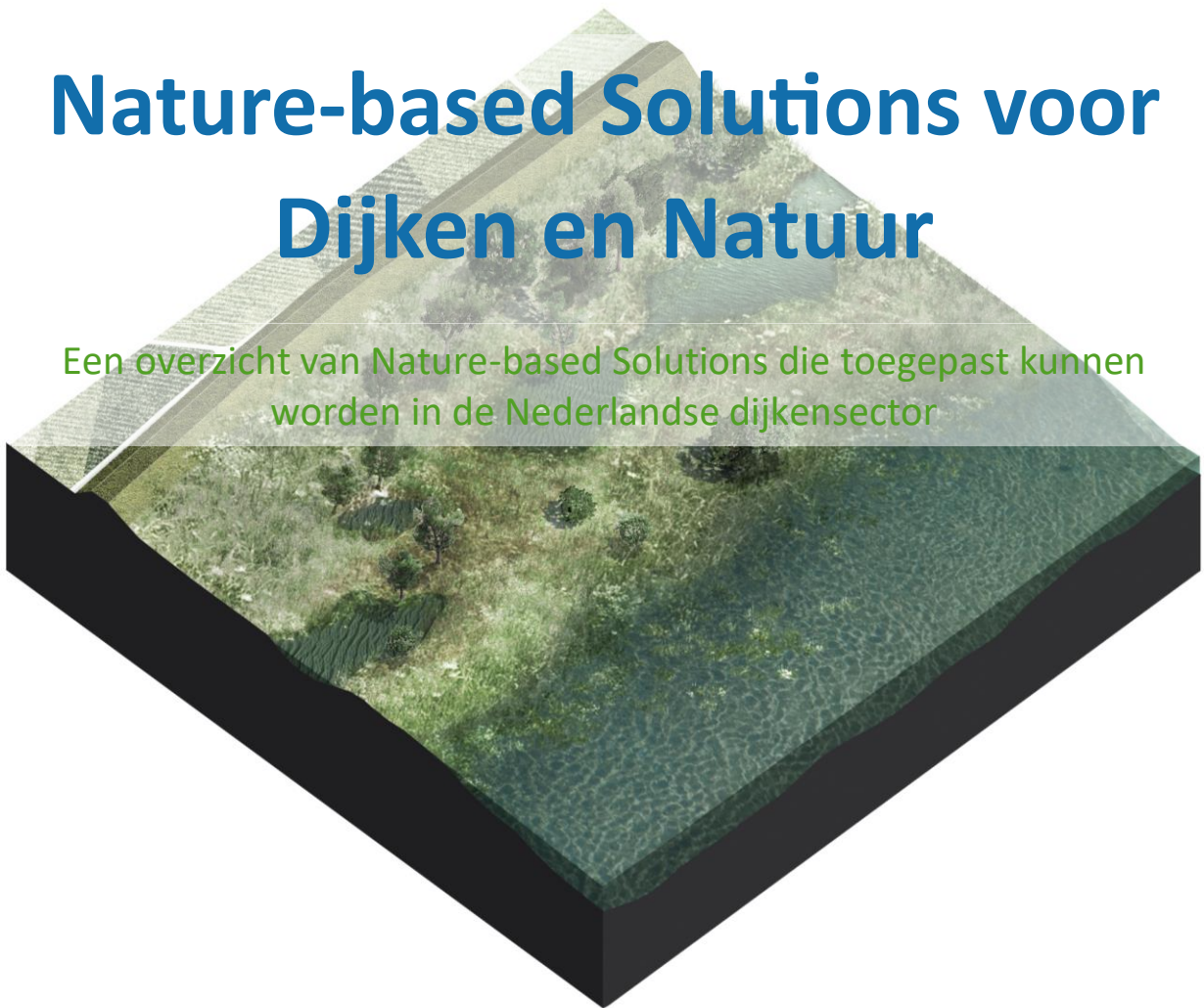


Nature-based Solutions voor Dijken en Natuur

Een overzicht van Nature-based Solutions die toegepast kunnen
worden in de Nederlandse dijkensector



Auteurs: Suan Tie Pwa (Witteveen en Bos), Cees Oerlemans (HKV), Bas Bakker (Boskalis), Jan Valk (RHDHV), Jochem Caspers (HKV), Annika Trignol (Boskalis) & Daniël Ouddeken (EcoShape)

Reviewers: Annemargreet de Leeuw (Deltares), Natasha Y. Flores (Deltares), Vincent Vuik (Deltares) & Jos van Zuijlen (Sweco)

Amersfoort, 10 Oktober 2024

Contact

Utrechtseweg 9
3811 NA
Amersfoort
The Netherlands

info@ecoshape.nl
www.ecoshape.nl



Inhoud

1	Inleiding.....	5
1.1	Benadering	5
1.2	Doel van de studie	6
1.3	Koppeling met roadmap Duurzaamheid HWBP	6
1.4	Innovatie van de studie	6
1.5	Het doel van NBS-concepten: waterveiligheid én natuur	7
1.6	Leeswijzer	8
2	Dijkversterking in combinatie met aanpassing rivier	9
2.1	Beschrijving	10
2.2	Waterveiligheid	10
2.3	Bijdrage aan Natuurdoelen	13
2.4	Ontwerp, aanleg & Beheer	16
2.5	Procesaanwijzingen	17
2.6	Voorbeelden	20
2.7	Referenties.....	20
3	Ontwikkeling kwelder & intergetijdengebied	21
3.1	Beschrijving	22
3.2	Waterveiligheid	25
3.3	Bijdrage aan Natuurdoelen	27
3.4	Ontwerp, aanleg & Beheer	27
3.5	Procesaanwijzingen	30
3.6	Voorbeelden	32
3.7	Referenties.....	32
4	Aanleg begroeide vooroever en voorland	35
4.1	Beschrijving	36
4.2	Waterveiligheid	38
4.3	Bijdrage aan Natuurdoelen	42
4.4	Ontwerp, aanleg & Beheer	43
4.5	Procesaanwijzingen	47
4.6	Voorbeelden	49
4.7	Referenties.....	49
5	Aanleg waterbergingsgebieden	51

5.1	Beschrijving	52
5.2	Waterveiligheid	52
5.3	Bijdrage aan Natuurdoelen	54
5.4	Ontwerp, aanleg & Beheer.....	55
5.5	Procesaanwijzingen	56
5.6	Voorbeelden	58
5.7	Referenties.....	58
6	Natuurlijke Golfbrekers	59
6.1	Beschrijving	60
6.2	Waterveiligheid	61
6.3	Bijdrage aan Natuurdoelen	62
6.4	Ontwerp, aanleg & Beheer.....	63
6.5	Procesaanwijzingen	64
6.6	Voorbeelden	66
6.7	Referenties.....	66
7	Soortenrijke grasbekleding	69
7.1	Beschrijving	70
7.2	Waterveiligheid	70
7.3	Bijdrage aan Natuurdoelen	72
7.4	Ontwerp, aanleg & Beheer.....	72
7.5	Procesaanwijzingen	77
7.6	Voorbeelden	79
7.7	Referenties.....	79
8	Zandmotor.....	80
8.1	Beschrijving	81
8.2	Waterveiligheid	82
8.3	Bijdrage aan Natuurdoelen	84
8.4	Ontwerp, aanleg & Beheer.....	85
8.5	Procesaanwijzingen	87
8.6	Voorbeelden	87
8.7	Referenties.....	87
9	Dubbele dijken	88
9.1	Beschrijving	89

9.2	Waterveiligheid	90
9.3	Bijdrage aan Natuurdoelen	92
9.4	Ontwerp, aanleg & Beheer	93
9.5	Procesaanwijzingen	95
9.6	Voorbeelden	97
9.7	Referenties.....	97
10	Toepassing gebiedseigen grond.....	99
10.1	Beschrijving	100
10.2	Waterveiligheid	100
10.3	Bijdrage aan Natuurdoelen	101
10.4	Ontwerp, aanleg & Beheer	102
10.5	Procesaanwijzingen	103
10.6	Voorbeelden	106
10.7	Referenties.....	106
11	Kleirijperij	107
11.1	Beschrijving	108
11.2	Waterveiligheid	109
11.3	Bijdrage aan natuurdoelen	111
11.4	Ontwerp, aanleg & beheer	111
11.5	Procesaanwijzingen	112
11.6	Voorbeelden	114
11.7	Referenties.....	114
12	Natuurvriendelijke harde bekleding.....	117
12.1	Beschrijving	118
12.2	Waterveiligheid	119
12.3	Bijdrage aan Natuurdoelen	120
12.4	Aanleg & Beheer.....	121
12.5	Procesaanwijzingen	122
12.6	Voorbeelden	124
12.7	Referenties.....	124
13	Brede Groene Dijk	125
13.1	Beschrijving	126
13.2	Waterveiligheid	126

13.3	Bijdrage aan Natuurdoelen	129
13.4	Ontwerp, Aanleg & Beheer	129
13.5	Procesaanwijzingen	130
13.6	Voorbeelden	133
13.7	Referenties.....	133
14	Kennisleemtes en Aanbevelingen	134
14.1	Introductie	134
14.2	Waterveiligheid	134
14.3	Natuurdoelen	135
14.4	Aanleg en Beheer	135
14.5	Referenties.....	136

1 Inleiding

Als onderdeel van het HWBP-innovatieproject Dijken & Natuur, wil EcoShape bestaande kennis en richtlijnen over Nature-based Solutions (NBS) beschikbaar maken voor toepassing in de dijkenbouw. In de komende dertig jaar tijd wordt er in Nederland 1.500 kilometer dijk versterkt. Een groot deel van deze projecten ligt aan of in natuurgebieden zoals Natura 2000. Vaak wordt dit als een belemmering ervaren en lijkt waterveiligheid moeilijk te combineren met natuurbescherming en -ontwikkeling.

Het “Dijken en natuur - een symbiose” innovatieproject richt zich op het benutten van de kansen die dijkversterkingsprojecten aan of in natuurgebieden bieden. Als hoofddoel is geformuleerd: het oplossen van knelpunten in de realisatie van natuur-inclusieve waterveiligheidsoplossingen en benutten van meerwaarde van natuurgebieden en natuurlijke oplossingen binnen HWBP-versterkingsprojecten. In dit kader ligt de focus van de voorliggende studie op natuurlijke oplossingen waarbij natuurbehoud én -ontwikkeling integraal deel uitmaken van de opgave en de oplossing van het waterveiligheidsvraagstuk. Praktijkervaringen worden beschreven en illustreren de mogelijkheden. Dit sluit aan op het subdoel van het innovatieproject om een systematiek op te zetten en te vullen met verwijzingen naar succesvolle ervaringen.

Waterschap Drents Overijsselse Delta is trekker van dit HWBP-innovatieproject. Het projectteam bestaat uit Rijkswaterstaat WVL, Waterschap Noorderzijlvest en Deltares.

In de Community of Practice (CoP), het lerend netwerk Dijken en Natuur bestaande uit relevante stakeholders die na afloop van het innovatieproject is blijven bestaan, zijn Natuurmonumenten, Staatsbosbeheer, Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit betrokken en ook provincies, gemeenten en lokale belanghebbende partijen. EcoShape vertegenwoordigt de markt van de waterbouw.

1.1 Benadering

In de studie is beschikbare kennis voor toepassingen van NBS in verbeteringsprojecten van het HWBP verzameld. De volgende onderzoeksvragen staan hierbij centraal:

- 1 Wat is de invloed op de waterveiligheid?
- 2 Wat is de bijdrage aan de natuurdoelen op korte en op lange termijn?
- 3 Hoe wordt een NBS aangelegd en beheerd op een wijze die duurzaam is en tijdens realisatie geen nadeel aan bestaande natuurwaarden berokkent?
- 4 Hoe kan worden bewerkstelligd dat NBS in projecten van het HWBP als volwaardig aanvulling op traditionele dijkversterkingsmaatregelen wordt meegenomen? Het implementatie-proces moet aansluiten op de aanpak in de Roadmap Duurzaamheid van het HWBP.
- 5 Voor welke watersystemen in Nederland is NBS in dijkversterkingen toepasbaar: rivierengebied, meren of zeekust?

De bestaande kennis is vastgelegd in een grote hoeveelheid bronnen. Hierdoor is de kennis vaak niet eenvoudig beschikbaar voor dijkbouwers. De bronnen, die voor de voorliggende studie zijn geraadpleegd, zijn vervat in toolboxen, richtlijnen en handboeken. Deze dekken

echter vaak niet de antwoorden op alle bovengenoemde onderzoeksvragen, zijn soms inhoudelijk tegenstrijdig en minder toegankelijk. Ook is kennis nog in onderzoeken in ontwikkeling.

1.2 Doel van de studie

Het doel van de studie is de beschikbare kennis voor toepassingen van NBS in verbeteringsprojecten van het HWBP te verzamelen en te ontsluiten. De vijf onderzoeksvragen staan in de aanpak aan de basis. Actuele kennisontwikkelingen worden meegenomen. De resultaten worden via de EcoShape website beschikbaar gemaakt en krijgen een verwijzing in de Roadmap duurzaam HWBP. De kennis dient ten behoeve van dijkverbeteringen maximaal toegankelijk en toepasbaar te zijn (zie paragraaf 1.3). In de studie worden aanbevelingen gegeven voor verder onderzoek. Deze zouden kunnen worden uitgevoerd in bijvoorbeeld het Programma NL2120.

1.3 Koppeling met roadmap Duurzaamheid HWBP

De Roadmap Duurzaam HWBP (<https://RoadmapDuurzaamHWBP.nl>) is het platform waar iedereen betrokken bij dijkversterkingsprojecten informatie kan vinden. Onderscheid wordt gemaakt naar de fases Initiatief, Verkenning, Planuitwerking, Aanbesteding en Realisatiefase. Voor elk van deze fasen worden stappen beschreven die leiden tot duurzame keuzes. Onderdeel van duurzame keuzes zijn ook het werken aan ruimtelijke kwaliteit, met voldoende aandacht voor ecologische kwaliteit. Daarom is dit platform zeer geschikt als doorverwijzing naar het product dat in “Dijken en Natuur, een symbiose” wordt opgezet.

Een andere werkgroep binnen het Kennis en Innovatieproject “Dijken en Natuur, een symbiose” werkt uit wat het innemen van een natuur-perspectief betekent in de verschillende fasen. Het grootste verschil kan worden bereikt wanneer in een heel vroeg stadium ruimte wordt gecreëerd om te kunnen kiezen voor NBS. Daar zal dan ook veel aandacht naar uit gaan. Bovendien zal hier aandacht worden gegeven aan het opnemen in beheer van de NBS.

Eén van de thema's die uitgewerkt wordt in het EcoShape werk betreft het uitwerken hoe een NBS-concept als volwaardige aanvulling op dijkversterkingsmaatregelen kan worden meegenomen. Hierin werken we precies andersom: per concept wordt aangereikt welke activiteiten in iedere fase ondernomen moeten worden om te komen tot implementatie van de NBS. Zo worden gebruikers met verschillende invalshoeken steeds van informatie voorzien.

1.4 Innovatie van de studie

NBS-concepten en de mogelijkheid om te implementeren zijn bekend in de dijkenbouw maar worden in de praktijk niet op grote schaal gerealiseerd. Om toepassingen te stimuleren is het nodig om diepgaande kennis over de nut en de werking van NBS-concepten verder te ontwikkelen. De al gerealiseerde toepassingen van NBS in dijkenbouw beperken zich tot nog toe tot pilotprojecten; deze toepassingen zijn kleinschalig, betreffen veelal onderzoek en zijn experimenteel van karakter. De innovatie in deze studie ligt in het verzamelen en ontsluiten van de kennis over de toepassing van NBS in dijkversterkingen, en in het definiëren van

verdere kennisontwikkelingen. Soms vraagt de moed om ondanks openblijvende vragen en onzekerheid toch voor een NBS te kiezen. Daarvoor biedt het project een handreiking voor hoe om te gaan met overblijvende onzekerheid en risico wat daaruit voortkomt.

Er is al kennis en kunde over NBS, en zelfs al over NBS in dijkverbetering in de vorm van diverse concepten die zijn uitgedacht, en sommigen al zijn getest in het laboratorium of in de vorm van een pilot-project. Echter voor bredere, grootschalige toepassing is deze kennis onvoldoende verdiept en niet eenduidig beschikbaar voor betrokkenen aan de start van het voorbereidingstraject van dijkverbeteringen. Daartoe moeten de kennis over deze NBS worden getoetst en verdiept op hun nut en werking en hij moet beter toegankelijk worden gemaakt voor een bredere groep. Bovendien levert deze ontwikkeling inzichten en inputs op de noodzaak voor nieuwe kennisontwikkeling en aanwijzingen voor verdere verbetering van deze guidelines.

1.5 Het doel van NBS-concepten: waterveiligheid én natuur

De NBS dragen bij aan de zogenoemde natuurdoelen. In Nederland is natuur op verschillende manieren beschermd. Natura 2000-gebieden zijn beschermd onder de Omgevingswet. Het Natuurnetwerk Nederland (dat deels overlapt heeft met Natura 2000-gebieden, maar verder reikt) is op provinciaal niveau planologisch beschermd. Op nationaal niveau zijn specifieke soorten beschermd onder de Omgevingswet. De (ecologisch en fysiochemische) waterkwaliteit is beschermd onder de Europese Kaderrichtlijn water. Rijk en provincies hebben ambities en doelen geformuleerd voor de Bossenstrategie. Het toepassen van een NBS-concept hoeft overigens niet per definitie tot een netto natuurwinst te leiden, met name in de gevallen dat de aanleg een significant negatieve impact op bestaande natuurwaarden heeft. Of er sprake is van negatieve impact op bestaande natuurwaarden (en daarmee de vergunbaarheid van een project) door het toepassen van NBS-concepten is locatie- en project specifiek en moet per project beoordeeld worden.

Het is relevant om te vermelden dat natuurwinst in het kader van Natura 2000-doelen of de bijdrage aan het Natuurnetwerk Nederland, mogelijk gekoppeld zijn aan herbegrenzing van het betreffende Natura 2000-gebied of te begrenzen als Natuurnetwerk Nederland.

Maatregelen kunnen namelijk buiten bestaande Natura 2000-gebieden of het Natuurnetwerk Nederland plaatsvinden. Dit zorgt ervoor dat het essentieel is om NBS-concepten vroegtijdig in het plantraject mee te nemen.

De concepten voor NBS worden in de studie uitgewerkt omdat ze relevant zijn voor integratie in dijkversterkingsprojecten. Concepten van NBS die door EcoShape zijn onderzocht en uitgewerkt, hebben als startpunt voor de studie gediend. Met experts is een selectie gemaakt van twaalf oplossingen waarvan wordt verwacht dat deze op dit moment het meest geschikt zullen zijn voor toepassing in dijk versterkingsprojecten. De toepassing geldt voor primaire waterkeringen langs de zee, rivieren en meren.

De NBS-concepten zijn natuurlijke maatregelen die invloed hebben op de waterveiligheid. Sommige concepten leiden tot lagere extreme waterstanden of golven (belastingkant). Anderen vergroten het waterkerend vermogen van een dijk (sterktekant). Een laatste categorie concepten hebben geen uitgesproken impact op de sterkte van een waterkering

maar bieden wel mogelijkheden tot een duurzamere manier van versterken. De onderstaande Tabel 1.1 geeft een overzicht van de twaalf concepten en hun relatie met waterveiligheid.

Tabel 1.1: NBS ingedeeld naar primaire bijdrage aan de veiligheid van de waterkering

NBS	Verlagen waterstanden en/of golfbelasting	Vergroten sterkte waterkering
Dijkversterking in combinatie met aanpassing rivier	X	
Ontwikkeling kwelder	X	X
Aanleg begroeide vooroevers en voorland	X	X
Aanleg waterberging	X	
Golfbrekers	X	
Soortenrijke grasbekleding		X
Zandmotor		X
Binnendijkse natuurontwikkeling en dubbele dijken	X	X
Toepassen gebiedseigen grond		X
Kleirijperij en slibmotor		X
Ecovriendelijke harde bekleding		X
Brede groene dijk		X

1.6 Leeswijzer

De twaalf NBS-concepten zijn in dit rapport vervat in separate hoofdstukken.

Elk hoofdstuk start met een overzichtstabel die snel inzicht geeft in welke categorie van waterveiligheidseffect (zie boven) het NBS-concept behoort, en op welk gebied (kust, meren of rivieren) het NBS-concept van toepassing is. Ook is aangegeven in welke fase van een programma of project het opportuun is om de inzet van de NBS-concept te overwegen en onderzoeken.

Elk NBS-concept wordt vervolgens in het betreffende hoofdstuk aan de hand van de volgende thema's verder beschreven:

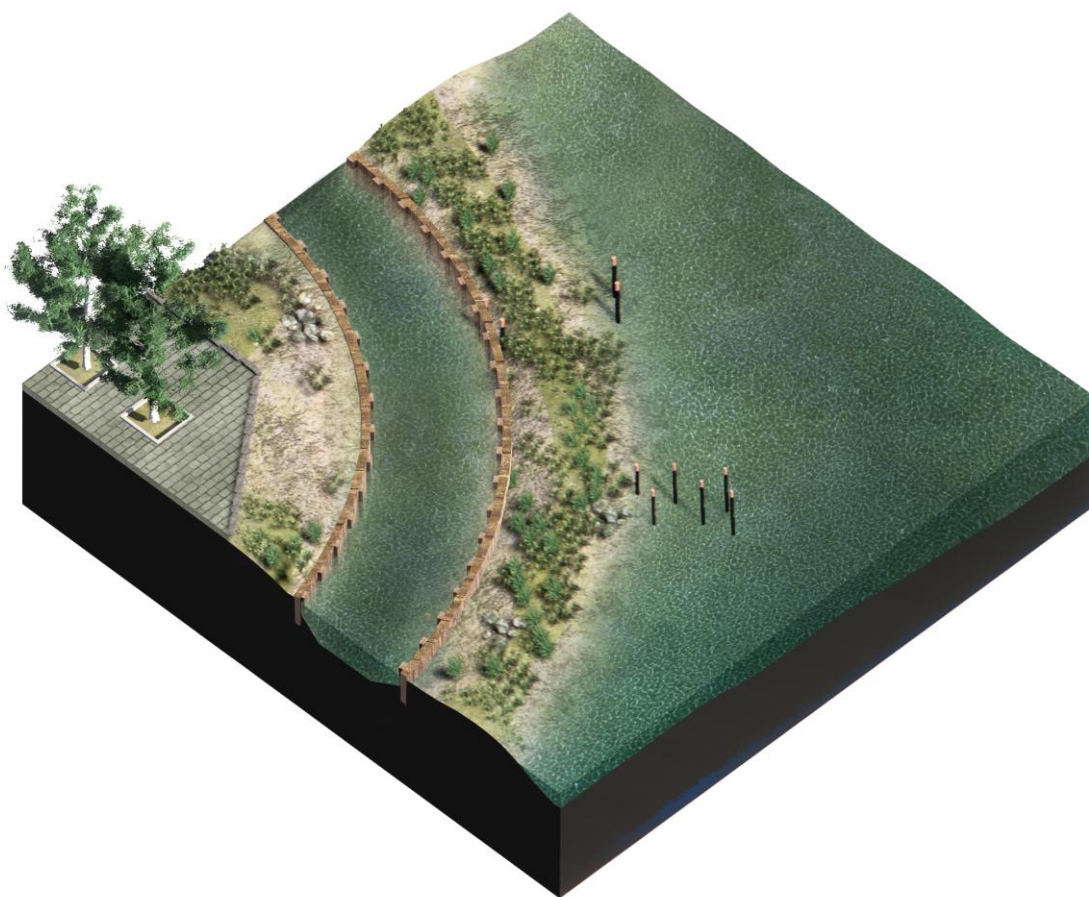
- introductie met toelichting op het concept en het doel (nut);
- de relatie met waterveiligheid, de werking met hydraulische belasting of de sterkte van een waterkering. De specifieke bijdrage aan de zogenoemde faalmechanismen van een waterkering wordt in tabelvorm gegeven;
- de bijdrage aan de natuurwaarden;
- het ontwerpproces, de aanleg en het beheer;
- het proces voor implementatie in bestuurlijke proces (procesaanwijzingen);
- voorbeelden van gerealiseerde projecten met toepassing van het NBS-concept.

Het voorliggend rapport wordt afgesloten met een beschouwing van de kennisleemtes.

2 Dijkversterking in combinatie met aanpassing rivier

Tabel 2.1: Doorzoekbaarheidstabel Dijkversterking in combinatie met aanpassing rivier

Categorie	Verlagen waterstand en/of golfbelasting
Locatie	Rivier
Dijkversterking projectfase	Initiatief, Verkenning



Figuur 2.1: Dijkversterking in combinatie met aanpassing rivier © One Architecture, Ecoshape

2.1 Beschrijving

In het programma Ruimte voor de Rivier zijn verschillende type maatregelen ontwikkeld die in beginsel gericht zijn op het vergroten van de afvoercapaciteit door middel van rivierverruiming. Rivierverruiming kan bestaan uit dijkterugleggingen, de aanleg van nevengeulen, maatregelen in de uiterwaarden aanpassing van het zomerbed, bijvoorbeeld door kribben te verlagen. Deze maatregelen bieden tevens kansen om de natuurlijke waarde van het rivierlandschap te vergroten en versterkingsmaatregelen aan de waterkering zo duurzaam mogelijk uit te voeren.



Figuur 2.2: Rivieraanpassing bij Deventer (Ecoshape website)

2.2 Waterveiligheid

Het geven van meer ruimte aan de rivier leidt tot een waterstandsdeling in de rivieren. De mate waarin het effect heeft, is lastig op voorhand te kwantificeren, aangezien het sterk afhankelijk is van waar de maatregel wordt uitgevoerd en hoe ver de invloed in het systeem reikt. Waterstandsdeling heeft in algemene zin een positief effect op de waterveiligheid maar kan beperkend zijn voor de scheepvaart.

Door het vergroten van de afvoercapaciteit zal de impact op de waterveiligheid voornamelijk positief zijn (voor overlopen, overslag, instabiliteit en piping) doordat waterstanden dalen. De waterstandsdeling kan worden verdisconteerd in de grenstoestandsfuncties die beschikbaar zijn in het Beoordelings- en ontwerpinstrumentarium voor primaire waterkeringen (BOI). Voor de berekening van overloop en golfoverslag zijn hydraulische databases (inclusief rivieraanpassing) nodig waarin de kans op waterstanden voor meerdere terugkeertijden gegeven is. Maatregelen in de uiterwaarden kunnen echter ook een negatieve impact hebben (voor instabiliteit en piping) doordat de intredeweestand wordt gereduceerd bij het doorsnijden van afdekkende kleilagen waardoor kwelwater sneller onder de dijk zal doorstromen wat leidt tot een toename van de stijghoogte, en ook de golf reducerende werking (voor overslag) van het voorland (de uiterwaard) zal afnemen wanneer

dit wordt afgegraven t.b.v. rivierverruiming. In de grenstoestandsfuncties in het BOI instrumentarium kan daartoe de kwelweglengte/intredeweerstand worden gereduceerd.

In Tabel 2.2 is een samenvatting gegeven van de impact van rivierverruiming op de waterveiligheid.

Tabel 2.2: Impact op faalmechanismen (positief wanneer afvoercapaciteit vergroot, negatief wanneer uiterwaarden (voorland) vergraven).

	Overlopen	Macro-instabiliteit buitentalud	Golfoverslag	Micro-instabiliteit	Macro-instabiliteit binnentalud	Opbarsten en piping	Bekleding
Rivierverruiming	+	-/+	-/+	0	-/+	-/+	0

Het Rivierkundig Beoordelingskader voor ingrepen in de Grote Rivieren (RWS, 2023) beschrijft de rivierkundige beoordelingsaspecten en criteria, die initiatiefnemers van ingrepen in de rivier dienen te hanteren bij het bepalen van de rivierkundige effecten van ingrepen. Met het Beoordelingskader kan het effect van een aanpassing in de rivier in beeld worden gebracht. De impact van deze aanpassing op de waterveiligheid wordt berekend met het Beoordelings- en ontwerpinstrumentarium (BOI).

Het Rijk stelt de regels op voor het uitvoeren van de veiligheidsbeoordeling op en stelt leidraden beschikbaar voor het ontwerp en het beheer van primaire keringen. Deze regels zijn beschikbaar in het Beoordelings- en ontwerpinstrumentarium (BOI). Het instrumentarium bestaat uit handleidingen, technische leidraden, software-applicaties en databases. Deze instrumenten worden gebruikt om de overstromingskans van een dijktraject te bepalen.

In de Handleiding Overstromingskansanalyse dijken/dammen (deel 1 – 5) zijn rekenregels terug te vinden om bijvoorbeeld de impact van een waterstandsaling op verschillende faalmechanismen van dijken te berekenen. De rekenregels zijn ook verwerkt in de applicaties die onderdeel uitmaken van het BOI (zoals Riskeer), zodat deze gebruikt kunnen worden om de kans van optreden van bepaalde faalmechanismen te berekenen. De actuele documenten van het instrumentarium zijn terug te vinden op het BOI-portaal.

Dijkterugleggingen

Door het verleggen van de dijk naar het binnenland, ontstaat meer ruimte voor het water, waardoor de waterstanden in de rivier afnemen. Dit verlagende effect werkt alleen door in stroomopwaartse richting. Afhankelijk van de omvang van de dijkteruglegging in vergelijking tot de huidige breedte van het winterbed kunnen grote waterstanddalingen tot lokaal meer dan 30 cm worden bereikt. Hiervoor dient de breedte van het winterbed in sommige gevallen meer dan verdubbeld te worden. Het is van belang dat het gebied meestroomt

tijdens hoogwater; als het water stilstaat kan het beter als retentiegebied worden ingericht (ARK, 2018). Zie ook het concept Waterbergingsgebieden.

Aanleg nevengeulen

Nevengeulen zijn een vorm van dijkteruglegging waarbij het nieuwe winterbed losligt van de huidige stroomgordel en waar al dan niet een nevengeularm in wordt gegraven. Zonder een nieuw gegraven bedding wordt dit een groene rivier genoemd. Nevengeulen kunnen permanent stromend zijn of alleen bij hoogwater een deel van het water afvoeren. De effectiviteit is het grootst als in het nieuwe winterbed ook een nieuwe bedding wordt uitgegraven. Afhankelijk van de lengte en de doorstroomcapaciteit van de nevengeul kunnen tientallen centimeters waterstanddaling worden gerealiseerd. Zo bedraagt het effect van de circa 10 km lange en 500-1000 m brede groene rivier bij Veessen-Wapenveld bijna 75 cm. Nevengeulen kunnen daarmee de gehele klimaatopgave op een locatie invullen. Als de dijken ondanks de waterstands daling versterkt dienen te worden, hoeft de dijk minder hoog te worden. De maatregel kan worden toegepast in dunbevolkte trajecten waar over minimaal 5 km een nevengeul aangelegd kan worden naast de bestaande rivierloop (ARK, 2018).

Uiterwaardmaatregelen

Het doel van uiterwaardmaatregelen is het vergroten van de afvoercapaciteit. Dit leidt tot lagere hoogwaterstanden. De waterstanden dalen ter hoogte van de maatregelen en bovenstrooms ervan (stuwkromme-effect). Uiterwaardmaatregelen beïnvloeden de rivierafvoer niet of nauwelijks. Het effect op waterstanden benedenstrooms is daarom nihil (ALR, 2007). Het kan als compensatie gelden voor (deels) buitenwaartse versterkingen. Doordat *zomerkades* worden verwijderd en de uiterwaarden worden verlaagd (*weerdverlaging*), ontstaat meer ruimte voor water en worden de waterstanden ter plaatse lager. De uiterwaard heeft hierdoor meer interactie met de rivier en kan daardoor eerder meestromen. Ook zorgt het voor een toename van de afvoercapaciteit. De opbrengst voor de waterveiligheid is het grootste als de uiterwaard ook wordt verlaagd – eventueel in combinatie met geulen – en is afhankelijk van de mate van vergraving en de uiteindelijke vegetatie die er gaat groeien. Het effect van *uiterwaardverlaging* wordt groter naarmate meer opeenvolgende uiterwaarden worden verlaagd en ook obstructies in de uiterwaarden, zoals de *zomerkades* worden verwijderd (ARK, 2018). De geschiktheid van uiterwaarden voor de aanleg van *nevengeulen* is beschreven in Asselman en Klijn (2003). Een nevengeul kan tot stand komen door het graven van een nieuwe geul of door het heropenen van oude geulen^{Error! Bookmark not defined.}. Door de aanleg van *plassen* in een uiterwaard vermindert de stromingsweerstand omdat een open wateroppervlak hydraulisch gezien ‘glad’ is. De bovenste waterlaag van 2 tot 5 meter stroomt ook mee, waardoor de afvoercapaciteit verder toeneemt (ALR, 2007).

Door uiterwaardmaatregelen kan de waterveiligheid ook negatief beïnvloed worden, doordat de golfrandvoorwaarden bij de dijk toenemen als de strijklengte of de waterdiepte toeneemt. Ook kunnen uiterwaardmaatregelen invloed hebben op faalmechanismen zoals piping en macrostabiliteit, doordat de kwelweglengte wordt gereduceerd en/of de intredeweerstand wordt verlaagd door het graven in afdekkende kleilagen (ALR, 2007).

Zomerbedmaatregelen

Zomerbedverruiming leidt tot lagere waterstanden bij alle afvoeren. De waterstanden dalen ter plaatse van de maatregel en bovenstrooms daarvan (stuwkromme-effect). Omdat over het algemeen het grootste deel van de hoogwaterafvoer door het zomerbed stroomt, zijn zomerbedmaatregelen zeer effectief voor het behalen van waterstandverlaging (Technische Leidraad Uiterwaardmaatregelen^{Error! Bookmark not defined.}). Zomerbedverlaging kan ook een negatief effect op het faalmechanisme piping en zettingsvloeiing hebben door het reduceren van de intredeweerstand en het realiseren van een steile helling.

Door het verlagen van de kruin van de *krib* overstroomt de krib vaker en neemt het doorstroomprofiel toe, waardoor de waterstand in de rivier daalt. Dit is positief voor de waterveiligheid. *Langsdammen* zijn dammen die evenwijdig aan de oever in de rivier liggen en de kribben in het geheel vervangen. Deze dam is meestal lager dan de voormalige kribben en overstroomt circa 50 dagen per jaar. De rest van de tijd stroomt een deel (18 tot 27%) van het rivierwater achter de langsdam langs (De Ruijscher et al., 2020). De langsdammen zorgen ook voor lagere waterstanden tijdens hoogwater, omdat de kribben zijn verwijderd en het doorstroomprofiel van de rivier daarmee groter is geworden (ARK, 2018).

Een pilot die momenteel langs de Waal nabij Tiel wordt uitgevoerd, moet uitwijzen hoe effectief dit concept is. De inlaat van de geul achter de langsdam is regelbaar en daarmee kan de hoeveelheid water gereguleerd worden. Het uiteindelijke effect op de waterstanden bij maatgevende omstandigheden is vooraf ingeschat op 6 tot 12 cm. Vanwege de mogelijke morfologische effecten op de hoofdgeul, aanzanding, en extra erosie van de oever, is moeilijk in te schatten wat op langere termijn de effecten zullen zijn (ARK, 2018).

2.3 Bijdrage aan Natuurdoelen

Dijkterugleggingen en nevengeulen

De mate waarin deze maatregel kan bijdragen aan natuurdoelen is sterk afhankelijk van de ruimte die geboden wordt, naast waterveiligheid, voor natuurontwikkeling. Voor diverse natuurwaarden geldt dat deze conflicterend kunnen zijn met hoogwaterveiligheid: minder frequent overstroomde graslandtypen en bostypen zorgen voor minder afvoercapaciteit. Dit neemt niet weg, dat juist deze natuurtypen onder druk staan in het rivierengebied, maar juist essentieel zijn voor een samenhangend ecosysteem in het rivierengebied. Hier moet juist ruimte voor gezocht worden in het rivierengebied. Uiteindelijk bepaalt de integrale inrichting en beoordeling van bestaande (beschermde) natuurwaarden de feitelijke bijdrage aan natuurdoelen. Dit is een project specifieke beoordeling.

Onderstaande Tabel 2.3 geeft weer welke natuurwinst mogelijk is. Hierbij is vooral uitgegaan van terrestrische natuurinrichting. Wanneer ook water, moeras of heulen gegraven worden, draagt dit ook bij aan aquatische doelen. De beschrijving van deze natuurwinst is opgenomen onder *Uiterwaardmaatregelen*.

Tabel 2.3: Natuurwinst bij dijkterugleggingen en nevengeulen

	Draagt het concept mogelijk bij aan natuurdoelen? - = negatief effect	Hoe draagt het mogelijk bij aan natuurdoelen?

	0 = geen effect + = positief effect	
Natura 2000-gebieden	+	H6120 – Stroomdalgraslanden H6430 A, B, C – Ruigten en Zomen H6510 A, B – Glanshaver- en vossenstaarthooilanden H9120 – Beuken-eikenbossen met hulst H91E0A, B, C* - Vochtige alluviale bossen H91F0 – Droge hardhoutoobossen Vele aangewezen Broedvogels en Niet-broedvogels
Natuurnetwerk Nederland	+	N01.03 Rivier- en moeraslandschap N05.04 Dynamisch Moeras N11.01 Droog schraalgrasland N12.01 Bloemdijk N12.02 Kruiden- en faunarijck grasland N12.03 Glanshaverhooiland N12.06 Ruigteveld N13.01 Vochtig weidevogelgrasland N13.02 Wintergastenweide N14.01 Rivier- en beekbegeleidend bos N15.02 Dennen-, eiken- en beukenbos N16.03 Droog bos met productie N16.04 Vochtig bos met productie
Beschermde soorten	+	O.a. vogels met jaarrond beschermde nesten, vleermuizen.
Kaderrichtlijn water	0	n.v.t.
Bossenstrategie	+	Bijdrage aan de ambitie dat er in 2030 10% (407.000 ha) meer bos in Nederland moet zijn

Uiterwaardmaatregelen

Uiterwaardmaatregelen betreffen vooral maaiveldverlagingen om de doorstroming te verbeteren. Bijdragen aan natuurdoelen focussen zich vooral op vochtige grasland- en bostypen en aquatische doelen. De mate waarin bostypen ruimte krijgen is afhankelijk van de integrale inrichting waarbij opstuwende werking van vegetaties minimaal is of wordt toegestaan.

Tabel 2.4: Natuurwinst bij maaiveldverlagingen uiterwaarden

	Draagt het concept mogelijk bij aan natuurdoelen? - = negatief effect 0 = geen effect + = positief effect	Hoe draagt het mogelijk bij aan natuurdoelen?
Natura 2000-gebieden	+	H3150 – Meren met krabbenscheer en fonteinkruiden H3270 – Slikkige rivieroever H6430 A, B, C – Ruigten en Zomen H91E0A, B, C* - Vochtige alluviale bossen Habitatrichtlijnsoorten: o.a: bittervoorn, grote- en kleine modderkruiper, rivierdonderpad, kamsalamander, bever, otter Vele aangewezen Broedvogels en Niet-broedvogels
Natuurnetwerk Nederland	+	N01.03 Rivier- en moeraslandschap N02.01 Rivier N04.02 Zoete plas N05.04 Dynamisch Moeras N12.02 Kruiden- en faunarijck grasland N12.06 Ruigteveld N13.01 Vochtig weidevogelgrasland N14.01 Rivier- en beekbegeleidend bos N16.04 Vochtig bos met productie
Beschermde soorten	+	O.a. bever, otter, vleermuizen, kamsalamander, poelkikker, rivierrombout
Kaderrichtlijn water	+	Macrofauna, macrofyten en vissen
Bossenstrategie	+	Bijdrage aan de ambitie dat er in 2030 10% (407.000 ha) meer bos in Nederland moet zijn

Zomerbedmaatregelen

Met name de realisatie van langsdammen in combinatie met het verwijderen van de aanwezige kribben biedt perspectief voor ecologisch herstel. Achter de langsdam is minder sprake van negatieve impact van scheepvaart. Het biedt kraam-, opgroei- en rustgebieden voor tal van soorten zoals vis en mosselen. Dit blijkt ook uit de *Rapportage natuurgegevens langsdammen Waal 2016 – 2020*. Daarnaast ontstaat door het verwijderen van de stenige oever met kribben ruimte voor natuurlijk herstel van de oever, zoals zandige oevers, en verwijdert het hard substraat dat gebruikt wordt door invasieve uitheemse soorten (Collas et al., 2020; Flores et al., 2021; Flores et al., 2022).

Tabel 2.5: Natuurwinst bij Zomerbedmaatregelen

	Draagt het concept mogelijk bij aan natuurdoelen? - = negatief effect 0 = geen effect + = positief effect	Hoe draagt het mogelijk bij aan natuurdoelen?
Natura 2000-gebieden	+	H3270 – Slikkige rivieroevers H6120 - Stroomdalgrasland Habitatrichtlijnsoorten: o.a: bittervoorn, kleine modderkruiper, rivierdonderpad,
Natuurnetwerk Nederland	+	N01.03 Rivier- en moeraslandschap N02.01 Rivier N11.01 Droog schraalgrasland N12.03 Glanshaverhooiland
Beschermde soorten	+	O.a. rivierrombout
Kaderrichtlijn water	+	Macrofauna, macrofyten en vissen
Bossenstrategie	0	n.v.t.

2.4 Ontwerp, aanleg & Beheer

Bij rivierverruimende maatregelen komt vaak veel grond vrij. Er zijn allerlei mogelijkheden voor nuttig hergebruik van vrijkomend materiaal. Dit NBS-concept kan in de praktijk daarom goed gecombineerd worden met het NBS-concept van “Toepassing gebiedseigen grond”. Het concept kan ook geschikt zijn voor combinatie met het concept van “Bloem- en kruidenrijke dijk”.

Voor het beheer is het van cruciaal belang dat voldoende ruimte beschikbaar en gereserveerd is in de (toekomstige) vegetatielegger voor de gewenste successie en ontwikkeling van de terreinen. Het toekomstig beheer dient hierop afgestemd te zijn. Als tevens een permanent waterstandsverlaging een onderdeel van het projectdoel is, dient dit geborgd te worden in de vegetatielegger van de rivier.

Het aanpassen van de rivier, rivierverruiming of ontgraving van de uiterwaard, kan ook negatieve effecten hebben op de waterveiligheid, bijvoorbeeld omdat de intredeweerstand tegen piping afneemt. Naast rivierkundige berekeningen (waterstand) zijn dan ook geohydrologische berekeningen (grondwatereffecten en waterveiligheid aspect piping) vaak noodzakelijk. Aan te raden is om vooraf bestaande peilbuisgegevens te analyseren met het oog op het schatten van intredeweerstand en direct bij start van project tot en met beheerfase een geohydrologische monitoring met peilbuizen op te zetten, waardoor tijdig

meetresultaten beschikbaar zijn voor ontwerp, effectbeoordeling en monitoring van lange termijneffecten.

2.5 Procesaanwijzingen

Versterkingsopgaven worden in Nederland gerealiseerd met de MIRT systematiek (<https://leerplatformmirt.nl/mirt/handreikingen/handreiking-mirt-mer/>), veelal onder het Hoogwaterbeschermingsprogramma <https://roadmapduurzaamhwbp.nl/>, waarin verschillende projectfasen worden onderscheiden; initiatief, verkenning, planuitwerking en realisatie (inclusief aanbesteding). Los van een versterkingsopgave geldt de zorgplicht waterkeringen, als continu proces, geborgd bij de waterkeringsbeheerders (Rijkswaterstaat en de waterschappen).

De roadmap Duurzaamheid HWBP (link) is een stappenplan om in aansluiting op de genoemde projectfasering van initiatief- tot en met realisatiefase te komen tot duurzame, goed ingepaste dijkversterkingen met ruimtelijke kwaliteit.

Binnen dit stappenplan en de roadmap duurzaamheid geldt dat hoe eerder een NBS betrokken wordt bij de versterkingsopgave, hoe groter de kans op werkelijke realisatie van een NBS. In de beginfase is het daarom belangrijk de duurzaamheidsambities, waar een NBS onderdeel van kan zijn, breed te verkennen. Dit vanuit meerdere opgaven en niet enkel vanuit de waterveiligheidsopgave of verbeteropgave van de waterkering.

Tabel 2.6: Procesaanwijzingen per projectfase

NBS Dijkversterking in combinatie met aanpassing rivier i.r.t. MIRT fasering en roadmap duurzaamheid HWBP

Initiatief	Verkenning	Planuitwerking	Aanbesteding	Realisatie
Betrekken bij projectopdracht	Varianten dijkversterking en NBS hangen met elkaar samen	Uitwerking ontwerp en bepalen effecten	Combineren van uitvoering	Combineren van uitvoering
* Breng de diverse opgaven in beeld, stem de programmering van het dijkproject af met de rivierbeheerder (en anderen) en verken gezamenlijk de mogelijkheden. Focus op de kansen van combinatie van opgaven rivier en dijk en inventariseer de gewenste omgang met projectrisico's en dilemma's. * verken bijdrage duurzaamheid voor ten minste de mogelijke winst op de thema's circulariteit, ruimtelijke kwaliteit en biodiversiteit/ecologie. * Maak voor- en nadelen inzichtelijk en leg dit vast, bijvoorbeeld met een startnotitie en samenwerkingsovereenkomst. *Stem projectorganisatie en kostenverdeling af op de opgave; betrekken van riviermaatregelen bij de dijkversterking vraagt ook in de voorbereiding een investering	* Verken ontwerpvarianten die voldoen aan de projectopdracht. Als combinatie met riviermaatregelen onderdeel is van de opdracht, zijn de ontwerpvarianten dat ook. * Verken eventueel de NBS als "omgevingsvariant" of alternatief voor traditionele dijkversterking. * maak de winst op ten minste de thema's circulariteit, ruimtelijke kwaliteit en biodiversiteit /ecologie inzichtelijk en betrek dit bij de afweging van varianten. * Maak voor beslissers inzichtelijk hoe de NBS bijdraagt aan de doelstellingen van het project. * Verken of NBS kan bijdragen aan duurzaamheidsdoelstellingen in algemene zin (bijv. CO2-reductie). * Verken de mogelijkheden en business case van het hergebruik van vrijkomende materialen bij combinatie met rivierkundige maatregelen	*Werk bij voorkeur met een gecombineerde uitvoering en een gecombineerd planproces, zodat er sprake is van synergie tussen riviermaatregelen en dijkversterking. * maak de winst op ten minste de thema's circulariteit, ruimtelijke kwaliteit en biodiversiteit inzichtelijk en betrek dit bij de uitwerking van referentieontwerp en plannen. * Maak voor beslissers inzichtelijk hoe de NBS bijdraagt aan de doelstellingen van het project. * Verken of NBS kan bijdragen aan duurzaamheidsdoelstellingen in algemene zin (bijv. CO2-reductie). * Bepaal effecten van het VKA, waarbij de meerwaarde van de NBS ook terugkomt in de planproducten (projectbesluit, MER, etc.). Werk het ontwerp hiervoor voldoende uit. * Bepaal de negatieve effecten op bijv. geohydrologie, en betrek dit bij effectbeoordeling en ontwerpkeuzes. Leg de keuzes en mitigatie van negatieve effecten expliciet vast.	* Bepaal de keuze van de contractvorm mede op basis van het benutten van de synergie tussen riviermaatregelen en dijkversterking. Bijv. door ruimte te geven aan het optimaliseren van grondstromen. Leg de eisen voor NBS zodanig vast dat ook in de realisatiefase de meerwaarde van de NBS wordt gewaarborgd in zowel uitvoering als beheer.	*Toets en bewaak de projectdoelen. Zorg voor voldoende waarborgen in de uitvoeringsfase, zodat de beoogde effecten van de NBS worden gerealiseerd. Dit kan bijvoorbeeld door het vragen van tussentijdse rapportages en veldinspecties. Zorg voor een goed ontwikkel- en instandhoudingsplan voor duurzaam beheer, maak afspraken tussen de verschillende beheerders

1. voetnoot: De NBS-maatregelen "Dijkversterking in combinatie aanpassing rivier" is het meest effectief uit te voeren als dit wordt betrokken bij de projectopdracht en doelstellingen van het project. Dit vanwege de omvang en het effect op de totale projectorganisatie en kosten.

De NBS-maatregelen "Dijkversterking in combinatie aanpassing rivier" is het meest effectief uit te voeren als dit wordt betrokken bij de projectopdracht en doelstellingen van het project. Dit vanwege de omvang en het effect op de totale projectorganisatie en kosten. Een vroegtijdige verkenning van de opgaven en kansen vanuit het rivierbeeld is wenselijk; bij voorkeur al in de initiatieffase, voordat de dijkversterking wordt geprogrammeerd voor versterking (initiatieffase). Op dat moment is veelal nog niet geheel te kwantificeren of deze maatregel meerwaarde heeft ten opzichte van een meer traditionele dijkversterking van

enkel de dijk of waterkering. Aanbevolen wordt om in de initiatieffase te onderzoeken of er realistische mogelijkheden zijn voor een dijkversterking in combinatie met rivieraanpassingen. De maatregel is kansrijker naarmate doelstellingen voor riviernatuur (over het algemeen geprogrammeerd door Rijkswaterstaat) kunnen worden toegevoegd aan de projectopdracht van de dijkversterking. Het combineren van maatregelen (dijkversterking en rivieraanpassingen) is natuurlijk ook mogelijk als uitkomst van verkenningsfase en planuitwerkingsfase. Het aanleggen van rivierverruiming als compensatie voor buitendijkse versterking (met opstuwend effect) is een regelmatige gekozen maatregel.

Naast de voordelen moeten nadelen van de combinatie in beeld worden gebracht en in de integrale afweging en besluitvorming worden meegenomen. Nadelen kunnen hogere kosten zijn maar ook negatieve impact op waterveiligheid, bijvoorbeeld in het geval van afname van de weerstand van het voorland voor het faalmechanisme piping.

Binnen de context van de roadmap duurzaamheid HWBP biedt het combineren van maatregelen voordelen zoals het hergebruik van klei voor de dijkversterking. CO₂ en stikstofuitstoot kunnen worden gecompenseerd met de aanleg van ooibossen. Het combineren geeft de meerwaarde voor het project, bevordert samenwerking van overheden en maakt het mogelijk om gebiedsopgaven binnen één project te koppelen.

2.6 Voorbeelden

[Dijkverlegging Paddenpol](#)

[Voorbeelden Ruimte voor Levende rivieren](#)

[i-Lent, Ruimte voor de Waal](#)

[Meanderende Maas](#)

[Flessenhals Oeffelt-Gennep](#)

[Jubilee River alongside Thames River](#)

[Slowing the flow, Pickering, Yorkshire, UK](#)

2.7 Referenties

de Ruijscher, T. V., Vermeulen, B., & Hoitink, A. J. F. (2020). Diversion of flow and sediment toward a side channel separated from a river by a longitudinal training dam. *Water Resources Research*, 56, e2019WR026750.

Collas, F.P.L., Flores, N.Y., Van Aalderen, R. Bosman, F., Schoor, M.M., Verbrugge, L.N.H., Romeijn, W., Van Kessel, N., Achterkamp, B., Liefveld, W., Buijse A.D., & Leuven, R.S.E.W. (2020). Rapportage natuurgegevens langsdammen Waal 2016 – 2020. Radboud Universiteit, Rijkswaterstaat, Sportvisserij Nederland, Hengelsport Federatie Midden Nederland, Deltares, Bureau Waardenburg, Universiteit Twente.

de Ruijscher, T. V., Vermeulen, B., & Hoitink, A. J. F. (2020). Diversion of flow and sediment toward a side channel separated from a river by a longitudinal training dam. *Water Resources Research*, 56, e2019WR026750. <https://doi.org/10.1029/2019WR026750>

Flores, N.Y., Collas, F.P.L., Mehler, K. *et al.* (2021). Assessing Habitat Suitability for Native and Alien Freshwater Mussels in the River Waal (the Netherlands), Using Hydroacoustics and Species Sensitivity Distributions. *Environ Model Assess* 27, 187–204.
<https://doi.org/10.1007/s10666-021-09776-4>

Flores, N.Y., Collas, F.P.L. and Leuven, R.S.E.W. (2022). Geomorphological development of aquatic mesohabitats in shore channels along longitudinal training dams. *Remote Sens Ecol Conserv*, 8: 744-760. <https://doi.org/10.1002/rse2.273>

ARK, Natuurmonumenten, Vogelbescherming, LandschappenNL, WWF, Natuur en milieufederaties (2018). Ruimte voor Levende Rivieren. Achtergronddocument.
https://www.levenderivieren.nl/sites/default/files/2018-08/Achtergrond%20Ruimte%20voor%20Levende%20Rivieren%20jul%202018_0.pdf

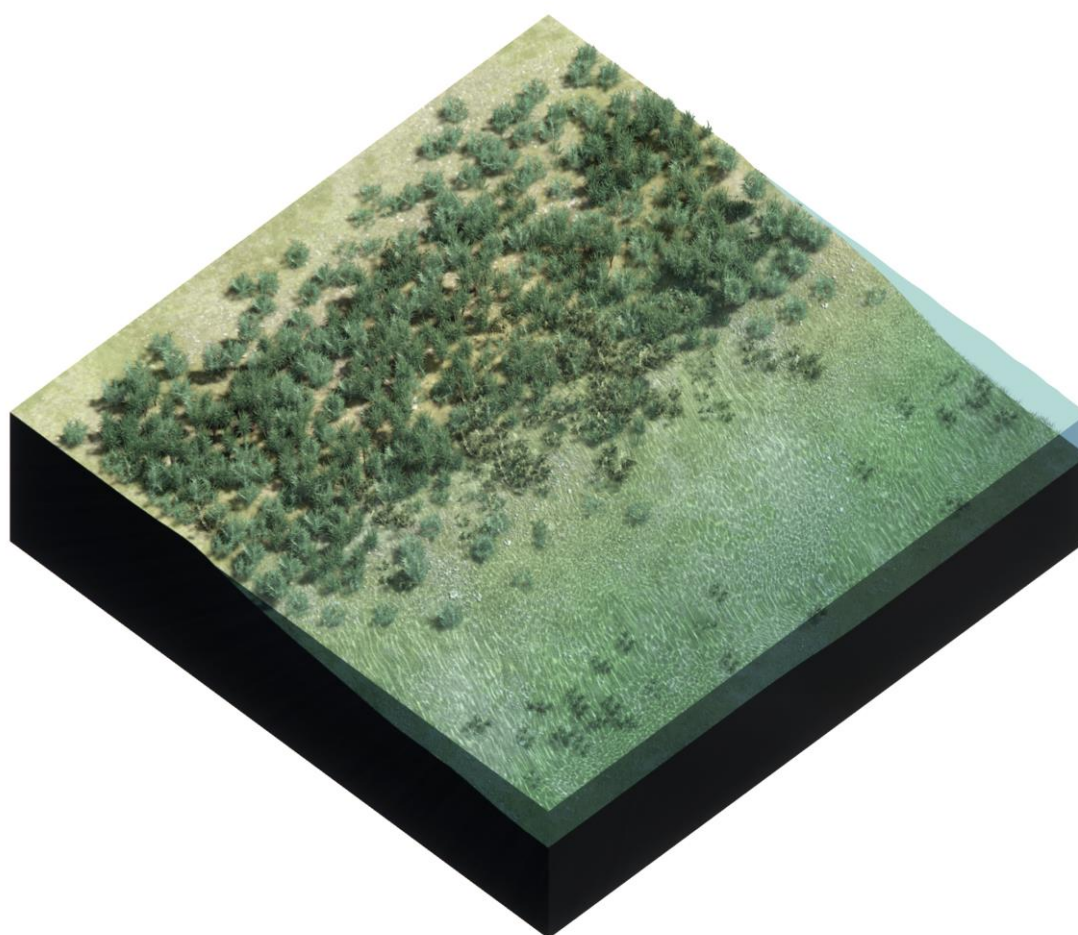
Hooijer A.A., H.J. Barneveld, M.Q. Bos, G.J.C.M. Hoffmans, M.H.I Schropp, R.A. Struijk, Leidraad Rivieren (ALR) Deel 4 - Rivierverruiming van vormgeving naar beheer, Rijkswaterstaat, HKV LIJN IN WATER, Arcadis, Met Andere Woorden, Juli 2007
https://tl.iplo.nl/publish/pages/144676/dgw-gf2007-836_leidraadrivieren.pdf

N. Asselman, F. Klijn, Geschiktheid van uiterwaarden voor aanleg van nevengeulen, Waterloopkundig Laboratorium (WL) - Delft Hydraulics Laboratory, mei 2003
<https://open.rijkswaterstaat.nl/publish/pages/33744/756118.pdf>

3 Ontwikkeling kwelder & intergetijdengebied

Tabel 3.1: Doorzoekbaarheidstabel Ontwikkeling kwelder & intergetijdengebied

Categorie	Verlagen waterstand en/of golfbelasting, Vergroten sterkte dijk
Locatie	Delta/ Kust
Dijkversterking projectfase	Initiatief, Verkenning



Figuur 3.1: Ontwikkeling kwelder & intergetijdengebied © One Architecture, Ecoshape

3.1 Beschrijving

De hoogste delen van het intergetijdengebied kunnen begroeid raken met plantensoorten die in een zout milieu kunnen leven en het kunnen verdragen als ze regelmatig onder water staan. Als deze arealen op natuurlijke wijze ontstaan, is er sprake van een schor (terminologie in Zeeland) of een natuurlijke kwelder (terminologie rond de Waddenzee).



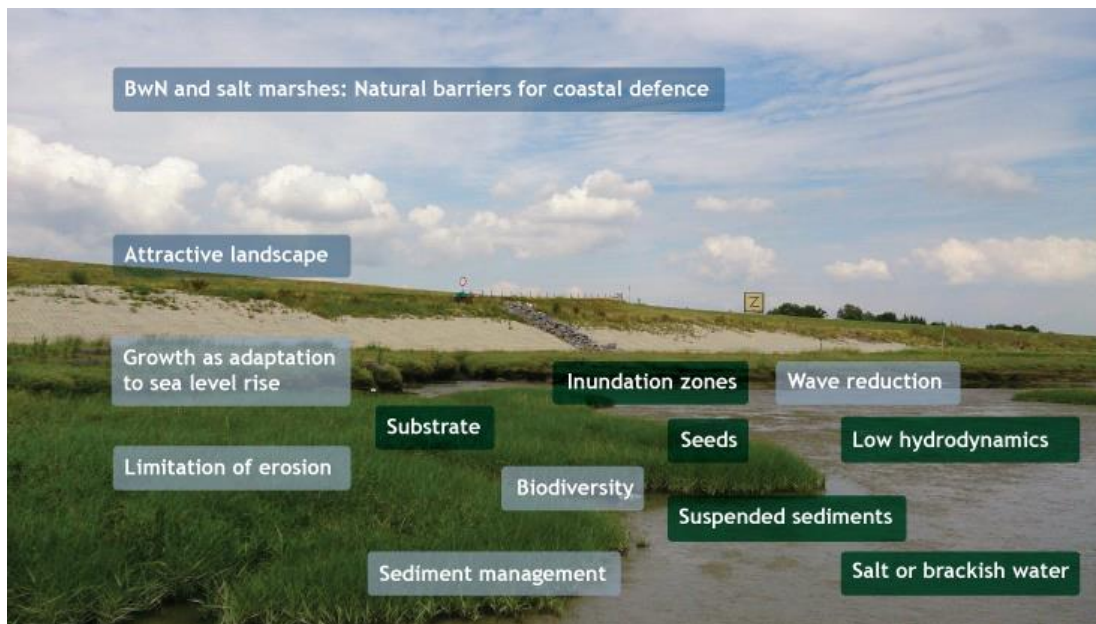
Figuur 3.2: Kwelderontwikkeling (foto: J. Valk)

Kwelders spelen een belangrijke rol in kustbescherming en -stabilisatie. Kweldervegetatie vangt sediment op in de intergetijdenzone, waardoor het bodemniveau wordt verhoogd en inkomende golven worden verlaagd. Het stimuleren van kweldervorming houdt in dat de voorwaarden worden gecreëerd voor de vestiging van kweldervegetatie, rekening houdend met bijvoorbeeld zoutgehalte, overstromingstijd, hydrodynamiek, substraat, sedimentatie en soortbeheer. Bij kwelderwerken worden vakkenpatronen met rijshouten dammen aangelegd om kwelderaangroei te stimuleren. Kwelderwerken combineren verbeterde beschutting tegen golfaanval met voldoende aanwezigheid van fijn sediment om kwelderaangroei te stimuleren. Kwelders vormen biodiverse transitiezones tussen land en water en functioneren als natuurlijke barrières voor kustverdediging. De combinatie van een verhoogde bodemligging en aanwezigheid van kweldervegetatie leidt tot een verlaging van de golfhoogte bij de dijk. Voor de natuurlijke of kunstmatige ontwikkeling van kwelders is het belangrijk dat geschikte condities aanwezig zijn of kunnen worden gerealiseerd. Er gelden habitatvereisten voor kwelders met minerale bodems en lage organische niveaus. De focus ligt op de noodzakelijke randvoorwaarden, waaronder zoutgehalte, overstromingstijd, hydrodynamiek, substraat, sedimentatie en stoffen in suspensie. Hierdoor kunnen planners

en ontwerpers inschatten of kwelders een veelbelovende optie zijn om in een ontwerp op te nemen.

De andere voordelen van deze NBS kunnen zijn:

- hoge natuurwaarde en biodiversiteit;
- rust- en foerageerplek voor trekvogels.
- opslag van CO₂ in bodem en vegetatie;
- landschappelijk aantrekkelijk, recreatieve waarde;
- gebruik voor sliblandbouw en extensieve veehouderij op hoge kwelders.



Figuur 3.3: Voordelen (blauw) en randvoorwaarden (groen) (Ecoshape website)

Langs de Waddenzeedijken van Nederland, Duitsland en Denemarken is de aangroei van kwelders op grote schaal gestimuleerd door de aanleg van rijshouten dammen en ontwateringsgreppels. De rijshouten dammen zorgen voor luwte met lagere golven en zwakkere stroming, waardoor slib bezinkt, en de bodem sneller omhoogkomt. Extra ontwateringsgreppels zorgen voor snellere afwatering van het bezonken slib, waardoor de bodem sneller consolideert tot een stevig kleipakket. De werkzaamheden om op deze manier semi-natuurlijke kwelders te laten ontstaan, staan bekend als kwelderwerken. In het vervolg van deze paragraaf worden natuurlijke en semi-natuurlijke schorren en kwelders gezamenlijk aangeduid als kwelders, ondanks de verschillen tussen de verschijningsvormen.

Om nieuwe kwelders te ontwikkelen met behulp van kwelderwerken, moet aan een aantal voorwaarden voldaan worden (onder andere op basis van Van Loon-Steensma et al. 2012):

- 1 de bodem moet al hoog genoeg liggen, minimaal op Gemiddeld Laagwater (GLW), en bij voorkeur boven gemiddeld zeeniveau (NAP). Bij een lagergelegen bodem zal eerst een zandsuppletie plaats moeten vinden;
- 2 er is al sprake van een min of meer stabiele bodemligging, en bij voorkeur netto sedimentatie in de omgeving van de beoogde kwelderontwikkeling;

- 3 de gemiddelde slibgehaltenes in de bodem (gerelateerd aan slibconcentraties in het water) zijn hoog genoeg om sedimentatie te laten plaatsvinden: minimaal 5%;
- 4 maximale stroomsnelheden in de huidige situatie zijn lager dan 1,2 m/s.

Kwelderkenmerken

Kwelders zijn ecosystemen die begroeid zijn met zouttolerante planten, die regelmatig door de zee worden overstroomd. Kwelders onderscheiden zich van veenmoerassen en zoetwatermoerassen doordat ze worden overstroomd door zout water en een gemiddeld zoutgehalte hebben van meer dan 0,5 g opgeloste stoffen per kg water (Odus, 1988), waarbij kwelderaangroei het resultaat is van een ruime beschikbaarheid van sediment. De hier besproken kwelders bevinden zich in een gematigd klimaat, in het bovenste deel van de intergetijdenzone. Er wordt hier geen beschrijving gegeven van specifieke plantensoorten. De soortensamenstelling is afhankelijk van de exacte locatie, inundatiefrequentie en het zoutgehalte. Voor meer informatie over kweldervegetatie wordt verwezen naar de TMAP-richtlijnen voor geïntegreerde Waddenzeemonitoring en de soortenlijst.

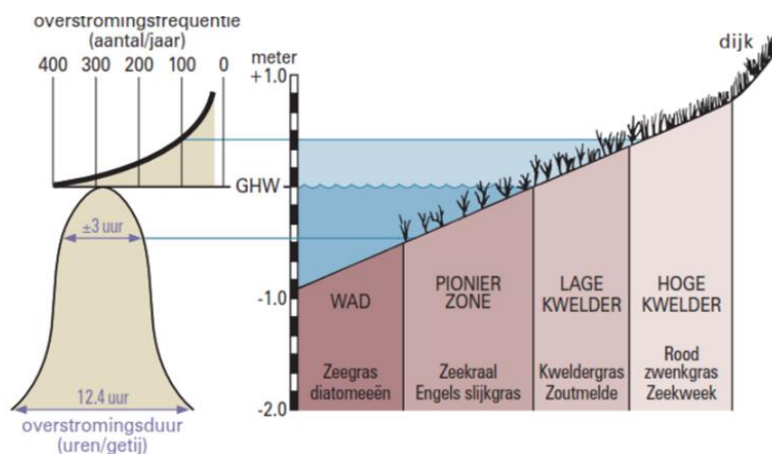
Kwelders strekken zich verticaal uit van ruim onder het gemiddelde hoogwater tot aan de jaarlijkse hoogste waterstanden (zie Figuur 3.4). De getijdenstroom brengt fijnkorrelig zwevend sediment mee. Planten vangen dit sediment op, wat resulteert in een kwelderoppervlak dat gestaag stijgt. Typische aangroeisnelheden liggen in de orde van 2 centimeter per jaar (Hofstede, 2003), afhankelijk van het getijverschil, de stabilisering van de bodem door de vegetatie en de beschikbaarheid van zwevend sediment. Aangroeisnelheden moeten gelijk zijn aan of bij voorkeur hoger zijn dan de (toenemende) snelheden van zeespiegelstijging om op lange termijn een kwelder voor de dijk te waarborgen.

Verschillende ontwikkelingsstadia kunnen in de tijd en ruimte worden onderscheiden, van pionierstadium tot climaxstadium. In het Trilaterale Monitoring- en Beoordelingsprogramma (TMAP), een gemeenschappelijk monitoringsprogramma voor de Waddenzee, worden drie hoofdzones van kwelders onderscheiden:

- De pionierzone, waar plantengroei begint op ongeveer 40 cm onder het gemiddelde hoogwater (MHW);
- De lage kwelder die wordt overstroomd tijdens gemiddeld springtij (100-400 overstromingen per jaar);
- De midden- en hoge kwelder met minder dan 100 overstromingen per jaar.

Periodiek kunnen midden- en hoge kwelders door afplaggen worden verjongd. Het vrijkomende materiaal kan gebruikt worden voor het meegroeien (met de zeespiegelstijging) van een achterliggende brede groene dijk (Vuik et al., 2019).

Kwelders hebben een hoge natuurwaarde en worden beschermd onder Europese en nationale wetten.



Figuur 3.4: Opbouw kwelder (bron: Coldewey & Erchinger, 1992)

3.2 Waterveiligheid

Kwelders kunnen effectief golven dempen (Möller et al, 2014; Vuik et al., 2016) door golfbreking op de relatief hooggelegen bodem (als vooroever, zie 4.2) en golfdemping door de kweldervegetatie en het ruwe bodemoppervlak (Alterra, 2012; Deltares, 2024). De golfdemping is in belangrijke mate afhankelijk van de optredende waterdiepte boven de kwelder: naarmate het water hoger staat, is er minder invloed van de bodem op de golven. Als vuistregel komt naar voren dat in elk geval een strook kwelder van enkele tientallen meters breed nodig is voor een significante bijdrage. Daarnaast is een buffer nodig voor erosie tijdens dagelijkse omstandigheden en stormen. De omvang van deze buffer hangt af van de mate van herstel tussen twee opeenvolgende erosiegebeurtenissen (Alterra, 2012). De invloed van stormen op het bodemoppervlak van kwelders blijkt echter beperkt te zijn. Hoewel golfwerking geleidelijk de vegetatie platdrukt en breekt, het kweldersubstraat blijft onder alle omstandigheden stabiel en bestand tegen oppervlakte-erosie (Möller et al, 2014).

Door invang van zand en slib kan de kwelder (deels of geheel) meegroeien met zeespiegelstijging (Möller et al, 2014; POV Waddenzeedijken, 2020; Van Belzen et al., 2021; Temmerman et al., 2013). Kwelders zorgen er daardoor voor dat dijken minder hoog hoeven te zijn omdat de golfoploop, en daarmee de kans op overslag, significant minder is wanneer er aangeslibd land voor de dijk ligt (Belzen et al., 2021).

Naast golfdemping kunnen kwelders ook een gunstige invloed uitoefenen op de buitenwaartse macrostabiliteit van de dijk en de intree weerstand bij piping (Alterra, 2012; Temmerman et al., 2013). De toename van de kwelweglengte kan worden verdisconteerd in de grenstoestandsfuncties die beschikbaar zijn in het BOI. Verder blijft bij een doorbraak de bres in de dijk kleiner als er een kwelder voor ligt. Een kleinere bres leidt tot lagere stijgsnelheden en waterdieptes in de achterliggende polders, waardoor het slachtoffer risico afneemt (Zhu et al., 2020). Deze impact is lastiger te kwantificeren met het vigerende beoordelinginstrumentarium, maar is wel degelijk relevant voor overstromingsrisico's. Mogelijk zou de aanwezigheid van kwelders (in de toekomst) kunnen leiden tot het toekennen van een lagere (minder strenge) normklasse voor het dijktraject: een grotere overstromingskans is toelaatbaar als de gevolgen kleiner zijn.

Kwelders kunnen op verschillende manieren worden meegenomen in het berekenen van golfaanval op de dijk. Voorbeelden zijn:

- het activeren van de voorlandmodule in Hydra-NL of Riskeer;
- het toepassen van dieptelimitering van de golfhoogte als postprocessing op de resultaten van Hydra-NL, voordat deze gebruikt worden voor het rekenen aan dijkbekledingen met Steentoets;
- gebruik van 1D of 2D modellering met SWAN voor het berekenen van golfdemping over de kwelders, waarbij golfcondities in de golvendatabase worden aangepast.

In de Handleiding Overstromingskansanalyse dijken/dammen (deel 1 – 5) zijn rekenregels terug te vinden om de impact van een voorland (aanpassing dijkprofiel) op verschillende (bijvoorbeeld geotechnische) faalmechanismen van dijken te bepalen.

In Tabel 3.2 is een samenvatting gegeven van de impact van kwelders op de waterveiligheid.

Tabel 3.2: Impact op faalmechanismen

	Overlopen	Macro-instabiliteit buitentalud	Golfoverslag	Micro-instabiliteit	Macro-instabiliteit binnentalud	Opbarsten en piping	Bekleding
Kwelders	0	0/+	+	0/+	0/+	0/+	+

Samenvattend leveren kwelders op de volgende wijze een positieve bijdrage aan de waterveiligheid:

- golven breken op de hooggelegen bodem, waardoor de golfaanval op met name het onderste deel van de dijkbekleding sterk gereduceerd wordt;
- kweldervegetatie levert een aanvullende bijdrage aan golfdemping, omdat ook na afbreken tijdens stormen een ruw, stoppelig bodemoppervlak resteert;
- de stevige kleilaag zorgt voor een toename van de kwelweglengte en intreeweerstand, waardoor een eventueel risico op piping sterk wordt gereduceerd;
- de massa van de kwelders zorgen voor extra stabiliteit, en een kleinere kans van optreden op het faalmechanisme macrostabiliteit buitenwaarts;
- kwelders groeien mee met zeespiegelstijging. Daardoor neemt de waterdiepte voor de dijk niet toe bij zeespiegelstijging, en blijft de golfaanval (bij gelijke windcondities) onveranderd;
- bij een doorbraak blijft de bres in de dijk kleiner als er een stabiele kwelder voor ligt, wat leidt tot minder slachtoffers in het achterliggende gebied in het geval van een overstroming.

Het Rijk stelt de regels op voor het uitvoeren van de veiligheidsbeoordeling op en stelt leidraden beschikbaar voor het ontwerp en het beheer van primaire keringen. Deze regels zijn beschikbaar in het Beoordelings- en ontwerpinstrumentarium (BOI). Het instrumentarium bestaat uit handleidingen, technische leidraden, software-applicaties en databases. Deze instrumenten worden gebruikt om de overstromingskansen van een dijktraject te bepalen.

In de Handleiding Overstromingskansanalyse dijken/dammen (deel 1 – 5) en Overstromingskansanalyse Zandige waterkeringen zijn rekenregels terug te vinden om bijvoorbeeld de impact van een voorland (aanpassing dijk- of duinprofiel) op verschillende faalmechanismen van dijken of duinen te berekenen. De rekenregels zijn ook verwerkt in de applicaties die onderdeel uitmaken van het BOI (zoals Riskeer en XBeach), zodat deze gebruikt kunnen worden om de kans van optreden van bepaalde faalmechanismen te berekenen. Het effect van voorlanden op golven kan worden ingeschat met behulp van de voorlandmodule in Riskeer en Hydra-NL.

3.3 Bijdrage aan Natuurdoelen

Het ontwikkelen van zachte overgangen tussen land en water, waarbij bij hoog- en laagwater bepaalde delen wel en niet overstromen, zorgt voor specifieke kenmerkende biotopen.

Tabel 3.3: Natuurwinst kwelders & intergetijdengebieden

	Draagt het concept mogelijk bij aan natuurdoelen? - = negatief effect 0 = geen effect + = positief effect	Hoe draagt het mogelijk bij aan natuurdoelen?
Natura 2000-gebieden	+	H1140A – Slik- en zandplaten H1310A, B – Zilte pionierbegroeiing H1320 – Slijkgrasvelden H1330A, B – Schorren en zilte graslanden Vele aangewezen Broedvogels en Niet-broedvogels
Natuurnetwerk Nederland	+	N09.01 Schor of kwelder
Beschermde soorten	+	O.a. velduil en vleermuizen
Kaderrichtlijn water	+	Macrofauna en overige waterflora
Bossenstrategie	0	n.v.t.

Bestaande natuurwaarden moeten in acht genomen worden. In de praktijk kunnen kwelderwerken en ontwikkeling van hoger liggend voorland ten koste gaan van de aanwezigheid van wadplaten/hoog-dynamisch intergetijdengebied. In een beoordeling van het totale systeem moet de ontwikkeling van de kwelders daarom goed afgewogen worden. Er moet naar een natuurlijke geleidelijke overgang van water naar land worden gestreefd die kan bijdragen aan de totale diversiteit in het systeem, in het bijzonder aan de ontwikkeling van de meer zeldzame overgangszones als de “pionierskwelder”.

3.4 Ontwerp, aanleg & Beheer

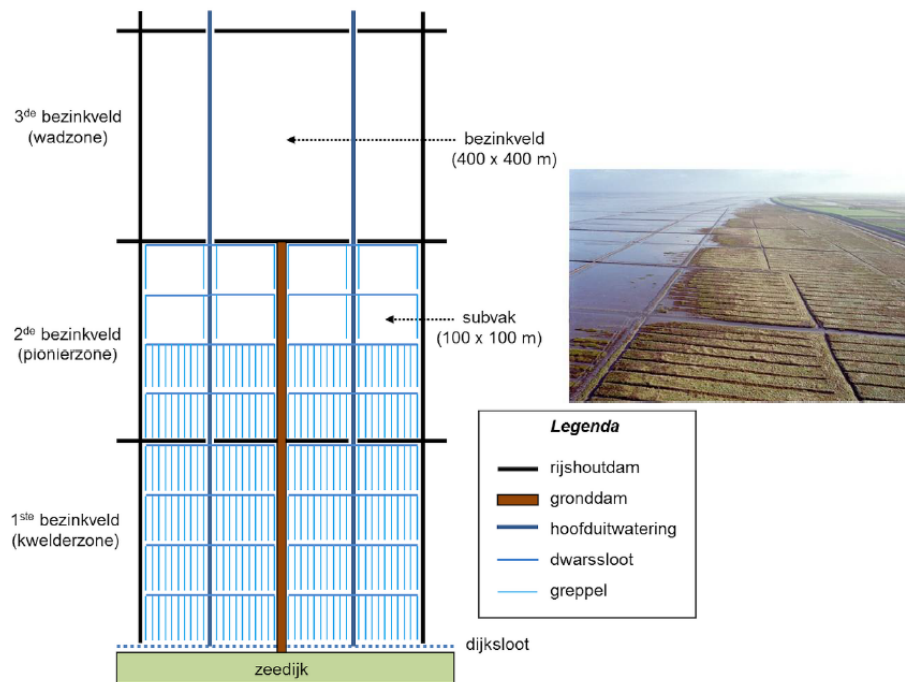
Kwelderontwikkeling kan spontaan en natuurlijk plaatsvinden wanneer de abiotische condities gunstig zijn. In de Nederlandse context zal echter veelal actief kwelderbeheer nodig zijn om het proces sneller te laten verlopen en binnen afzienbare termijn een significante bijdrage te organiseren aan de waterveiligheid. Het werken met rijshouten dammen ligt

daarin voor de hand als een natuurlijke oplossing (nature-based). Een rijshouten dam boven water zal geleidelijk afbreken, waardoor er vanuit beheer en onderhoud telkens opnieuw rijshout wordt toegevoegd, ter aanvulling van eerder aangebracht rijshout (gemiddeld eens per 5-8 jaar). De rijshouten dam wordt in stand gehouden zolang dit nodig is om de jonge kwelder te beschermen en het verlandingsproces te stimuleren. Kosten voor beheer en onderhoud van kwelderwerken kan de kosten voor dijkonderhoud overstijgen (Vuik et al., 2019). Soms wordt gebruik gemaakt van naaldhout in plaats van wilgentakken vanwege de langere levensduur van naaldhout. De beheerkosten kunnen gemotiveerd worden vanuit vermeden investeringskosten (door golfremmend effect) en/of door de ecologische meerwaarde van de kwelder. Traditioneel is er een combinatie met (extensief) agrarisch gebruik van de kwelder. In een beheer & onderhoudsplan kunnen keuzes worden vastgelegd t.a.v. gewenst agrarisch gebruik.

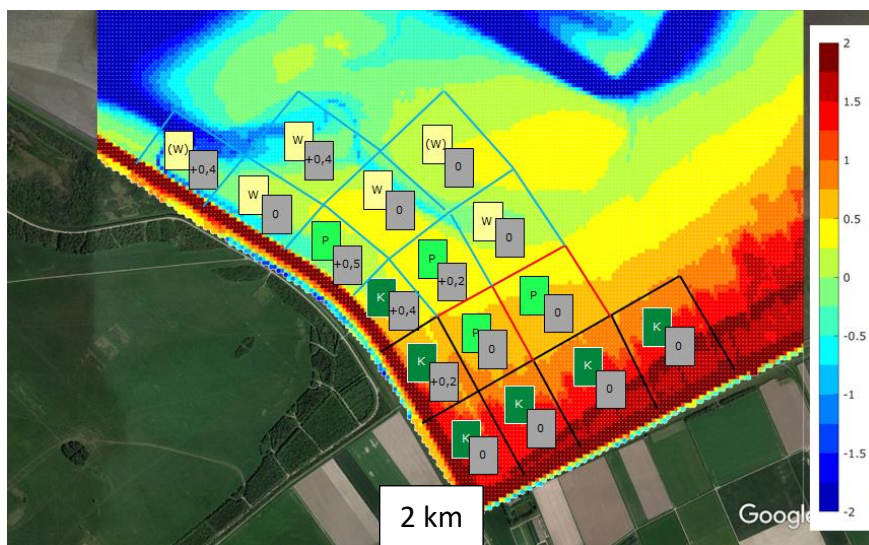
Bij de aanleg kunnen de volgende uitgangspunten worden aangehouden:

- 1 streven naar een geleidelijke overgang van wad naar dijk, waarbij ook de “pionierkwelder” als overgangszone herkenbaar is in de vegetatie.
- 2 de aangelegde kwelderwerken moeten binnen ca. 10 jaar aantoonbaar effect hebben op de bodemhoogte en ontwikkeling van pioniervegetatie;
- 3 voor de ontwikkeling van een fraai landschap en waardevolle natuur is het wenselijk om (semi) natuurlijke kweldervorming met een natuurlijk geulenpatroon te bevorderen;
- 4 kwelderontwikkeling begint bij sedimentatie van voorliggende wadplaten, omdat pioniervegetatie slechts ontstaat in zones hoger dan ca. 0,6 m onder gemiddeld hoogwater.

Standaard kwelderwerken kennen de vormgeving als in Figuur 3.5, met bezinkvelden van circa 400x400 m. Gronddammen, uitwateringskanalen, dwarssloten en greppels zijn vooral gericht op snel stimuleren van ontwatering en consolidatie van klei, en daarmee kenmerkend voor de traditionele landaanwinning. Hier en daar kunnen slim uitgedachte onderbrekingen in het dammenpatroon een natuurlijk geulpatroon stimuleren (een meer natuurlijke variant). Bij het ontwerp moet dus nagedacht worden over de mate waarin kwelderontwikkeling natuurlijk tot semi-natuurlijk wordt vormgegeven.

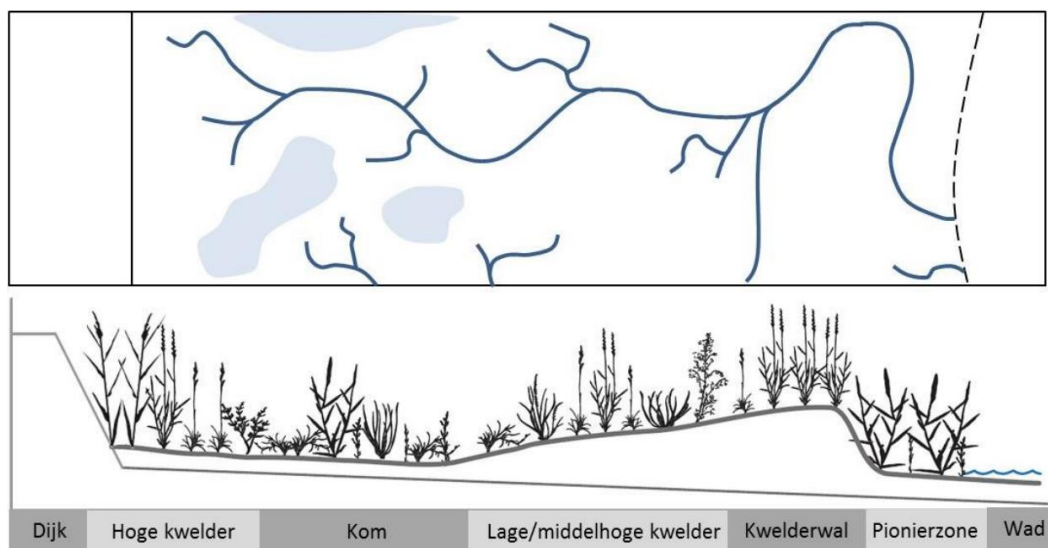


Figuur 3.5: Schematische indeling van een traditionele rij bezinkvelden van de zeedijk naar het wad (bron: Van Duin et al., 2016)



Figuur 3.6: Bezinkvakken Voorkeursalternatief dijkversterking Lauwersmeerdijk Vierhuizergat (stijging bodem voor bereiken natuurlijke ondergrens pioniervegetatie en kwelders (RHDHV-HKV, 2019)

Een ander voorbeeld van natuurlijke kwelders zijn brede kwelders zoals Noorderleeche. Deze hebben vaak een komvorm doordat het middendeel lager is dan de wadrand en het deel tegen de dijk. In het middendeel blijven makkelijk waterplassen staan. Hier krijg je dan ook een pioniervegetatie. Deze waterplasvorming kan gestimuleerd worden door de afwatering van de kwelder te verminderen. Met het geheel of gedeeltelijk verkwelderen van de zomerpolders in dit gebied zou het areaal pioniervegetatie nog verder toe kunnen nemen.



Figuur 3.7: Voorbeeld ontwerp natuurlijke kwelder met kwelderwal (Ecoshape website)

Een mogelijk ander kansrijk concept is het periodiek verjongen van midden- en hoge kwelders door afplaggen. Het vrijkomende materiaal kan gebruikt worden voor het meegroeien (met de zeespiegelstijging) van een achterliggende brede groene dijk (Vuik et al., 2019).

3.5 Procesaanwijzingen

Dijkversterkingsprojecten worden in Nederland gerealiseerd via de MIRT-systematiek (link), veelal onder het Hoogwaterbeschermingsprogramma <https://roadmapduurzaamhwbp.nl/>, waarin verschillende projectfasen worden onderscheiden; initiatief, verkenning, planuitwerking en realisatie (inclusief aanbesteding). Los van een versterkingsopgave geldt de zorgplicht waterkeringen, als continuproces, geborgd door bij de waterkeringsbeheerders (Rijkswaterstaat en de waterschappen).

De roadmap Duurzaamheid HWBP (link) is een stappenplan om in aansluiting op de genoemde projectfasering van initiatief- tot en met realisatiefase te komen tot duurzame, goed ingepaste dijkversterkingen met ruimtelijke kwaliteit.

Binnen dit stappenplan en de roadmap duurzaamheid geldt dat hoe eerder een NBS betrokken wordt bij de versterkingsopgave, hoe groter de kans op werkelijke realisatie van een NBS. In de beginfase is het daarom belangrijk de duurzaamheidsambities, waar een NBS onderdeel van kan zijn, breed te verkennen. Dit vanuit meerdere opgaven en niet enkel vanuit de waterveiligheidsopgave of verbeteropgave van de waterkering.

Tabel 3.4: Procesaanwijzingen per projectfase

NBS kwelder & intergetijdegebied i.r.t. MIRT fasering en roadmap duurzaamheid HWBP

Initiatief	Verkenning	Planuitwerking	Aanbesteding	Realisatie
Betrekken bij projectopdracht	Varianten dijkversterking en NBS hangen met elkaar samen	Uitwerking ontwerp en bepalen effecten	Combineren van uitvoering	Combineren van uitvoering
* Breng de diverse opgaven in beeld, stem de programmering van de kwelderontwikkeling af met de buitendijkse waterbeheerder (en anderen) en verken gezamenlijk de mogelijkheden. Focus op de kansen van combinatie van opgaven buitendijkse natuurontwikkeling en dijk en inventariseer de gewenste omgang met projectrisico's en dilemma's. * verken mogelijke nevenbaten van kwelderontwikkeling, bijvoorbeeld het verbeteren van doorzicht van het water door slibvang en agrarisch medegebruik. * verken bijdrage duurzaamheid voor ten minste de mogelijke winst op de thema's circulariteit, ruimtelijke kwaliteit en biodiversiteit/ecologie. * Maak voor- en nadelen inzichtelijk en leg dit vast, bijvoorbeeld met een startnotitie en samenwerkingsovereenkomst. * Denk na over de juridische implicaties van kwelderontwikkeling (N2000 gebiedsbescherming) en maak hiervoor afspraken t.a.v. rolverdeling en werkwijze.	* Verken ontwerpvarianten die voldoen aan de projectopdracht. Als combinatie met uitbreiding kwelder onderdeel is van de opdracht, zijn de ontwerpvarianten dat ook. * Verken eventueel de NBS als "omgevingsvariant" of alternatief voor traditionele dijkversterking. * maak de winst op ten minste de thema's circulariteit, ruimtelijke kwaliteit en biodiversiteit /ecologie inzichtelijk en betrek dit bij de afweging van varianten. Doe hetzelfde voor andere nevenbaten. * Maak voor beslissers inzichtelijk hoe de NBS bijdraagt aan de doelstellingen van het project. * Verken of NBS kan bijdragen aan duurzaamheidsdoelstellingen in algemene zin (bijv. CO2-reductie). * Verken de mogelijkheden en business case van ontwerp met een kortere tijdshorizon, omdat de kwelder meegroeit mee de zeespiegelstijging.	* Werk bij voorkeur met een gecombineerde uitvoering en een gecombineerd planproces, zodat er sprake is van synergie tussen NBS en dijkversterking. * maak de winst op ten minste de thema's circulariteit, ruimtelijke kwaliteit en biodiversiteit inzichtelijk en betrek dit bij de uitwerking van referentieontwerp en plannen. Doe hetzelfde voor andere nevenbaten. * Maak voor beslissers inzichtelijk hoe de NBS bijdraagt aan de doelstellingen van het project. * Verken of NBS kan bijdragen aan duurzaamheidsdoelstellingen in algemene zin (bijv. CO2-reductie). * Bepaal effecten van het VKA, waarbij de meerwaarde van de NBS van maatregelen ook terugkomt in de planproducten (projectbesluit, MER, etc.). Werk het ontwerp hiervoor voldoende uit.	* Bepaal de keuze van de contractvorm mede op basis van de randvoorwaarden voor realisatie van de NBS en dijkversterking. Bijv. door de kwelderontwikkeling apart aan te besteden. Leg de eisen voor NBS zodanig vast dat ook in de realisatiefase de meerwaarde van de NBS wordt gewaarborgd in zowel uitvoering als beheer.	*Toets en bewaak de projectdoelen. Zorg voor voldoende waarborgen in de uitvoeringsfase, zodat de beoogde effecten van de NBS worden gerealiseerd. Dit kan bijvoorbeeld door het vragen van tussentijdse rapportages en veldinspecties. Zorg voor een goed ontwikkelings- en instandhoudingsplan voor duurzaam beheer, maak afspraken tussen de verschillende beheerders.

3.6 Voorbeelden

[Beneden Merwede Dordrecht, Nieuwe Maas Rotterdam](#)
[Eastern Scheldt, The Netherlands](#)
[Mud Motor Port of Harlingen, \(Koehoal\)](#)
[Houtribsluizen Markermeer side, Netherlands](#)
[Oosterschelde \(Eastern Scheldt\), the Netherlands](#)
[Wallasea, UK](#)
[Salt marsh development Marconi Delfzijl:](#)
[POV Waddenzeedijken](#)

3.7 Referenties

Allen JRL (2000) Morphodynamics of holocene salt marshes: a review sketch from the Atlantic and Southern North Sea coasts of Europe. *Quaternary Science Reviews* 19: 1155-1231

Alterra. (2012). Een Dijk van een Kwelder. <https://edepot.wur.nl/196955>

Bakker JP, Bunje J, Dijkema K, Frikke J, Hecker N, Kers B, Körber P, Kohlus J & Stock M (2004). Chapter 7: Salt marshes. In: Essink K, Dettman C, Farke H, Laursen K, Lüerßen G, Marencic H & Wiersinga W (Eds.). *The Wadden Sea Quality Report 2004*. Wadden Sea Ecosystems No. 19-2005. Trilateral monitoring and assessment Group, Commen Wadden Sea Secretariat, Wilhelmshaven, Germany.

Cahoon DR (2006) A review of major storm impacts on coastal wetland elevations. *Estuaries and Coasts* 29: 889-898.

[Deltares \(2024\). Bijdrage van kweldervegetatie aan het waterkeringssysteem; Meetverslag van Deltagootproeven. Deltares rapport 11205132-004-HYE-0011, Mark Klein Breteler, Pim Willemsen en Vera van Bergeijk, 21 augustus 2024 \(concept\).](#)

Ford H, Garbutt A, Ladd C, Malarkey J, Skov MW (2016) Soil stabilization linked to plant diversity and environmental context in coastal wetlands. *Journal of vegetation Science* 27: 259-268.

Hofstede, J.L.A. (2003). Integrated management of artificially created salt marshes in the Wadden Sea of Schleswig-Holstein, Germany. *Wetl. Ecol. Manag.* 11, 183–194.

POV Waddenzeedijken (2020). Handreiking Rijke Dijk. <https://www.hwbp.nl/binaries/hoogwaterbeschermingsprogramma/documenten/rapporten/2021/02/05/handreiking-rijke-dijk/Rijke+Dijk+-+EXTERN+Handreiking+incl+bijlagen.pdf>

Huiskes AHL, Stienstra AW, Koutstaal BP, Markusse MM, Van Soelen J (1985) Germination ecology of *Salicornia dolichosachya* and *Salicornia brachystachya*. *Acta Botanica Neerlandica* 34: 369-380.

Kirwan ML, Guntensperger GR, D'Alpaos A, Morris JT, Mudd SM & Temmerman S (2010) Limits on the adaptability of coastal marshes to rising sea level. *Geophysical Research Letters* 37, L23401.

Möller et al., 2014. Wave attenuation over coastal salt marshes under storm surge conditions. <https://sci-hub.se/10.1038/ngeo2251>

[Nature Today | Dreigende eenvormigheid van kwelders aanpakken](#)

Odum WE (1988) Comparative ecology of tidal freshwater and salt marshes. *Annual Review of Ecology and Systematics* 19: 147-176.

Oloff H, De Leeuw J, Bakker JP, Platerink RJ, Van Wijnen HJ, De Munck W (1997) Vegetation succession and herbivory in a salt marsh: changes induced by sea-level rise and silt deposition along an elevational gradient. *Journal of Ecology* 85: 799-814.

Temmerman S, Bouma TJ, Van de Koppel J, Van der Wal DD, De Vries MB, Herman PMJ (2007) Vegetation causes channel erosion in a tidal landscape. *Geology* 35: 631-634

Temmerman S, Govers G, Meire P & Wartel S (2003) Long-term tidal marsh growth under changing tidal conditions and suspended sediment concentrations, Scheldt estuary, Belgium. *Marine Geology* 193: 151-169

Temmerman S, Govers G, Meire P, Wartel S (2004) Simulating the long-term development of levee-basin topography on tidal marshes. *Geomorphology* 63:39-55.

Temmerman, S., Meire, P., Bouma, T. J., Herman, P. M., Ysebaert, T., & De Vriend, H. J. (2013). Ecosystem-based coastal defence in the face of global change. *Nature*, 504(7478), 79-83.

Van Belzen, J.; Rienstra, G.U. & Bouma, T.J., (2021). Dubbele dijken als robuuste waterkerende landschappen voor een welvarende Zuidwestelijke Delta. NIOZ Report 2021-01. NIOZ Royal Netherlands Institute for Sea Research: 99 pp.
<https://doi.org/10.25850/nioz/7b.b.kb>.

Van Duin et al., 2016

Van Duin WE, Dijkema KS (2012) Randvoorwaarden voor kwelderontwikkeling in de Waddenzee en aanzet voor een kwelderkanalenkaart. Rapport C076/12, IMARES, Wageningen University & Research. <http://edepot.wur.nl/220052>

Van Loon-Steensma JM, De Groot AV, Van Duin WE, Van Wesenbeeck BK, Smale AJ (2012) Zoekkaart kwelders en waterveiligheid waddengebied. Alterra Rapport 2391, Alterra, Wageningen University & Research. <http://edepot.wur.nl/244770>

Vuik et al., 2019. Vuik, V., Borsje, B. W., Willemsen, P. W., & Jonkman, S. N. (2019). Salt marshes for flood risk reduction: Quantifying long-term effectiveness and life-cycle costs. *Ocean & coastal management*, 171, 96-110.

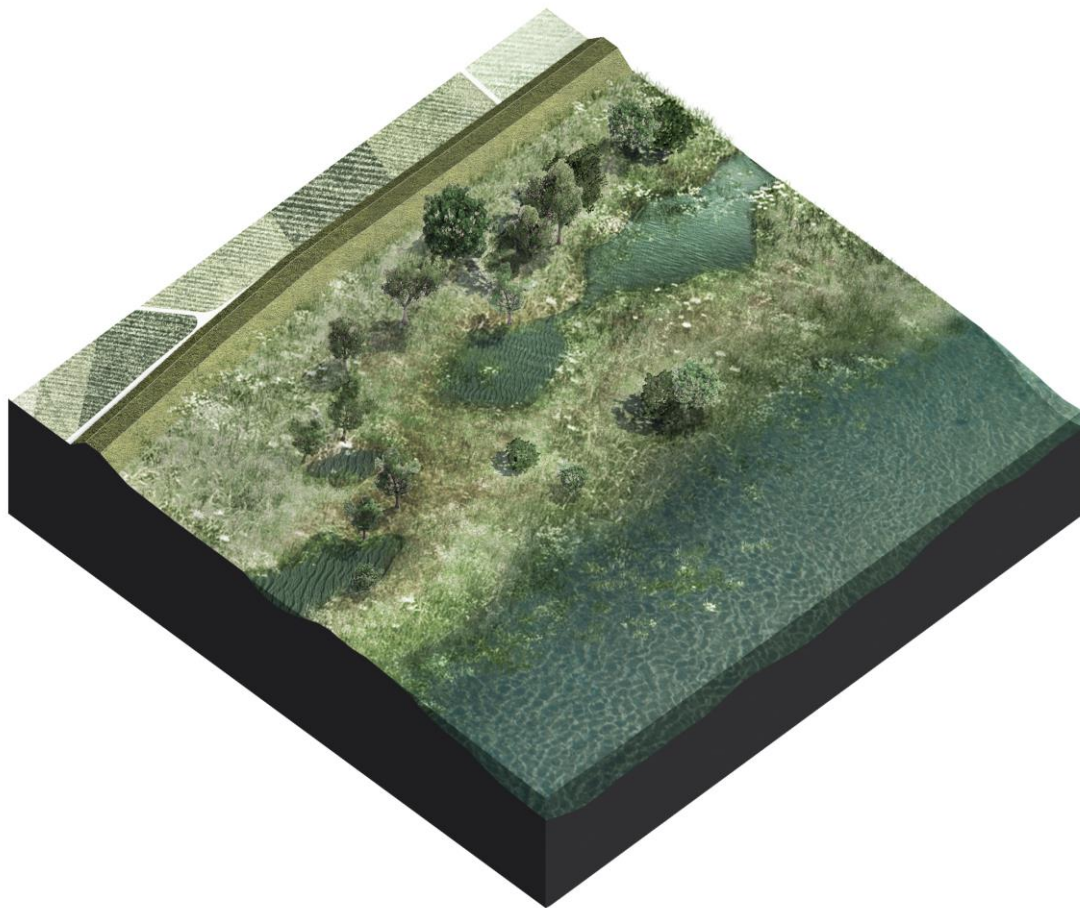
Vuik, V., Jonkman, S. N., Borsje, B. W., & Suzuki, T. (2016). Nature-based flood protection: The efficiency of vegetated foreshores for reducing wave loads on coastal dikes. *Coastal engineering*, 116, 42-56.

Zhu, Z., Vuik, V., Visser, P.J., Soens, T., van Wesenbeeck, B., van de Koppel, J., Jonkman, S.N., Temmerman, S. & Bouma, T.J., (2020). Historic storms and the hidden value of coastal wetlands for nature-based flood defence. *Nature Sustainability*, 3(10), 853-862.

4 Aanleg begroeide vooroever en voorland

Tabel 4.1: Doorzoekbaarheidstabel Begroeide vooroever en voorland

Categorie	Verlagen waterstand en/of golfbelasting, Vergroten sterkte dijk
Locatie	Rivier/ Meer
Dijkversterking projectfase	Initiatief, Verkenning



Figuur 4.1: Aanleg begroeide vooroever en voorland © One Architecture, Ecoshape

4.1 Beschrijving

Voor de dijk kan een vooroever of voorland worden aangelegd. Een vooroever is relatief laag gelegen en ligt gemiddeld onder water, een voorland relatief hoog gelegen en bevindt zich overwegend boven de waterspiegel. De toepassing van een begroeid voorland of vooroever is goed toe te passen in combinatie met andere NBS dijken en natuur.

Ondiepe vooroevers dragen bij aan verbetering van de waterveiligheid door:

- vermindering van golfimpact/overloop door het dempen van golven; inkomende golven verliezen hun energie door te breken in ondiep water en door de weerstand die ze ondervinden in begroeide gebieden;
- stabilisatie van de buitenzijde van de dijk: de grondmassa die op de dijk rust, fungeert als een stabiliserende berm;
- vermindering van piping door de kwelweglengte te vergroten en – indien nodig – door onderdelen met een lage doorlatendheid, zoals een kleilaag, toe te voegen.

Het ecosysteem van een vooroever of voorland levert een bijdrage aan (natuur)doelen door:

- regulering als golfdemping, erosiepreventie, sedimentopvang, bodemvorming, nutriëntencyclus, broeikasgasvastlegging, waterzuivering;
- grondwateropslag, voedselproductie voor herbivoren, rust-/foerageer-/broedplaats voor trekvogels en verblijvende vogels, biomassaproductie, corridor tussen bestaande gescheiden ecosystemen, voortplantingsruimte voor vissen, schelpdieren en schaaldieren;
- ondersteuning van bijvoorbeeld de beschikbaarheid van zoetwatermoerasbiotopen, recreatie;
- de esthetische waarde van een 'natuurlijk' landschap.

Overwegingen voor toepassing

Ondiepe vooroevers of uiterwaarden nemen ruimte in beslag, dus ze kunnen alleen worden toegepast waar voldoende ruimte beschikbaar is. In het geval van meren is dit meestal geen probleem, in ieder geval niet zolang overstroombare natuur wordt aangelegd, zie de kamerbrief over 'water en bodem sturend' (25 november 2022, documentnummer 27625-592). Bij rivieren vereist dit punt speciale aandacht. Vooroevers en voorlanden in het stroomvoerende deel kunnen leiden tot opstuwing en hogere waterstanden. Volgens rivierkundige beoordelingskaders is dit in principe niet toelaatbaar. Buiten de stroomvoerende delen leidt aanleg van een voorland in principe alleen tot een afname in bergend volume. Het ontnemen van bergingsruimte van een rivier heeft gevolgen voor de hoogte en snelheid van hoogwatergolven. Aangezien overstromingsopslag in een rivier wordt bepaald door de breedte aan het wateroppervlak, betekent dit dat het vooroeverniveau bij voorkeur onder het ontwerpwaterpeil moet blijven. Aan de andere kant moet het niveau hoog genoeg zijn om effectief golven te dempen onder ontwerpomstandigheden.



Figuur 4.2: Waterbergingsgebied en natuurlijke vooroever in de Schelde, België (EcoShape website)

Kosten

De bouwkosten van vooroevers worden grotendeels bepaald door de kosten van het aan te brengen volume sediment en eventuele benodigde constructies (bijvoorbeeld strekdammen of golfbrekers) om het sediment op te sluiten. Onderhoudskosten omvatten het onderhoud van de zandrand en de vegetatie. Na een zware storm kan het nodig zijn om delen van het profiel te herstellen. De aanlegkosten kunnen vergelijkbaar of zelfs lager zijn dan die van traditionele dijkversterking. Monitoring en beoordeling kunnen extra kosten met zich meebrengen in vergelijking met een traditionele dijk (Tabel 4.2, zie Haskoning, 2011).

Tabel 4.2: Kostenramingen vooroeverprojectontwerpen (Haskoning, 2011).

Casus	Variant	Constructie in miljoen €/m	Jaarlijkse kosten in onderhoud in €/m	Onzekerheidsmarge
Oeverdijk Markermeer	eco-variant (Rietmoeras)	- 2.25-3.55 Goedkoper	+ 2.5-1	40%
	Basis variant (Traditioneel profiel)	- 2.75 Goedkoper	+ 7	40%
Fort Steurgat (Noordwaard)	Klei-grasbekleding + Wilgenbos	- 1.55 Goedkoper	+ 2	25%

Vanuit het perspectief van Life Cycle Costs (LCC) kan de aanleg van een dijk met een ondiepe vooroever in bepaalde gevallen goedkoper zijn dan een traditioneel ontwerp, omdat de kostenbesparingen op het aanleggen relatief hoog zijn in vergelijking met de extra kosten voor onderhoud. Vooral als de vooroeverontwerpen in staat zijn om voldoende sediment in te vangen om mee te groeien met geleidelijk veranderende hydraulische belastingen (meerpeil, waterstanden bij extreme rivierafvoeren en zeespiegelstijging), kunnen de toekomstige kosten voor onderhoud en dijkversterking aanzienlijk lager zijn.

Enkele belangrijke kostenbepalende aspecten zijn:

- de waterdiepte voor de dijk, en daarmee het aan te brengen volume sediment;
- de noodzaak voor het aanleggen van harde constructies voor het opsluiten van de vooroever of het voorland.
- de mate waarin aanleg van een vooroever of voorland de opgave voor de dijk zelf kan wegnemen (verhoging kruin, vervangen bekleding, aanpassingen binnentalud, enz.).
- de beschikbaarheid van lokaal gewonnen sediment, waarbij mogelijk klei en veen gebruikt kan worden als opvulmateriaal en zand als toplaag.

4.2 Waterveiligheid

De aanleg van begroeide vooroevers hebben een positief effect op de waterveiligheid. Het effect op de waterveiligheid bestaat uit (1) de aanleg van een vooroever/voorland en (2) de toepassing van begroeiing/vegetatie.

Effecten van een voorland

Toepassing van voorlanden kan leiden tot een reductie van de hydraulische belastingen op de waterkeringen en/of een toename van de sterkte van de waterkering. Dit komt door verschillende effecten (POV Voorlanden, 2019):

Golfreductie:

Door een hooggelegen voorland worden golven gebroken voordat deze de waterkering bereiken. Bebouwing en/of vegetatie versterken dit effect. Dit is aan het eind van de paragraaf verder uitgewerkt. De golfdemping is in belangrijke mate afhankelijk van de optredende waterdiepte boven de vooroever: naarmate het water hoger staat, is er minder

invloed van de bodem op de golven. Als vuistregel komt naar voren dat in elk geval een strook van enkele tientallen meters breed nodig is voor een significante bijdrage (Alterra, 2012). De golfreductie vermindert de kans op verschillende faalmechanismen. De bekleding van kruin en binnentalud wordt minder snel instabiel of geërodeerd door golfoverslag. De bekleding van het buitentalud wordt minder snel instabiel door golfaanval. Dit effect is te berekenen door het activeren van de voorlandmodule in een berekening in Riskeer of Hydra-NL. Minder golfoverslag leidt ook tot een minder verzadigd dijklichaam. Dit verbetert de binnenwaartse micro- en macrostabiliteit. In de grenstoestandsfuncties in het BOI instrumentarium kan daartoe kans op significante golfoverslag worden gereduceerd.

Extra kwelweglengte.

Een voorland vergroot de afstand tussen de dijk en het intredepunt van de kwelstroom. Dit heeft verschillende voordelen. De langere kwelweg vermindert de kans op piping, wat de dijk sterker maakt. De freatische lijn en stijghoogtelijn worden verlaagd als hun intredepunt verder van de dijk ligt. Een lagere freatische lijn en stijghoogtelijn verhogen de korrelspanning in het dijklichaam. Dit versterkt de dijk en vermindert de kans op instabiliteit. In de grenstoestandsfuncties in het BOI instrumentarium kan daartoe de kwelweglengte/intredeweerstand worden gereduceerd. Overigens kan de aanwezigheid van een voorland ook een negatief effect hebben. Dat gebeurt als er sprake is van opbolling van de freatische lijn, als gevolg van neerslag. Dit dient te worden geschematiseerd in de 'dagelijkse' omstandigheden bij een berekening met D-Stability software.

Steunbermwerving.

Een hooggelegen voorland werkt als een buitendijkse steunberm. Het stabiliseert de dijk tegen buitenwaarts gerichte glijvlakken. Hierdoor neemt de kans op buitenwaartse instabiliteit af. Ook de buitendijkse stabiliteit wordt berekend met D-Stability.

Drempelwerking.

Een hooggelegen voorland vormt een extra barrière tegen overstromingen. Dit is vooral belangrijk bij afschuivingen door macro- en microstabiliteit. Als er een glijvlak aan de binnenzijde van de waterkering ontstaat, voorkomt het voorland een overstroming zolang het niet onder water staat. Zelfs als het voorland in extreme omstandigheden overstroomt, vermindert het nog steeds de kans op een (grote) overstroming. De impact hiervan is lastiger te kwantificeren met het beoordeling instrumentarium.

In Tabel 4.3 is de impact op de waterveiligheid samengevat.

Tabel 4.3: Impact op faalmechanismen (effect door aanleg voorlanden en door vegetatie op voorlanden)

	Overlopen	Macro-instabiliteit buitentalud	Golfoverslag	Micro-instabiliteit	Macro-instabiliteit binnentalud	Opbarsten en piping	Bekleding
Begroeide vooroevers	0	+	+	0/+	+	+	+

Het Rijk stelt de regels op voor het uitvoeren van de veiligheidsbeoordeling op en stelt leidraden beschikbaar voor het ontwerp en het beheer van primaire keringen. Deze regels zijn beschikbaar in het Beoordelings- en ontwerpinstrumentarium (BOI). Het instrumentarium bestaat uit handleidingen, technische leidraden, software-applicaties en databases. Deze instrumenten worden gebruikt om de overstromingskans van een dijktraject te bepalen.

In de Handleiding Overstromingskansanalyse dijken/dammen (deel 1 – 5) zijn rekenregels terug te vinden om bijvoorbeeld de impact van een voorland (aanpassing dijkprofiel) op verschillende faalmechanismen van dijken of duinen te berekenen. De rekenregels zijn ook verwerkt in de applicaties die onderdeel uitmaken van het BOI (zoals Riskeer), zodat deze gebruikt kunnen worden om de kans van optreden van bepaalde faalmechanismen te berekenen. Het effect van voorlanden op golven kan worden ingeschat met behulp van de voorlandmodule in Riskeer en Hydra-NL.

Effecten van vegetatie

In Vuik et al. (2016) is de invloed van begroeiing op voorlanden in het verminderen van de golfbelasting op de dijk onderzocht. De resultaten tonen aan dat begroeide voorlanden de golfbelasting op kustdijken aanzienlijk verminderen, ook bij grote inundatiedieptes die optreden tijdens stormen en wanneer de vegetatie zich in de wintertoestand bevindt. Het effect van het voorland op de golfbelasting varieert met de verhouding tussen de golfhoogte en waterdiepte op het voorland. De aanwezigheid van vegetatie vergroot het bereik van waterdieptes waarbij een voorland effectief kan worden toegepast voor het verminderen van golfbelastingen, en voorkomt dat er intense golfbreking op het voorland plaatsvindt. Aandachtspunt is wel dat veel soorten rietachtige vegetatie afbreken bij hoge golven. In Vuik et al. (2018) is een methode ontwikkeld om het risico op stengelbreuk in te schatten. In Deltares (2024) zijn metingen uitgevoerd aan de stabiliteit van vegetatie in de Deltagoot. Om meer inzicht te krijgen in de bijdrage van begroeide vooroevers aan golfdemping onder extreme stormcondities met waterstanden tot 4 meter boven op de kwelder en golfhoogtes tot 2 meter zijn recentelijk begroeide kwelders aan de Friese Waddenkust uitgegraven en in de Deltagoot geplaatst (Deltares, 2024). De initiële resultaten van deze proeven laten zien dat kwelders ook tijdens extreme stormen golven kunnen dempen, al lijkt de demping minder sterk dan onder stormen met lagere waterstanden en golfhoogtes. Daarnaast lijkt de schade die deze stormen toebrengen aan de begroeiing beperkt. De resultaten worden momenteel verder uitgewerkt in praktische richtlijnen.

Tot slot, toepassing van vegetatie, met name wanneer het toegepast wordt in uiterwaarden, kan leiden tot een verhoging van de waterstanden in de stroombaan. Dit kan een negatieve impact hebben op de waterveiligheid van rivierdijken.

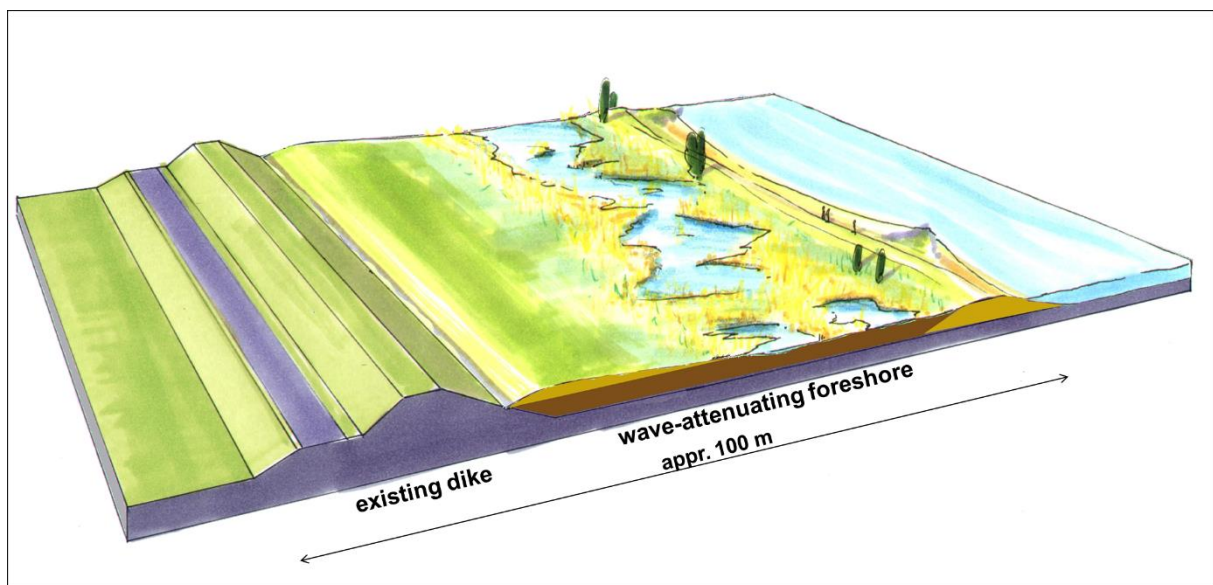
In de praktijk

Vooroevers en voorlanden verbeteren de stabiliteit van een dijk en dragen bij aan waterveiligheid door de golfbelasting te dempen. Toevoeging van vegetatie op de vooroevers draagt verder bij aan golfdemping en stabiliteit, terwijl het een reeks van verschillende vegetatiezones creëert die nieuwe habitats en recreatiemogelijkheden ondersteunen. In

slibrijke omgevingen vangen vooroevers sediment in en helpen ze bij de bodemvorming, wat aanpassing aan zeespiegelstijging mogelijk maakt. Vooroevers vereisen ruimte en hun aanleg vereist grootschalige grondverzet. Daarnaast moet de aangelegde vooroever passen binnen het lokale hydrologische en morfologische systeem.

Vooroevers in zoetwateromgevingen kunnen bestaan uit zoetwatermoerassen of uiterwaarden. Een ondiepe vooroever of uiterwaard kan op verschillende manieren bijdragen aan de sterkte, stabiliteit en overstromingsbestendigheid van een dijk. Een voorland kan door zijn gewicht de macrostabiliteit van de dijk versterken. Een voorland van klei kan daarnaast de kwelweglengte vergroten en de kans op piping verkleinen. Onder bepaalde omstandigheden kan de kruin van de dijk lager worden ontworpen dan bij een traditioneel ontwerp, dankzij het golfdempende effect van de vooroever of het voorland. De golfdemping zorgt voor minder golfoverslag, welke vaak maatgevend is voor de ontwerphoogte van de kruin. Daarnaast is de golfaanval op het buitentalud lager, waardoor minder zware dijkbekleding volstaat. Dit effect kan worden versterkt door de introductie van vegetatie zoals riet, struiken of bomen. In afwezigheid van een natuurlijke vooroever kan een geleidelijk aflopende vooroever voor de dijk worden aangelegd.

Bij een vloeiende overgang tussen bestaande dijk en aangelegde vooroever wordt soms gesproken over een vooroeverdijk (bijvoorbeeld bij de Markermeerdijken tussen Hoorn en Amsterdam). De belangrijkste kenmerken van de vooroeverdijk zijn de flauwe helling en de verschillende typen vegetatie op deze helling. De vegetaties op de helling van deze dijk kunnen zich verder ontwikkelen en mogelijkheden bieden aan het aangrenzende ecosysteem of voor recreatie. Als het aangrenzende water voldoende sediment bevat dat door de vegetatie kan worden vastgehouden, maakt de combinatie van sedimentopvang en door vegetatie geïnduceerde bodemvorming het mogelijk voor de vooroever om zich aan te passen aan een langzaam stijgend waterniveau (relatieve zeespiegelstijging).



Figuur 4.3: Een vooroever in een zoetwateromgeving in combinatie met een groene dijk (bron: EcoShape website). Voor de bestaande dijk ('existing dike') ligt een golf dempend voorland ('wave-attenuating foreshore')

Dijken die grenzen aan zoetwatersystemen zoals rivieren of meren worden meestal gebouwd als relatief steile grondlichamen bestaande uit een zandkern met een kleibekleding en grasmat erbovenop. Verwevenheid van deze dijken met het omringende landschap wordt over het algemeen niet meegenomen in het ontwerp. Afhankelijk van de situatie wordt het gebied rond de waterlijn beschermd door een bekleding van steen- of betonelementen, of door een vegetatiezone, vaak een rietkraag. Deze dijken zijn ontworpen om ontwerpwaterstanden en overloop van lokaal gegenereerde windgolven te weerstaan. Vooral de beperking van overloop kan leiden tot een aanzienlijke extra ontwerphoogte en de noodzaak om het binnentalud te stabiliseren (meestal met een berm). Het toevoegen van een berm vereist vaak veel ruimte en leidt daardoor tot aanzienlijke extra kosten.

Sommige oudere dijken hebben nog steeds een kern van materiaal dat destijds lokaal beschikbaar was, zoals veen of zeewier. Daarnaast voldoen veel oudere dijken niet aan de huidige stabiliteitseisen, omdat ze te steil zijn gebouwd. Verder kunnen dijken in gebieden met een zanderige ondergrond gevoelig zijn voor piping (de vorming van sediment transporterende kwelkanalen), wat de dijk kan ondermijnen (zie bijvoorbeeld IVW, 2011). Om het huidige overstromingsrisiconiveau te handhaven, moeten dijken die niet aan de geldende kwaliteitsnormen voldoen, opnieuw worden ontworpen of moeten andere maatregelen worden genomen. Als er voldoende ruimte beschikbaar is aan de waterzijde, kan de aanleg of het behoud van een ondiepe vooroever een optie zijn om de veiligheid te verhogen.



Figuur 4.4: Natuurlijke vooroever aan de Friesche kant van het IJsselmeer (EcoShape website)

4.3 Bijdrage aan Natuurdoelen

Voorlanden en vooroevers kunnen zowel op terrestrische als aquatische doelen een positief effect hebben. Uit voorgaande blijkt dat vegetaties een bijdrage kunnen hebben op golfreductie. De voorbeelden gaan vooral uit van grazige en lage kruidachtige vegetaties. Bij de beschrijving van mogelijke positieve natuureffecten is niet uitgegaan van bosontwikkeling. De maatregel kan zowel in het rivierengebied als op grote meren gerealiseerd worden.

Een aandachtspunt is het verschil tussen dagelijkse waterstanden en ontwerpwaterstanden. Een voorland rond de ontwerpwaterstand is het meest effectief qua golfdemping. In veel gevallen ligt de ontwerpwaterstand echter aanzienlijk hoger dan dagelijkse waterstanden. Dit impliceert dat een effectief voorland veelal ook een droog voorland is, met een grondwaterstand ver beneden maaiveld. Veel karakteristieke vegetatiesoorten voor

buitendijkse natuur (wilgen, riet, biezten) zullen niet aanslaan op een hoog en droog voorland.

Tabel 4.4: Natuurwinst bij begroeide vooroevers en voorland

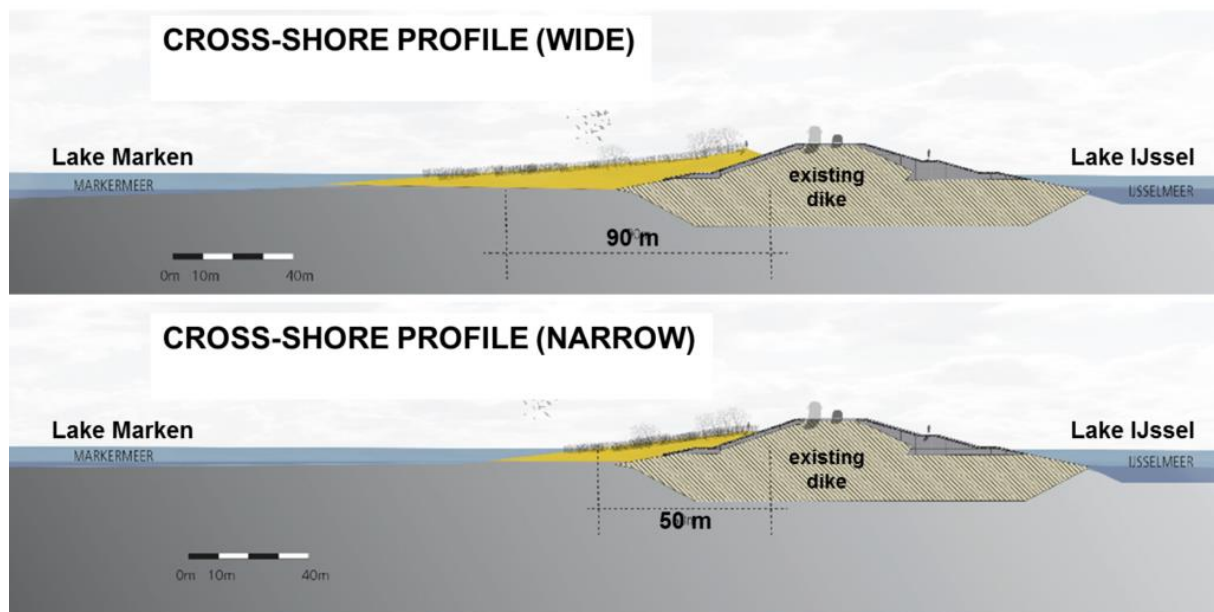
	Draagt het concept mogelijk bij aan natuurdoelen? - = negatief effect 0 = geen effect + = positief effect	Hoe draagt het mogelijk bij aan natuurdoelen?
Natura 2000-gebieden	+	H3140 – Kranswierwateren H3150 – Meren met krabbenscheer en fonteinkruiden H3270 – Slikkige rivieroever H6120 – Stroomdalgraslanden H6430 A, B, C – Ruigten en Zomen H6510 A, B – Glanshaver- en vossenstaarthooilanden Habitatrichtlijnsoorten: o.a: bittervoorn, kleine modderkruiper, rivierdonderpad. Vele aangewezen Broedvogels en Niet-broedvogels.
Natuurnetwerk Nederland	+	N01.03 Rivier- en moeraslandschap N04.01 Kranswierwater N05.04 Dynamisch Moeras N11.01 Droog schraalgrasland N12.01 Bloemdijk N12.02 Kruiden- en faunairijk grasland N12.03 Glanshaverhooiland N12.06 Ruigteveld N13.01 Vochtig weidevogelgrasland N13.02 Wintergastenweide
Beschermde soorten	+	O.a. vleermuizen, otter, bever.
Kaderrichtlijn water	+	Vissen, macrofauna en macrofyten
Bossenstrategie	0	n.v.t.

4.4 Ontwerp, aanleg & Beheer

Ontwerp

Het profiel van een vooroeverdijk wordt bepaald door de inundatiediepte, de inundatiefrequentie, de gemiddelde waterdiepte (lagere delen) en het grondwaterpeil (hogere delen). In het geval van een meer bestaat dit profiel vaak uit een grondkerende rand van relatief grof zand, indien nodig met een harde bekleding aan de buitenzijde rond het gemiddelde waterpeil. Het bevat ook een laaggelegen gebied dat een moerasbiotoop ondersteunt, een oplopend deel om de inkomende golven te dempen, een zanderige buffer voor de dijk en een ondiepe sloot voor de dijk om het grondwaterpeil te beheersen. Riet kan groeien in ondiep water tot 0,5 meter diepte ten opzichte van het gemiddelde waterpeil. Moerasvegetatie zal beperkt blijven tot een zone tot ongeveer 0,5 meter boven het gemiddelde waterpeil. Op hogere niveaus zullen gras en struiken de overhand hebben. Let op dat dergelijke vooroevers ook van nature kunnen voorkomen. Een voorbeeld hiervan zijn

de oevers aan de Friese kust van het IJsselmeer, die zijn geëvolueerd uit de kwelders die daar aanwezig waren voordat het meer in 1932 van de zee werd afgesloten.



Figuur 4.5: Doorsnede van de Houtribdijk, aangrenzend aan het Markermeer en het IJsselmeer (bron: Ecoshape website)

Het type materiaal dat toegepast kan worden in de vooroever is afhankelijk van wat er lokaal beschikbaar is. In ieder geval moet het deel dat de vegetatie ondersteunt voldoende fijne deeltjes en voedingsstoffen bevatten om vruchtbaar te zijn. Golfdemping is vaak minder van belang in de smallere delen van een rivier. Daar is de belangrijkste functie van een vooroever voor de dijk het verhogen van de stabiliteit van het buitentalud en het voorkomen van kwelgerelateerde verschijnselen zoals piping, opbarsten en opwellen. Dit wordt meestal bereikt door een kleilaag in te graven en deze te bedekken met de oorspronkelijke bovengrond, om de kwelengte te vergroten en zo de kans op piping te verkleinen. Deze methode stimuleert ook het herstel van vegetatie.

In het geval van vooroevers bij meren moet de zandrand aan de waterkant voldoende buffer bieden om erosie tijdens een extreme gebeurtenis op te vangen, of adequaat beschermd zijn tegen erosie door bijvoorbeeld een steenbestorting. De doorlatendheid van de bodem na plaatsing speelt een belangrijke rol. Aan de ene kant moet de doorlatendheid klein genoeg zijn om piping en uitdroging van het moerasgedeelte te voorkomen, aan de andere kant moet de doorlatendheid voldoende grondwatertoevoer naar de vegetatie mogelijk maken.

Als de vegetatie een essentieel onderdeel is ten behoeve van de waterveiligheid omdat het een aanzienlijk deel van de golfdemping moet verzorgen, moet de vegetatieontwikkeling in overweging worden genomen. Er zijn verschillende opties mogelijk om hiermee rekening te houden, zoals een robuuster ontwerp van het bodemgedeelte van de vooroever of mogelijk het aanplanten van verder ontwikkelde bomen of struiken. Echter, als de omstandigheden geschikt zijn voor vegetatieontwikkeling en er zijn voldoende plantenzaadjes beschikbaar,

kan natuurlijke vegetatiegroei buitengewoon snel verlopen. Bij vegetatie is vaak onderhoud nodig, zoals begrazing, maaien of knotten. De toestand van de vegetatie moet goed worden gemonitord.



Figuur 4.6: wilgeaanplanting voor golfdissipatie (bron: EcoShape website)

Een aandachtspunt voor vooroevers met zacht sediment, vooral in golfgevoelige gebieden, is dat ze meer interactie zullen hebben met de belangrijkste stuwingsfactoren (wind, golven en stromingen) dan een dijk bedekt met een grasmat of steenbekleding. Dit kan worden aangepakt door een zone op te nemen waarin natuurlijke processen, zoals erosie en sedimentatie, kunnen plaatsvinden. In dat geval moet een grens worden gedefinieerd waarachter geen erosie is toegestaan (vergelijkbaar met duinerosie aan de kust). Als de erosie tot aan of voorbij deze lijn voortschrijdt, zijn onderhouds- en aanpassingsmaatregelen noodzakelijk, maar deze zijn relatief goedkoop omdat het voornamelijk neerkomt op zand- of grondsuppletie.

Bovendien is de vooroevervegetatie een levend element in het systeem, wat betekent dat deze een aantal opeenvolgende stadia zal doorlopen en door de seizoenen heen zal variëren in biomassa en stromingsweerstandseigenschappen, en dus in de effectiviteit voor bescherming tegen overstromingen. Ook moet rekening worden gehouden met de mogelijkheid van afbraak door ziekten en plagen (zoals bij met gras begroeide dijken). Regelmatige monitoring, evaluatie en onderhoud zijn vereist om ervoor te zorgen dat het systeem op zijn plaats is wanneer dat nodig is. Ten slotte kunnen er juridische aspecten zijn,

aangezien het bestaande voorland een beschermd leefgebied kan zijn (bijvoorbeeld onder Natura2000) of onder een ander rechtsgebied kan vallen dan de dijk.

Moerasvegetatie in zoetwatergebieden vereist over het algemeen specifieke (hydrologische) omstandigheden waarbij het van belang is dat de moerassen niet verdrinken.

Riviermoerassen kunnen worden bedreigd door onnatuurlijke stromingsregimes, veroorzaakt door bijvoorbeeld stroomopwaartse dammen of (schut)sluizen. In meren wordt de ontwikkeling van moerassen vaak belemmerd door vaste of onnatuurlijke waterstanden, zoals een hoog meerpeil tijdens de zomer t.b.v. wateropslag en een laag meerpeil tijdens de winter om het overstromingsrisico te verminderen. Plekken die in het voorjaar geschikt lijken voor het aanslaan van vegetatie of als broedlocatie voor vogels komen vervolgens in de zomer onder water te staan. Zelfs als het meerpeil constant of laag is, kan inundatie van laaggelegen gebieden optreden door windgedreven waterstandsverhoging. Bijvoorbeeld in het IJsselmeer kan windopzet tijdens extreme gebeurtenissen lokaal resulteren in een waterstandsverhoging tot 1 meter boven het gemiddelde meerpeil (RWS-RIZA, 2007).

Aanleg

Vooroevers langs meren kunnen vanaf de waterzijde worden aangelegd, met behulp van bekende bagger- en depositietechnieken. Dit vermindert de lokale verstoring nabij de dijk (overlast, lawaai, soms ook verwijdering van eigendommen en huizen), evenals de mogelijke schade aan wegen en gebouwen door zwaar verkeer. Vanuit een levenscyclusperspectief kunnen de kosten lager zijn dan die van herhaalde dijkversterkingen, vooral als de vooroever in staat is voldoende sediment vast te houden.



Figuur 4.7: Aanbrengen van kleilaag om de kwelweglengte te vergroten (bron: EcoShape website)

De andere aanlegmethode dan die van een traditioneel versterkte waterkering die nodig is, heeft als voordeel dat de aanpassing van het voorland ervoor zorgt dat het veiligheidsniveau van de waterkering niet wordt verlaagd gedurende de uitvoering. De werkzaamheden vinden immers buitendijks plaats en de bestaande bekleding van de waterkering kan in veel gevallen intact blijven.

Het ruimtebeslag van de waterkering wordt vergroot, dit vraagt soms om de aankoop van meer grond. Daarnaast kunnen de volumes nieuw aangebracht materiaal groter zijn dan bij een traditionele dijkversterking. Echter, het aanleggen van de vooroever kan, mits het materiaal voldoet aan de eisen, worden uitgevoerd met secundair materiaal (bijvoorbeeld

gebaggerd sediment uit de omgeving) of gebiedseigen grond. Hierdoor kan deze oplossing duurzaam(er) aangelegd worden.

Beheer

Het beheer van een begroeid voorland of vooroever vraagt om natuurbeheer dat verder gaat dan het maaien van de waterkering. De gewenste vegetatietypen dienen in stand te worden gehouden en de ongewenste verwijderd. Daarnaast kan, afhankelijk van de hydraulische belasting, zandsuppletie van belang zijn. Ook dienen, wanneer de vooroever aan de waterzijde wordt opgesloten door een golfbreker of dam, de hoogte en stabiliteit van deze dam te worden gecontroleerd en waar nodig worden gehandhaafd door aanvulling.

Omdat het beheer van de vooroever naast waterveiligheid ook draait om natuurbeheer vraagt dit om een andere organisatie binnen de beheerorganisatie (veelal waterschappen). Deze organisatie moet deze stap zelf durven zetten, ervaring leert dat de transitie naar een andere organisatie van beheer goed uit te voeren is wanneer hiervoor wordt open gestaan.

Bij het opstellen van een beheerplan kan de aannemer een rol spelen. Deze stelt een meerjarig beheerplan op en draagt deze over aan de beheerorganisatie (bijvoorbeeld het waterschap).

4.5 Procesaanwijzingen

Versterkingsopgaven worden in Nederland gerealiseerd met de MIRT systematiek (<https://leerplatformmirt.nl/mirt/handreikingen/handreiking-mirt-mer/>), veelal onder het Hoogwaterbeschermingsprogramma <https://roadmapduurzaamhwbp.nl/>, waarin verschillende projectfasen worden onderscheiden; initiatief, verkenning, planuitwerking en realisatie (inclusief aanbesteding). Los van een versterkingsopgave geldt de zorgplicht waterkeringen, als continu proces, geborgd door bij de waterkeringsbeheerders (Rijkswaterstaat en de waterschappen).

De Roadmap Duurzaamheid HWBP (link) is een stappenplan om in aansluiting op de genoemde projectfasering van initiatief- tot en met realisatiefase te komen tot duurzame, goed ingepaste dijkversterkingen met ruimtelijke kwaliteit.

Binnen dit stappenplan en de Roadmap Duurzaamheid geldt dat hoe eerder een NBS betrokken wordt bij de versterkingsopgave, hoe groter de kans op werkelijke realisatie van een NBS. In de beginfase is het daarom belangrijk de duurzaamheidsambities, waar een NBS onderdeel van kan zijn, breed te verkennen. Dit vanuit meerdere opgaven en niet enkel vanuit de waterveiligheidsopgave of verbeteropgave van de waterkering.

Tabel 4.5: Procesaanwijzingen per projectfase

NBS aanleg begroeide vooroever en voorland i.r.t. MIRT fasering en Roadmap Duurzaamheid HWBP

Initiatief	Verkenning	Planuitwerking	Aanbesteding	Realisatie
Betrekken bij projectopdracht	Varianten dijkversterking en NBS hangen met elkaar samen	Uitwerking ontwerp en bepalen effecten	Combineren van uitvoering	Combineren van uitvoering
* Breng de diverse opgaven in beeld, stem de programmering van het dijkproject af met de buitendijkse beheerder (en anderen) en verken gezamenlijk de mogelijkheden. Focus op de kansen van combinatie van opgaven en inventariseer de gewenste omgang met projectrisico's en dilemma's.	* Verken ontwerpvarianten die voldoen aan de projectopdracht. Als ontwikkeling van voorland onderdeel is van de opdracht, zijn de ontwerpvarianten dat ook. * Verken eventueel de NBS als "omgevingsvariant" of alternatief voor traditionele dijkversterking.	* Werk bij voorkeur met een gecombineerde uitvoering en een gecombineerd planproces, zodat er sprake is van synergie tussen voorlandontwikkeling en dijkversterking.	* Bepaal de keuze van de contractvorm mede op basis van het benutten van de synergie tussen voorlandontwikkeling en dijkversterking. Bijv. door ruimte te geven aan het optimaliseren van grondstromen.	* Toets en bewaak de projectdoelen. Zorg voor voldoende waarborgen in de uitvoeringsfase, zodat de beoogde effecten van de NBS worden gerealiseerd. Dit kan bijvoorbeeld door het vragen van tussentijdse rapportages en veldinspecties.
* verken bijdrage duurzaamheid voor ten minste de mogelijke winst op de thema's circulariteit, ruimtelijke kwaliteit en biodiversiteit/ecologie.	* maak de winst op ten minste de thema's circulariteit, ruimtelijke kwaliteit en biodiversiteit /ecologie inzichtelijk en betrek dit bij de afweging van varianten. * Maak voor beslissers inzichtelijk hoe de NBS bijdraagt aan de doelstellingen van het project. * Verken of NBS kan bijdragen aan duurzaamheidsdoelstellingen in algemene zin (bijv. biodiversiteit)	* maak de winst op ten minste de thema's circulariteit, ruimtelijke kwaliteit en biodiversiteit inzichtelijk en betrek dit bij de uitwerking van referentieontwerp en plannen. * Maak voor beslissers inzichtelijk hoe de NBS bijdraagt aan de doelstellingen van het project. * Verken of NBS kan bijdragen aan duurzaamheidsdoelstellingen in algemene zin (bijv. biodiversiteit)	Leg de eisen voor NBS zodanig vast dat ook in de realisatiefase de meerwaarde van de NBS wordt gewaarborgd in zowel uitvoering als beheer.	Zorg voor een goed ontwikkelings- en instandhoudingsplan voor duurzaam beheer, maak afspraken tussen de verschillende beheerders
* Maak voor- en nadelen inzichtelijk en leg dit vast, bijvoorbeeld met een startnotitie en samenwerkingsovereenkomst. * Stem projectorganisatie en kostenverdeling af op de opgave; betrekken van voorlandontwikkeling bij de dijkversterking vraagt ook in de voorbereiding een investering	* Verken de mogelijkheden en business case van het vermijden van investeringen aan de dijk door extra investeringen in het voorland en adaptief ontwerpen, en breng nevenbaten in beeld.	* Bepaal effecten van het VKA, waarbij de meerwaarde van het de NBS ook terugkomt in de planproducten (projectbesluit, MER, etc.). Werk het ontwerp hiervoor voldoende uit.		

4.6 Voorbeelden

[Beneden Merwede Dordrecht, Nieuwe Maas Rotterdam](#)

[Eastern Scheldt, The Netherlands](#)

[Southeast of the city of Stavoren, IJsselmeer area, the Netherlands](#)

[Houtribsluizen Markermeer side, Netherlands](#)

[Frisian coast of Lake IJsselmeer near the Workumerwaard](#)

Kop van 't Land – Island of Dordrecht

Wieldrechtse Sea Dike – Island of Dordrecht

[Houtribdijk](#)– Netherlands

[Vooroever Markermeerdijken](#)

[Versterking IJsselmeerdijk](#)

[Bank protection in the Clun River](#)

[Bank and toe protection in the Monnow River](#)

4.7 Referenties

Alterra. (2012). Een Dijk van een Kwelder. <https://edepot.wur.nl/196955>

Dam, G., S.E. Poortman, A.J. Blik & Y. Plancke, 2013. Long-term modeling of the impact of dredging strategies on morpho- and hydrodynamic developments in the Western Scheldt. Proc. WODCON XX: the Art of Dredging, 14 pp.

Dekker, F and M.B. de Vries, 2009. Rapportage Ontwerp Groene Golfremmende Dijk FortSteurgat definitief

Deltares (2024). Bijdrage van kweldervegetatie aan het waterkeringssysteem; Meetverslag van Deltagootproeven. Deltares rapport 11205132-004-HYE-0011, Mark Klein Breteler, Pim Willemsen en Vera van Bergeijk, 21 augustus 2024 (concept).

Deltares, 2012. Synergy of safety and ecology. Report no. 1205256-000, 80 pp. (in Dutch)

EurOtop., (2018). Manual on wave overtopping of sea defences and related structures. An overtopping manual largely based on European research, but for worldwide application. Van der Meer, J.W., Allsop, N.W.H., Bruce, T., De Rouck, J., Kortenhaus, A., Pullen, T., Schüttrumpf, H., Troch, P. and Zanuttigh, B., [www.overtoppingwww.overtopping-manual.com](http://www.overtopping-manual.com).

[Handreiking POV Voorlanden | Rapport | Hoogwaterbeschermingsprogramma \(hwbp.nl\)](#)

IVW (2011). Derde toets primaire waterkeringen, Landelijke toets 2006-2011. Inspectie Verkeer en Waterstaat.

Möller, I., Kudella, M., Rupprecht, F., Spencer, T., Paul, M., van Wesenbeeck, B. K., ... Schimmels, S. (2014). *Wave attenuation over coastal salt marshes under storm surge conditions. Nature Geoscience*, 7(10), 727–731. Möller et al., (2014). Wave attenuation over coastal salt marshes under storm surge conditions. <https://sci-hub.se/10.1038/ngeo2251>

POV Waddenzeedijken. (2020). Handreiking Rijke Dijk.

<https://www.hwbp.nl/binaries/hogwaterbeschermingsprogramma/documenten/rapporten/2021/02/05/handreiking-rijke-dijk/Rijke+Dijk+--EXTERN+Handreiking+incl+bijlagen.pdf>

RWS-RIZA 2007. Hydraulic Design Conditions 2006 for the assessment of flood defences. Ministerie van Verkeer en Waterstaat, September 2007, 295 pp. (in Dutch). ISBN 978-90-369-5761-8.

Stowa, Deltares presentation on natural foreshore flood control. Deltaproof, vooroevers

Temmerman, S., P. Meire, T. Bouma, P. Herman, T. Ysebaert & H. de Vriend, 2013. Ecosystem-based coastal defence in the face of global change. *Nature*, 504: 79-83, doi:

10.1038/nature12859

V&W 2007. Directions for safety assessment of the primary flood defences (VTV2006).

Ministerie van Verkeer en Waterstaat, August 2007, 447 pp (in Dutch). ISBN 978-90-369-5762.

Vincent Vuik, Sebastiaan N. Jonkman, Bas W. Borsje, Tomohiro Suzuki, Nature-based flood protection: The efficiency of vegetated foreshores for reducing wave loads on coastal dikes, *Coastal Engineering*, Volume 116, 2016, Pages 42-56, ISSN 0378-3839,

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378383916301004>

Vuik, V., Heo, H. Y. S., Zhu, Z., Borsje, B. W., & Jonkman, S. N. (2018). Stem breakage of salt marsh vegetation under wave forcing: A field and model study. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 200, 41-58.

Winterwerp, J.C., 2013. On the response of tidal rivers to deepening and narrowing. Deltares, March 2013, 83 pp.

Winterwerp, J.C. & Z.B. Wang, 2013. Man-induced regime shifts in small estuaries. Part I – theory. *Ocean Dynamics* 63: 1279-1292, doi 10.1007/s10236-013-0662-9

5 Aanleg waterbergingsgebieden

Tabel 5.1: Doorzoekbaarheidstabel waterbergingsgebieden

Categorie

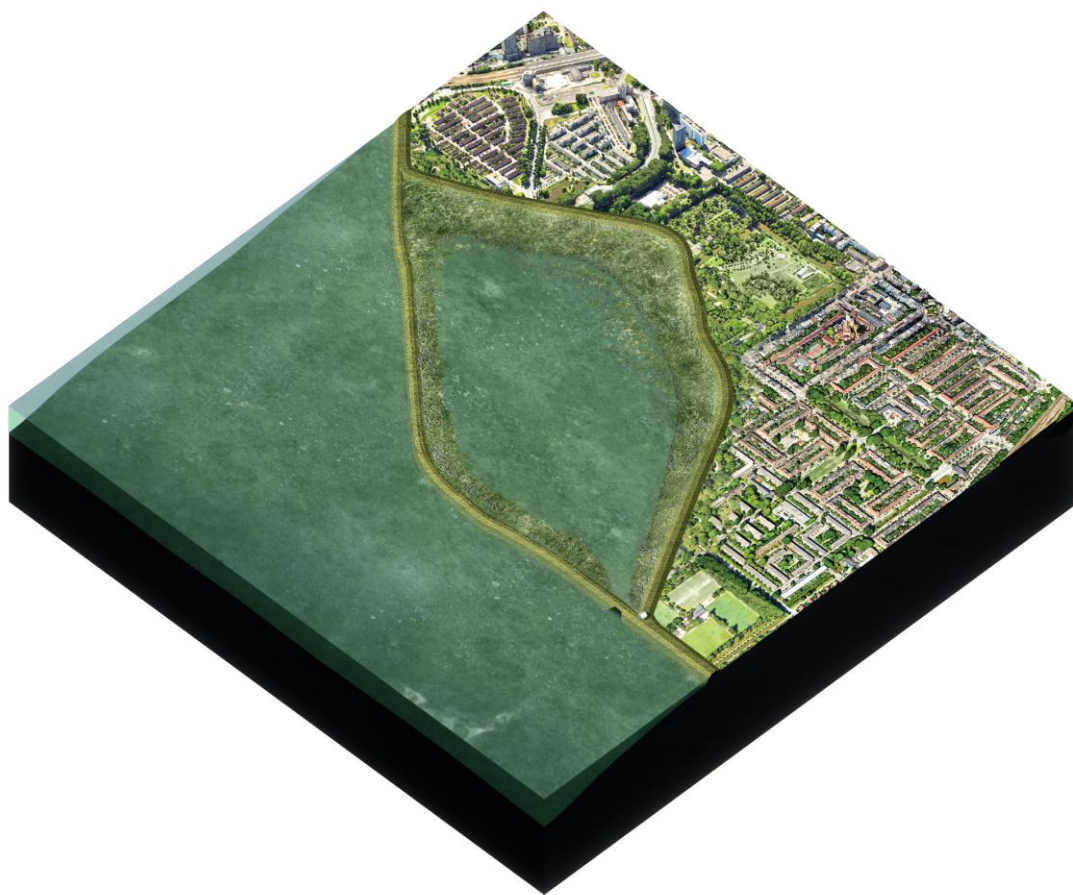
Verlagen waterstand en/of golfbelasting

Locatie

Meer/Rivier/ Delta

Dijkversterking projectfase

Initiatief, Verkenning



Figuur 5.1: Aanleg waterbergingsgebieden © One Architecture, Ecoshape

5.1 Beschrijving

Een waterbergingsgebied (of waterbuffer) is een gebied dat tijdelijk water opslaat om de waterstand te reguleren. Deze buffers creëren capaciteit om water op te vangen en indien nodig vrij te geven, waardoor ze fungeren als een buffer tijdens hoogwater. De maatregel kan zorgen dat er minder dijkversterking nodig is, omdat de waterstand tijdens een hoogwater wordt verlaagd. De inzet hiervan is het meest effectief als de buffercapaciteit wordt ingezet tijdens het hoogwater.

Waterbuffers kunnen gecombineerd worden met andere gebiedsfuncties, zoals natuurontwikkeling. Het versterkt de natuurlijke werking van een (rivier)systeem waarbij er bij hoogwater water het gebied instroomt.



Figuur 5.2: Waterbergingsgebied (Website Ecoshape)

5.2 Waterveiligheid

Waterberging beïnvloedt de waterveiligheid met name door een waterstandsdeling langs de rivieren en beken. Dit heeft een potentieel positief effect op de faalmechanismen van dijken. De mate waarin het effect heeft, is lastig op voorhand te kwantificeren, aangezien het sterk afhankelijk is van waar de maatregel wordt uitgevoerd en hoe ver de invloed in het systeem reikt. Waterberging wordt met name ingezet om (lokaal) wateroverlast te voorkomen door water elders vast te houden. Het concept wordt ook wel aangeduid met het Achteroeverconcept.

Waterberging

Door in het achterland meer in te zetten op het vasthouden van water kan de afvoer van water worden vertraagd. Dit leidt tot het dempen van de afvoerpieken en heeft een gunstig effect op de veiligheid en het voorkomen van wateroverlast in het regionale systeem en het hoofdwatersysteem (ARK, 2018). Pas nadat de hoogwatergolf gepasseerd is stroomt het water terug naar de rivier. Een bufferzone staat in verbinding met een meer, rivier of beek. Waterberging is dan mogelijk door het hanteren van flexibele waterpeilen. Doordat water de bufferzone in kan stromen bij hoogwater, kan een bufferzone bijdragen aan de preventie van overstromingen en bij wateroverlast door te functioneren als noodoverloopgebied (Deltares, 2016). Drie soorten waterbergingen kunnen worden onderscheiden (WDOD):

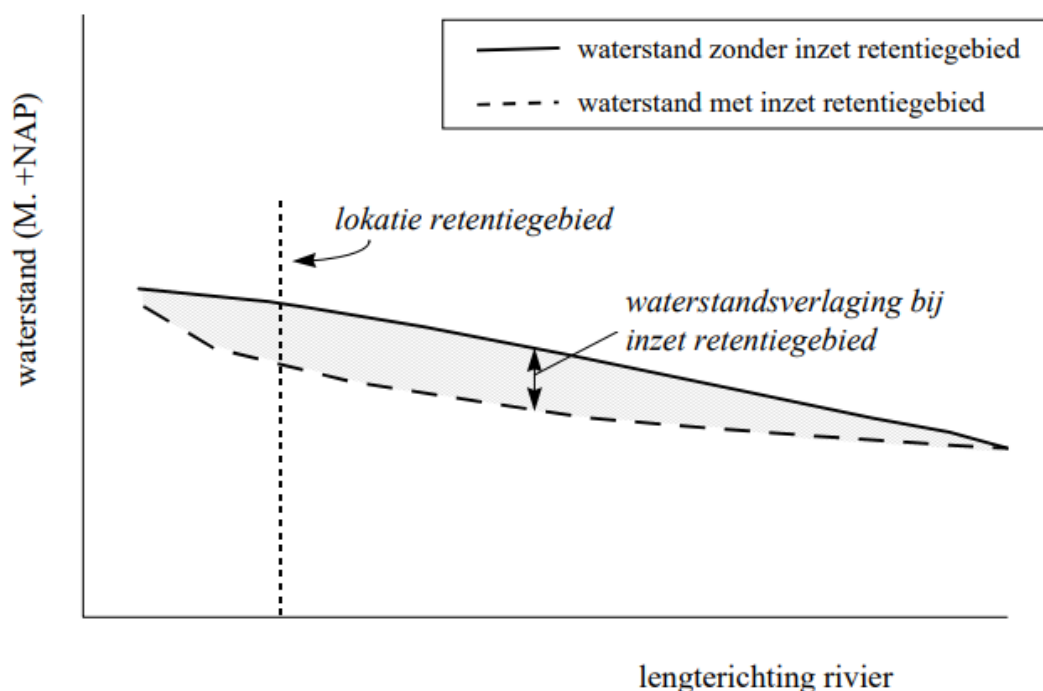
- 1 langsbergingen: Stroken langs een watergang (sloten of kanalen). Dit is vergelijkbaar met de uiterwaarden langs de grote rivieren (zie concept Rivierverruiming);
- 2 zelfsturende vlakbergingen: Bij stijgende waterstanden wordt een vlak gevuld met water door een laagte langs de watergang of duiker;
- 3 sturende bergingen: Grotere bergingen waarbij actief een waterwerk moet worden gebruikt om vol te laten lopen. De effectiviteit van de inzet van een retentiegebied is sterk afhankelijk van waterstandsvoorspellingen.

Waterbuffers kunnen op verschillende wijzen bijdragen aan meer waterveiligheid of beperken van wateroverlast. In de regel geldt daarbij dat noodberging voorkomt dat er wateroverlast ontstaat op andere plaatsen in een regio. Daarnaast kan inundatie van gedraineerde grond bodemdaling tegengaan of zelfs leiden tot bodemophoging als gevolg van slibdepositie (Deltares, 2016).

De effectiviteit wordt bepaald door de waterstandsverlaging die het gevolg is van het inzetten van het retentiegebied. De waterstandsverlaging is gelijk aan maximale waterstand die optreedt zonder inzet van het retentiegebied minus de maximale waterstand die optreedt met inzet van het retentiegebied. Aangezien retentiegebieden niet alleen invloed hebben op de locatie zelf, maar ook op omliggende gebieden, worden waterstandsdalingen geanalyseerd op trajectniveau (Figuur 5.3). Omdat waterbergingen vaak relatief klein zijn vergeleken met het volume van een hoogwatergolf, dienen deze op veel locaties en over grotere oppervlakten te worden gecreëerd voor een significant effect op het hoofdwatersysteem.

Het Rivierkundig Beoordelingskader voor ingrepen in de Grote Rivieren (RWS, 2023) beschrijft de rivierkundige beoordelingsaspecten en criteria, die initiatiefnemers van ingrepen in de rivier dienen te hanteren bij het bepalen van de rivierkundige effecten van ingrepen. Met het Beoordelingskader kan het effect van een aanpassing in de rivier in beeld worden gebracht. De impact van deze aanpassing op de waterveiligheid wordt berekend met het Beoordelings- en ontwerpinstrumentarium (BOI). Een eerste schatting van de gekwantificeerde waterstandsverlaging door berging kan bijvoorbeeld ingevuld worden in grenstoestandfuncties van geotechnische faalmechanismen om de impact te evalueren. Voor de berekening van overloop en golfoverslag zijn hydraulische databases (inclusief rivieraanpassing) nodig waarin de kans op waterstanden en golven voor meerdere

terugkeertijden gegeven is. Een uitgebreide beschrijving van waterberging langs de grote rivieren is onderdeel van het concept *Rivierverruiming*.



Figuur 5.3: Waterstandsvaling als gevolg van inzet van een retentiegebied (WL en RIZA, 2002).

Het Rijk stelt de regels op voor het uitvoeren van de veiligheidsbeoordeling op en stelt leidraden beschikbaar voor het ontwerp en het beheer van primaire keringen. Deze regels zijn beschikbaar in het Beoordelings- en ontwerpinstrumentarium (BOI). Het instrumentarium bestaat uit handleidingen, technische leidraden, software-applicaties en databases. Deze instrumenten worden gebruikt om de overstromingskans van een dijktraject te bepalen.

In de Handleiding Overstromingskansanalyse dijken/dammen (deel 1 – 5) zijn rekenregels terug te vinden om bijvoorbeeld de impact van een waterstandsvaling op verschillende faalmechanismen van dijken te berekenen. De rekenregels zijn ook verwerkt in de applicaties die onderdeel uitmaken van het BOI (zoals Riskeer), zodat deze gebruikt kunnen worden om de kans van optreden van bepaalde faalmechanismen te berekenen. De actuele documenten van het instrumentarium zijn terug te vinden op het BOI-portaal.

5.3 Bijdrage aan Natuurdoelen

In de omschrijving van het concept waterberging wordt reeds aangegeven dat dit concept gecombineerd kan worden met recreatie, visserij, aquacultuur. Daarnaast biedt het mogelijkheden voor drijvende infrastructuur voor wonen en werken, duurzame energieproductie door zon, wind en water, drijvende landbouw en natuurontwikkeling. Er is geen afbakening van watertype en het landgebruik in de waterberging. Daarnaast is het gevoerde peilbeheer in de waterberging (met het natuurlijk peil mee, of tegennatuurlijk

i.v.m. zoetwatervoorziening) essentieel voor welke natuurwinst mogelijk is. De natuurwinst is voor deze maatregel niet te kwantificeren door variaties in beheer, multifunctionaliteit, langetermijneffecten en complexe interacties. Er zijn tal van mogelijkheden. Onderstaande tabel is dan ook ter beeldvorming waar mogelijke inrichtingen aan bij kunnen dragen. Bijdragen op Natura 2000-gebieden zijn buiten beschouwing gelaten, omdat multifunctionele waterbergingsgebieden naar verwachting buiten Natura 2000-gebieden liggen en daarmee geen direct positief effect hebben op Natura 2000-gebieden.

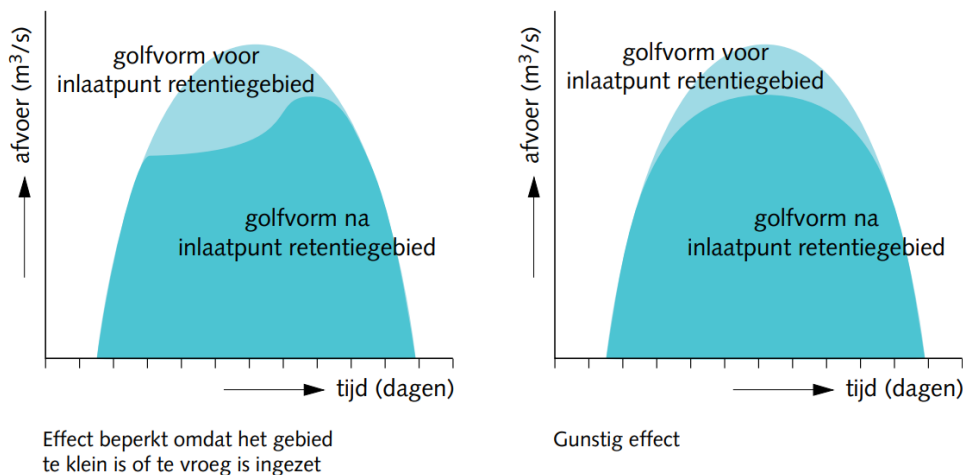
Tabel 5.2: Natuurwinst bij waterbergingsgebieden

	Draagt het concept mogelijk bij aan natuurdoelen? - = negatief effect 0 = geen effect + = positief effect	Hoe draagt het mogelijk bij aan natuurdoelen?
Natura 2000-gebieden	0	n.v.t.
Natuurnetwerk Nederland	+	N01.03 Rivier- en moeraslandschap N05.04 Dynamisch Moeras N11.01 Droog schraalgrasland N12.01 Bloemdijk N12.02 Kruiden- en faunarijk grasland N12.03 Glanshaverhooiland N12.06 Ruigteveld N13.01 Vochtig weidevogelgrasland N13.02 Wintergastenweide N14.01 Rivier- en beekbegeleidend bos N15.02 Dennen-, eiken- en beukenbos N16.03 Droog bos met productie N16.04 Vochtig bos met productie
Beschermde soorten	+	O.a. vogels met jaarrond beschermde nesten, amfibieën, vleermuizen.
Kaderrichtlijn water	+	Macrofauna, macrofyten en vissen
Bossenstrategie	+	Bijdrage aan de ambitie dat er in 2030 10% (407.000 ha) meer bos in Nederland moet zijn

5.4 Ontwerp, aanleg & Beheer

In de leidraad Rivieren (2007) zijn veel handvatten gegeven voor het ontwerpen en beheren van waterbergingsgebieden, bedoeld om de waterstand te verlagen, en daarmee de hoogwaterbestendigheid van waterkeringen te verhogen, in combinatie met natuurlijke rivierontwikkeling.

Het effect van een retentiegebied of waterbergingsgebied is ook afhankelijk van het moment waarop de waterberging wordt ingezet. Deze is over het algemeen het meest effectief indien de waterberging wordt ingezet tijdens de hoogwaterpiek (zie Figuur 5.4). In de werkelijke wereld zijn de hoogte, breedte en timing van een hoogwaterpiek echter moeilijk exact te voorspellen. Onder specifieke omstandigheden lijkt een waterbergingsgebied dan erg effectief te zijn, maar bij licht afwijkende omstandigheden neemt de effectiviteit snel af. In sommige gevallen wordt daarom gekozen voor een regelbaar kunstwerk als inlaatwerk toe te passen (bijvoorbeeld hoogwatergeul Veessen-Wapenveld).



Figuur 5.4: Inzet van een retentiegebied of bergingsgebied tijdens het hoogwater. Deze is het meest effectief als het gebied groot genoeg is om de verwachte hoogwaterpiek te dempen, en als de retentie pas tijdens de hoogwaterpiek kan worden ingezet (bron: Leidraad Rivieren, 2007).

De capaciteit van het retentiegebied wordt bepaald door de oppervlakte van het gebied, de maaiveldhoogte en het verschil tussen de (grond)waterstand in het gebied en de hoogwaterstand in de rivier. Afgraven van een retentiegebied is over het algemeen niet aan de orde omdat dit vanwege het grote oppervlak hoge kosten met zich meebrengt. De minimaal benodigde capaciteit van het retentiegebied is af te leiden uit de gewenste waterstanddaling en de vorm van de (maatgevende) afvoergolf die moet worden afgetopt (bron: Leidraad Rivieren).

In het beheer van de retentiegebieden kunnen functies worden gecombineerd. In combinatie met hoogwatervluchtplaatsen voor dieren is agrarisch gebruik mogelijk, maar ook een inrichting als halfnatuurlijk of natuurlijk landschap is mogelijk. Het beheer en onderhoud dient hierop te worden afgestemd. Op moment er geen meestromende functie is van de retentie met de rivier maar enkel een waterbergende functie, is er weinig effect van vegetatie. Bij het combineren van retentie met een functie als nevengeul langs de rivier dient vegetatie actiever beheerd te worden en is het wenselijk het eindbeeld in de vegetatielegger van de rivier vast te leggen.

5.5 Procesaanwijzingen

Versterkingsopgaven worden in Nederland gerealiseerd met de MIRT systematiek (<https://leerplatformmirt.nl/mirt/handreikingen/handreiking-mirt-mer/>), veelal onder het Hoogwaterbeschermingsprogramma <https://roadmapduurzaamhwbp.nl/>, waarin verschillende projectfasen worden onderscheiden; initiatief, verkenning, planuitwerking en realisatie (inclusief aanbesteding). Los van een versterkingsopgave geldt de zorgplicht waterkeringen, als continu proces, geborgd door bij de waterkeringsbeheerders (Rijkswaterstaat en de waterschappen).

De Roadmap Duurzaamheid HWBP (link) is een stappenplan om in aansluiting op de genoemde projectfasering van initiatief- tot en met realisatiefase te komen tot duurzame, goed ingepaste dijkversterkingen met ruimtelijke kwaliteit.

Binnen dit stappenplan en de Roadmap Duurzaamheid geldt dat hoe eerder een NBS betrokken wordt bij de versterkingsopgave, hoe groter de kans op werkelijke realisatie van een NBS. In de beginfase is het daarom belangrijk de duurzaamheidsambities, waar een NBS onderdeel van kan zijn, breed te verkennen. Dit vanuit meerdere opgaven en niet enkel vanuit de waterveiligheidsopgave of verbeteropgave van de waterkering.

Tabel 5.3: Procesaanwijzingen per projectfase

NBS aanleg waterbergingsgebieden i.r.t. MIRT fasering en roadmap duurzaamheid HWBP

Initiatief	Verkenning	Planuitwerking	Aanbesteding	Realisatie
Betrekken bij projectopdracht	Varianten dijkversterking en NBS hangen met elkaar samen	Uitwerking ontwerp en bepalen effecten	Combineren van uitvoering	Combineren van uitvoering
* Breng de diverse opgaven in beeld, stem de programmering van het dijkproject af met andere relevante medeoverheden of stakeholders en verken gezamenlijk de mogelijkheden. Focus op de kansen van combinatie van opgaven en inventariseer de gewenste omgang met projectrisico's en dilemma's. * verken mogelijke nevenbaten van kwelderontwikkeling, bijvoorbeeld het verbeteren van doorzicht van het water door slibvangst en agrarisch medegebruik. * verken bijdrage duurzaamheid voor ten minste de mogelijke winst op de thema's circulariteit, ruimtelijke kwaliteit en biodiversiteit/ecologie. * Maak voor- en nadelen inzichtelijk en leg dit vast, bijvoorbeeld met een startnotitie en samenwerkingsovereenkomst. *Stem projectorganisatie en kostenverdeling af op de opgave; aanleg waterbergingsgebieden vraagt ook in de voorbereiding een investering	* Verken ontwerpvarianten die voldoen aan de projectopdracht. Als aanleg waterbergingsgebieden onderdeel is van de opdracht, zijn de ontwerpvarianten dat ook. * Verken eventueel de NBS als "omgevingsvariant" of alternatief voor traditionele dijkversterking. * maak de winst op ten minste de thema's circulariteit, ruimtelijke kwaliteit en biodiversiteit /ecologie inzichtelijk en betrek dit bij de afweging van varianten. Doe hetzelfde voor andere nevenbaten. * Maak voor beslissers inzichtelijk hoe de NBS bijdraagt aan de doelstellingen van het project. * Verken of NBS kan bijdragen aan duurzaamheidsdoelstellingen in algemene zin (bijv. CO2-reductie). * Verken de mogelijkheden en business case van het vermijden van investeringen aan de dijk door extra investeringen in de waterbergingsgebieden	*Werk bij voorkeur met een gecombineerde uitvoering en een gecombineerd planproces, zodat er sprake is van synergie tussen NBS en dijkversterking. * maak de winst op ten minste de thema's circulariteit, ruimtelijke kwaliteit en biodiversiteit inzichtelijk en betrek dit bij de uitwerking van referentieontwerp en plannen. Doe hetzelfde voor andere nevenbaten. * Maak voor beslissers inzichtelijk hoe de NBS bijdraagt aan de doelstellingen van het project. * Verken of NBS kan bijdragen aan duurzaamheidsdoelstellingen in algemene zin (bijv. CO2-reductie). * Bepaal effecten van het VKA, waarbij de meerwaarde van het de NBS ook terugkomt in de planproducten (projectbesluit, MER, etc.). Werk het ontwerp hiervoor voldoende uit.	* Bepaal de keuze van de contractvorm mede op basis van het benutten van de synergie tussen aanleg waterbergingsgebieden en dijkversterking. Bijv. door ruimte te geven aan het optimaliseren van grondstromen. Leg de eisen voor NBS zodanig vast dat ook in de realisatiefase de meerwaarde van de NBS wordt gewaarborgd in zowel uitvoering als beheer.	*Toets en bewaak de projectdoelen. Zorg voor voldoende waarborgen in de uitvoeringsfase, zodat de beoogde effecten van de NBS worden gerealiseerd. Dit kan bijvoorbeeld door het vragen van tussentijdse rapportages en veldinspecties. Zorg voor een goed ontwikkel- en instandhoudingsplan voor duurzaam beheer, maak afspraken tussen de verschillende beheerders

5.6 Voorbeelden

[Wieringermeer, Netherlands](#)

[Beneden Merwede Dordrecht, Nieuwe Maas Rotterdam](#)

[The lakes Drontermeer, Veluwemeer, Wolderwijd and Nuldernauw between the Nijkerkersluis and the Roggebotsluis close to the city of Kampen](#)

[Nederland, Perkpolder](#)

[Wallasea, UK](#)

[Ijssel River near Deventer](#)

Koopmanspolder

Waterberging in Partij (Limburg)

Overdiepse Polder

Ooijen-Wansum

Waterberging Grave (Maas)

[Missouri river floodplain connectivity via large scale levee setbacks](#)

[Eddleston water restoration](#)

[Beam washlands](#)

5.7 Referenties

ARK. (2018). Ruimte voor Levende Rivieren. Achtergronddocument.

https://www.levenderivieren.nl/sites/default/files/2018-08/Achtergrond%20Ruimte%20voor%20Levende%20Rivieren%20jul%202018_0.pdf

Deltares. (2016). Pilot Koopmanspolder. Eindrapportage monitoring. In opdracht van Rijkswaterstaat.

Leidraad Rivieren, 2007

WL en RIZA. (2002). Overwegingen bij de inzet van retentiegebieden. WL Delft | Hydraulics en Rijkswaterstaat RIZA.

6 Natuurlijke Golfbrekers

Tabel 6.1: Doorzoekbaarheidstabel Natuurlijke golfbrekers

Categorie

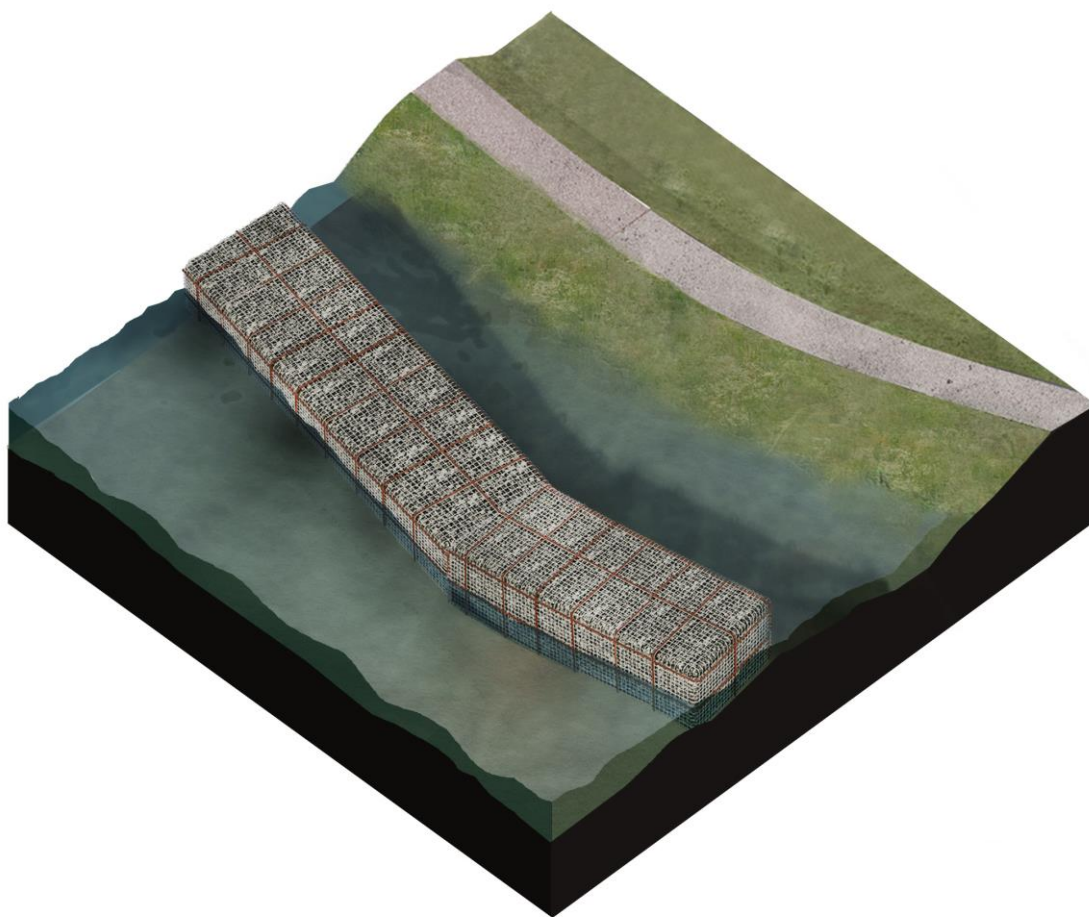
Verlagen golfbelasting

Locatie

Kust, Delta

Dijkversterking projectfase

Initiatief, Verkenning, Planuitwerking



Figuur 6.1: Natuurlijke Golfbrekers © One Architecture, Ecoshape

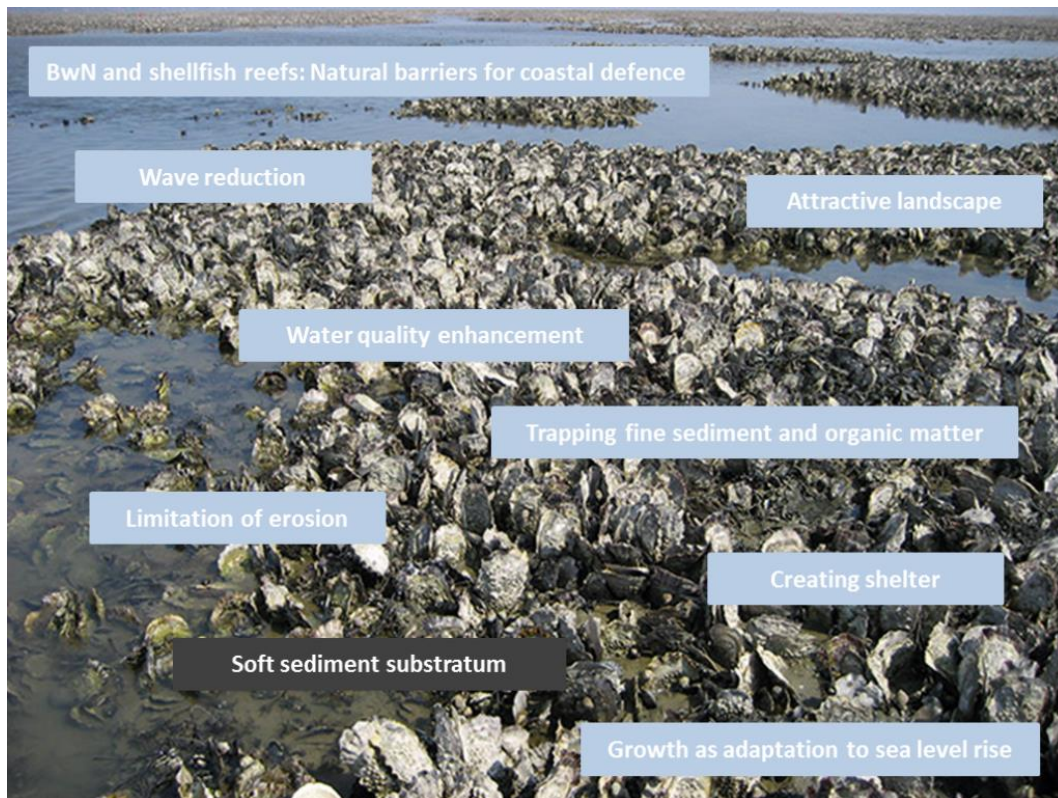
6.1 Beschrijving

Natuurvriendelijke golfbrekers verminderen de effecten van stormvloed en kusterosie door golfenergie te absorberen tijdens stormen. Dit heeft een positief effect op de waterveiligheid. Voorbeelden van natuurvriendelijke golfbrekers zijn schelpdierbanken als mosselbanken en oesterriffen. Wanneer golven breken op de constructie, wordt de energie verminderd, waardoor de golfslag en erosie van de achtergelegen (zachte) oever wordt verminderd (Chowdhury et al., 2019; Manis et al., 2015). Natuurlijke golfbrekers hebben een belangrijke functie in het behoud van zandplaten.

Met zaaien en kweken van schelpdieren worden natuurlijke kustbarrières aangelegd met rifvormende biobouwers. Biobouwers zijn soorten die hun eigen omgeving aanpassen, tot hun eigen voordeel en dat van andere soorten. Hierdoor kunnen zij een sleutelrol vormen in het ontstaan en het voortbestaan van complexe habitats. Door rifvormende schelpdieren kan de veerkracht van de kust worden versterkt. Als filtervoeders dragen schelpdieren ook bij aan een verbeterde waterkwaliteit door middel van filtratie.



Figuur 6.2: Oesterrif (bron: Naturally Resilient Communities website /Erika Nortemann/TNC)



Figuur 6.3: Natuurlijke golfbrekers effecten (Bron: Ecoshape website)

6.2 Waterveiligheid

Door verminderde golfoverslag neemt de stabiliteit van de bekleding op kruin en binnentalud toe, waardoor erosie wordt beperkt. Tegelijkertijd wordt de bekleding van het buitentalud minder belast door golfaanval, wat de duurzaamheid vergroot. De afname in golfoverslag resulteert ook in een minder verzadigd dijklichaam, wat zowel de binnenwaartse micro- als macrostabiliteit verbetert. Een samenvatting van de effecten op verschillende faalmechanismen is opgenomen in Tabel 6.2. Als gevolg van deze positieve effecten kan de dimensie van de bekleding mogelijk worden verminderd en de hoogte van de waterkering potentieel worden verlaagd.

Afhankelijk van de locatie, dimensies en type kunnen golfbrekers ook sediment afvangen, waardoor zeewaartse verplaatsing van de kustlijn of van de vooroever kan plaatsvinden (Chowdhury et al., 2019; Ysebaert et al., 2012; Seddon, 2020). Dit is met name relevant voor regio's die te maken hebben met zandhonger zoals de Oosterschelde. Door zandhonger worden voorlanden lager, waardoor hogere golven de dijk kunnen bereiken. Dit stelt hogere eisen aan de waterkeringen. Natuurlijke golfbrekers kunnen in deze situaties hydraulische belastingen verminderen door golfenergie te absorberen en sediment af te vangen, wat helpt om de afname van voorlanden tegen te gaan.

De effectiviteit van een natuurlijke golfbreker hangt af van de interactie tussen waterstanden, golven, morfologie van de golfbreker en de ruwheid (Bridges et al., 2021). Hoewel er eenvoudige analytische en empirische modellen bestaan voor morfologie, zijn deze meestal niet geschikt voor kustlijnen met voorliggende natuurlijke golfbrekers. Deze simpele modellen omvatten vaak niet het volledige bereik van hydrodynamische en morfologische

processen. In plaats daarvan wordt voor de effectiviteit vaak gebruik gemaakt van numerieke modellen die rekening houden met golfbreking, refractie en diffractie (vb. SWAN of Xbeach).

Het Rijk stelt de regels op voor het uitvoeren van de veiligheidsbeoordeling op en stelt leidraden beschikbaar voor het ontwerp en het beheer van primaire keringen. Deze regels zijn beschikbaar in het Beoordelings- en ontwerpinstrumentarium (BOI). Het instrumentarium bestaat uit handleidingen, technische leidraden, software-applicaties en databases. Deze instrumenten worden gebruikt om de overstromingskans van een dijktraject te bepalen.

In de Handleiding Overstromingskansanalyse dijken/dammen (deel 1 – 5) en Overstromingskansanalyse Zandige waterkeringen zijn rekenregels terug te vinden om bijvoorbeeld de impact van een golfbreker op verschillende faalmechanismen van dijken of duinen te berekenen. De rekenregels zijn ook verwerkt in de applicaties die onderdeel uitmaken van het BOI (zoals Riskeer en XBeach), zodat deze gebruikt kunnen worden om de kans van optreden van bepaalde faalmechanismen te berekenen.

Indien het instrumentarium geen mogelijkheid biedt om bepaalde invoerparameters te wijzigen kunnen ook de EurOtop formules voor golfoverslag worden gehanteerd. Hiermee kan de invloed van een golfbreker op de overstromingskans (door golfoverslag) worden bepaald. Bijvoorbeeld aan de hand van berekeningen voor golfoverslag met de EurOtop formules (6.5 & 6.6), met verschillende ruwheden en permeabiliteit van het oppervlak (EurOtop, 2018).

Tabel 6.2: Impact op faalmechanismen

	Overlopen	Macro-instabiliteit buitentalud	Golfoverslag	Micro-instabiliteit	Macro-instabiliteit binnentalud	Opbarsten en piping	Bekleding
Natuurvriendelijke golfbreker	0	0	+	0	0/+	0	+

6.3 Bijdrage aan Natuurdoelen

Oesterriffen of mosselbanken kunnen een essentiële rol spelen in het ecosysteem. Ze filteren het water, waardoor waterplantontwikkeling mogelijk is (bijvoorbeeld zeegras). Oesterriffen bieden veel soorten een plek om te eten, te schuilen, voort te planten en te leven. Daarom is de soortenrijkdom op scheldierriffen veel hoger dan op zandige bodems. Wieren, sponzen, anemonen, schelp- en schaaldieren, allerlei vissen, zeevogels en zeehonden gebruiken oesterriffen (ARK 2023). Hoewel mosselbanken in zoetwatersystemen eenzelfde functie kunnen vervullen in de grote meren, focust deze maatregel zich op zoute en brakke watersystemen en daarmee de effectbepaling op natuurwaarden ook.

Tabel 6.3: Natuurwinst bij Natuurlijke Golfbrekers

	Draagt het concept mogelijk bij aan natuurdoelen?	Hoe draagt het mogelijk bij aan natuurdoelen?
	- = negatief effect 0 = geen effect + = positief effect	
Natura 2000-gebieden	+	H1140A – Slik- en zandplaten H1310A, B – Zilte pionierbegroeiing H1320 – Slijkgrasvelden H1330A, B – Schorren en zilte graslanden Grijze en gewone zeehond. Vele aangewezen Broedvogels en Niet-broedvogels.
Natuurnetwerk Nederland	+	N01.01 Zee en wad N09.01 Schor of kwelder
Beschermde soorten	0	n.v.t.
Kaderrichtlijn water	+	Macrofauna en overige waterflora
Bossenstrategie	0	n.v.t.

6.4 Ontwerp, aanleg & Beheer

Jonge oesterriffen en mosselbanken zijn moeilijk aan te leggen. Transplantatie is waarschijnlijk het moeilijkst op eroderende kusten die aan golfslag blootgesteld zijn, omdat milieustressoren als golfkrachten de totstandkoming van zelf faciliterende terugkoppeling belemmeren. Nieuw getransplanteerde organismen zijn meestal ofwel te klein en schaars of te instabiel om hun omgeving aan te passen en dergelijke zelfvoorzienende terugkoppeling mogelijk te maken. Dit maakt de vestiging van biobouwers zeer kwetsbaar voor milieustressoren zoals golfkrachten, predatie en bioturbatie. Als gevolg daarvan vereist de vestiging een kans die wordt gedefinieerd als een specifieke storingsvrije periode, waarbij de verstoringen hetzij fysiek of biologisch van aard zijn. Voor een succesvolle implementatie van biobouwers in oever- en kustbeschermingsplannen is inzicht nodig in welke vestigingsdrempels, veroorzaakt door fysieke of biologische stressoren, het meest bepalend zijn en hoe deze drempels worden weggenomen om vestiging te bewerkstelligen.

Voor de aanleg van oesterriffen of mosselbanken zijn in de afgelopen jaren verschillende methoden toegepast. Zo kunnen oesters worden aangebracht in een kooiconstructie, op rifblokken of speciaal daarvoor ontworpen betonconstructies.

Oesters en mosselen hebben vers water zonder té hoge slibgehalten nodig om goed te kunnen groeien. Het tegengaan van lange periodes met een hoog slibgehalte in het water is dan ook van groot belang om de ontwikkeling van oesterriffen of mosselbanken te laten slagen. De eerste vijf jaar van de ontwikkeling van een oesterrif of mosselbank zijn zeer belangrijk, wanneer deze fase is doorstaan kunnen ze tientallen jaren blijven bestaan. Ook het voorkomen van winning van de oesters voor consumptie is van belang.

Om de ontwikkeling van de oesterriffen of mosselbanken te bevorderen is de aanwezigheid van harde ondergrond nodig. Hier kunnen de larven zich op vestigen om nieuwe schelpen te

vormen. Deze harde ondergrond kan worden gevormd door beton of natuursteen, maar ook door schelpen die al langer aanwezig zijn op het rif of de bank.

6.5 Procesaanwijzingen

Versterkingsopgaven worden in Nederland gerealiseerd met de MIRT systematiek (<https://leerplatformmirt.nl/mirt/handreikingen/handreiking-mirt-mer/>), veelal onder het Hoogwaterbeschermingsprogramma <https://roadmapduurzaamhwbp.nl/>, waarin verschillende projectfasen worden onderscheiden; initiatief, verkenning, planuitwerking en realisatie (inclusief aanbesteding). Los van een versterkingsopgave geldt de zorgplicht waterkeringen, als continu proces, geborgd door bij de waterkeringsbeheerders (Rijkswaterstaat en de waterschappen).

De roadmap Duurzaamheid HWBP (link) is een stappenplan om in aansluiting op de genoemde projectfasering van initiatief- tot en met realisatiefase te komen tot duurzame, goed ingepaste dijkversterkingen met ruimtelijke kwaliteit.

Binnen dit stappenplan en de roadmap duurzaamheid geldt dat hoe eerder een NBS betrokken wordt bij de versterkingsopgave, hoe groter de kans op werkelijke realisatie van een NBS. In de beginfase is het daarom belangrijk de duurzaamheidsambities, waar een NBS onderdeel van kan zijn, breed te verkennen. Dit vanuit meerdere opgaven en niet enkel vanuit de waterveiligheidsopgave of verbeteropgave van de waterkering.

Tabel 6.4: Procesaanwijzingen per projectfase

NBS Natuurlijke golfbrekers i.r.t. MIRT fasering en roadmap duurzaamheid HWBP

Initiatief	Verkenning	Planuitwerking	Aanbesteding	Realisatie
Betrekken bij projectopdracht * Breng de diverse opgaven in beeld, stem de programmering van het dijkproject af met andere relevante medeoverheden of stakeholders en verken gezamenlijk de mogelijkheden. Focus op de kansen van combinatie van opgaven (zoals het filteren van niet al te troebel water) en inventariseer de gewenste omgang met projectrisico's en dilemma's. * verken bijdrage duurzaamheid voor ten minste de mogelijke winst op de thema's circulariteit, ruimtelijke kwaliteit en biodiversiteit/ecologie. * Maak voor- en nadelen inzichtelijk en leg dit vast, bijvoorbeeld met een startnotitie en samenwerkingsovereenkomst. * Denk na over de juridische implicaties van natuurlijke golfbrekers (N2000 gebiedsbescherming) en maak hiervoor afspraken t.a.v. rolverdeling en werkwijze.	Varianten dijkversterking en NBS hangen met elkaar samen * Verken ontwerpvarianten die voldoen aan de projectopdracht. Als aanleg natuurlijke golfbrekers onderdeel is van de opdracht, zijn de ontwerpvarianten dat ook. * Verken de NBS als "omgevingsvariant" of alternatief voor traditionele dijkversterking zonder natuurlijke golfbrekers * maak de winst op ten minste de thema's circulariteit, ruimtelijke kwaliteit en biodiversiteit /ecologie inzichtelijk en betrek dit bij de afweging van varianten. * Maak voor beslissers inzichtelijk hoe de NBS bijdraagt aan de doelstellingen van het project. * Verken of NBS kan bijdragen aan duurzaamheidsdoelstellingen in algemene zin (bijv. biodiversiteit) * Verken de mogelijkheden en business case van het vermijden van investeringen aan de dijk door extra investeringen aan de natuurlijke golfbrekers en adaptief ontwerpen.	Uitwerking ontwerp en bepalen effecten * Werk bij voorkeur met een gecombineerde uitvoering en een gecombineerd planproces, zodat er sprake is van synergie tussen NBS en dijkversterking. * maak de winst op ten minste de thema's circulariteit, ruimtelijke kwaliteit en biodiversiteit inzichtelijk en betrek dit bij de uitwerking van referentieontwerp en plannen. * Maak voor beslissers inzichtelijk hoe de NBS bijdraagt aan de doelstellingen van het project. * Verken of NBS kan bijdragen aan duurzaamheidsdoelstellingen in algemene zin (bijv. biodiversiteit) * Bepaal effecten van het VKA, waarbij de meerwaarde van het de NBS ook terugkomt in de planproducten (projectbesluit, MER, etc.). Werk het ontwerp hiervoor voldoende uit.	Combineren van uitvoering * Bepaal de keuze van de contractvorm mede op basis van het benutten van de synergie tussen aanleg golfbrekers en dijkversterking. Bijv. door ruimte te geven aan het optimaliseren van het ontwerp van de golfbreker of ruimte in materiaalkeuze. Leg de eisen voor NBS zodanig vast dat ook in de realisatiefase de meerwaarde van de NBS wordt gewaarborgd in zowel uitvoering als beheer.	Combineren van uitvoering *Toets en bewaak de projectdoelen. Zorg voor voldoende waarborgen in de uitvoeringsfase, zodat de beoogde effecten van de NBS worden gerealiseerd. Dit kan bijvoorbeeld door het vragen van tussentijdse rapportages en veldinspecties. Zorg voor een goed ontwikkel- en instandhoudingsplan voor duurzaam beheer, maak afspraken tussen de verschillende beheerders

6.6 Voorbeelden

[Building with Nature in delta cities](#)

[Shellfish reefs as shoreline protection – Eastern Scheldt](#)

[Tidal flat nourishment – Galgeplaat](#)

[Practical Applications – EcoShape](#)

6.7 Referenties

ARK, 2023 [Nature Today | Oesters creëren biodiversiteit in de Noordzee](#)

Baudrimont, M., Schäfer, J. et al. (2005). Geochemical survey and metal bioaccumulation of three bivalve species (*Crassostrea gigas*, *Cerastoderma edule* and *Ruditapes philippinarum*) in the Nord Médoc salt marshes (Gironde estuary, France). *Science of the Total Environment* 337(1-3): 265-280.

[Beck, M. W., Brumbaugh, R. D. et al. \(2011\)](#). Oyster reefs at risk and recommendations for conservation, restoration, and management. *BioScience* 61(2): 107-116.

Borsje, B. W., van Wesenbeeck, B. K. et al. (2011). How ecological engineering can serve in coastal protection. *Ecological Engineering* 37(2): 113-122.

Bougrier, S., Geairon, P. et al. (1995). Allometric relationships and effects of temperature on clearance and oxygen consumption rates of *Crassostrea gigas* (Thunberg). *Aquaculture* 134(1-2): 143-154.

Bridges, T. S., J. K. King, J. D. Simm, M. W. Beck, G. Collins, Q. Lodder, and R. K. Mohan, eds. 2021. *International Guidelines on Natural and Nature-Based Features for Flood Risk Management*. Vicksburg, MS: U.S. Army Engineer Research and Development Center.

[Brown, K. M. and Swearingen, D. C. \(1998\)](#). Effects of seasonality, length of immersion, locality and predation on an intertidal fouling assemblage in the Northern Gulf of Mexico. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 225(1): 107-121.

[Brumbaugh, R. D. and Coen, L. D. \(2009\)](#). Contemporary approaches for small-scale oyster reef restoration to address substrate versus recruitment limitation: A review and comments relevant for the olympia oyster, *Ostrea lurida carpenter* 1864. *Journal of Shellfish Research* 28(1): 147-161.

Chowdhury, M.S.N., Walles, B., Sharifuzzaman, S. et al. Oyster breakwater reefs promote adjacent mudflat stability and salt marsh growth in a monsoon dominated subtropical coast. *Sci Rep* 9, 8549 (2019). <https://doi.org/10.1038/s41598-019-44925-6>

[Coen, L. D., Brumbaugh, R. D. et al. \(2007\)](#). Ecosystem services related to oyster restoration. *Marine Ecology Progress Series* 341: 303-307.

[De Mesel, I., Ysebaert, T. and Kamermans, P. \(2013\)](#). Klimaatbestendige dijken, het concept wisselpolders, Institute of Marine Resource Studies (IMARES).

De Vries, M. B., Bouma, T. J., van Katwijk, M. M., Borsje, B. W., van Wesenbeeck, B. K. (2007) Biobouwers van de kust. Rapport Z4158, WL|Delft Hydraulics, The Netherlands

Eggleston, D. B. (1990). Functional responses of blue crabs *Callinectes sapidus* Rathbun feeding on juvenile oysters *Crassostrea virginica* (Gmelin): effects of predator sex and size, and prey size. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 143: 73-90.

Etheridge, S. M. (2010). Paralytic shellfish poisoning: Seafood safety and human health perspectives. *Toxicon* 56(2): 108-122.

EurOtop, 2018. Manual on wave overtopping of sea defences and related structures. An overtopping manual largely based on European research, but for worldwide application. Van der Meer, J.W., Allsop, N.W.H., Bruce, T., De Rouck, J., Kortenhaus, A., Pullen, T., Schüttrumpf, H., Troch, P. and Zanuttigh, B., www.overtopping-manual.com.

Forrest, B. M., Keeley, N. B. et al. (2009). Bivalve aquaculture in estuaries: Review and synthesis of oyster cultivation effects. *Aquaculture* 298(1-2): 1-15.

Grabowski, J. H., Peterson, C. H. et al. (2007). Restoring oyster reefs to recover ecosystem services. *Theoretical Ecology Series*, Academic Press 4: 281-298.

[Harding, J.M., Mann, R., Southworth, M. & Wesson, J. \(2010\)](#). Management of the Piankatank River, Virginia, in support of oyster (*Crassostrea virginica*, Gmelin 1791) fishery repletion. *Journal of Shellfish Research* 29: 1-22.

[Jackson, J. B. C., Kirby, M. X. et al. \(2001\)](#). Historical Overfishing and the Recent Collapse of Coastal Ecosystems. *Science* 293(5530): 629-637.

Lenihan, H. S. (1999). Physical-biological coupling on oyster reefs: How habitat structure influences individual performance. *Ecological Monographs* 69(3): 251-275.

Manis, J. E., Garvis, S. K., Jachec, S. M. & Walters, L. J. Wave attenuation experiments over living shorelines over time: a wave tank study to assess recreational boating pressures. *J. Coast. Conserv.* 19, 1–11 (2015).

[Mann, R. and Powell, E. N. \(2007\)](#). Why oyster restoration goals in the Chesapeake Bay are not and probably cannot be achieved. *Journal of Shellfish Research* 26(4): 905-917.

Mann, R., Harding, J.M. & Southworth, M.J. (2009). Reconstructing pre-colonial oyster demographics in the Chesapeake Bay, USA. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 85: 217-222.

Mariculture, C. o. B. P. f. S. and P. R. N. S. the Effects of Commercial Activities in Drakes Estero, California (2010). *Ecosystem Concepts for Sustainable Bivalve Mariculture*, The National Academies Press. ISBN 978-0-309-14695-1.

[Molnar, J. L., Gamboa, R. L., et al. \(2008\)](#). Assessing the global threat of invasive species to marine biodiversity. *Frontiers in Ecology and the Environment* 6(9): 485-492.

Piazza, B. P., Banks, P. D. et al. (2005). The potential for created oyster shell reefs as a sustainable shoreline protection strategy in Louisiana. *Restoration Ecology* 13(3): 499-506.

[Powers, S. P., Peterson, C. H. et al. \(2009\)](#). Success of constructed oyster reefs in no-harvest sanctuaries: Implications for restoration. *Marine Ecology Progress Series* 389: 159-170.

[Rippey, S. R. \(1994\)](#). Infectious diseases associated with molluscan shellfish consumption. *Clinical Microbiology Reviews* 7(4): 419-425.

[Schellekens, T. and Smaal, A. C. \(2012\)](#). BO Zuidwestelijke Delta: Nutrientendynamiek en verandering van draagkracht. Yerseke, Wageningen IMARES. Rapport / IMARES C070/12) – 25 p.

[Schellekens, T., Wijsman, J. W. M. et al. \(2011\)](#). Habitat suitability modeling for the Pacific oyster, *Crassostrea gigas* (Thunberg, 1793), IMARES: 29.

[Schulte, D. M., Burke, R. P. et al. \(2009\)](#). Unprecedented restoration of a native oyster metapopulation. *Science* 325(5944): 1124-1128.

[Scyphers, S. B., Powers, S. P. et al. \(2011\)](#). Oyster reefs as natural breakwaters mitigate shoreline loss and facilitate fisheries. *PLoS ONE* 6(8).

Seddon, N., Chausson, A., Berry, P., Girardin, C. A., Smith, A., & Turner, B. (2020). Understanding the value and limits of nature-based solutions to climate change and other global challenges. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 375(1794), 20190120.

[Sluis, C. J. and Ysebaert, T. \(2012\)](#). On combining coastal defence and aquaculture, IMARES.

Southworth M., Harding J.M., Wesson, J.A. & Mann, R. (2010). Oyster (*Crassostrea virginica*, Gmelin 1791) Population Dynamics on Public Reefs in the Great Wicomico River, Virginia, USA. *Journal of Shellfish Research* 29: 271-290.

[Strand, A., Waenerlund, A. et al. \(2011\)](#). High tolerance of the pacific oyster (*crassostrea gigas*, thunberg) to low temperatures. *Journal of Shellfish Research* 30(3): 733-735.

[Troost, K. \(2009\)](#). Pacific oysters in Dutch estuaries. Causes of Success and Consequences for Native Bivalves. Phd, Groningen.

[Troost, K. \(2010\)](#). Causes and effects of a highly successful marine invasion: Case-study of the introduced Pacific oyster *Crassostrea gigas* in continental NW European estuaries. *Journal of Sea Research* 64: 145-165.

Ysebaert, T. et al. Ecodynamic solutions for the protection of intertidal habitats: the use of oyster reefs. *J. Shellfish Res.* 31, 362–362 (2012).

7 Soortenrijke grasbekleding

Tabel 7.1: Doorzoekbaarheidstabel Soortenrijke grasbekleding

Categorie

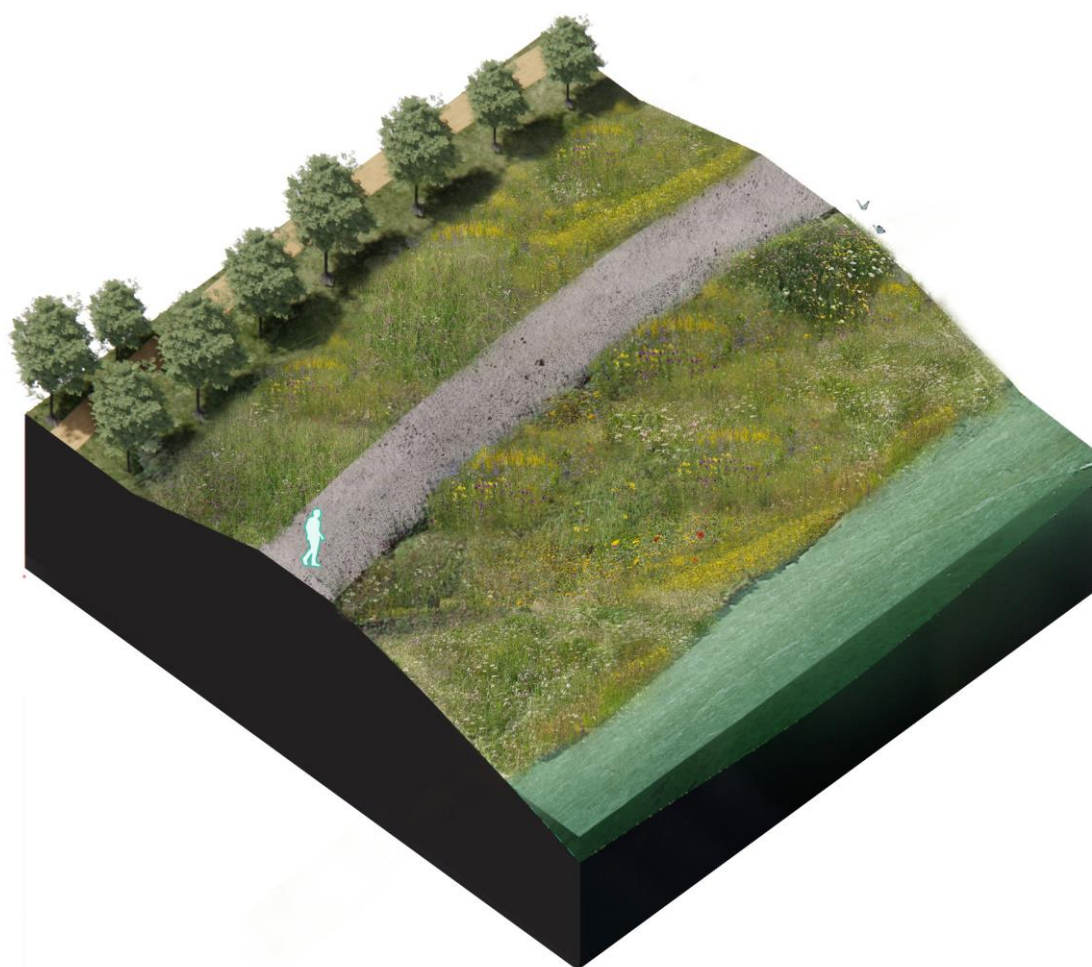
Vergroten stekte dijk

Locatie

Meer, Kust, Rivier, Delta

Dijkversterking projectfase

Initiatief, Verkenning, Planuitwerking, Aanbesteding



Figuur 7.1: Soortenrijke grasbekleding © One Architecture, Ecoshape

7.1 Beschrijving

Een soortenrijke grasbekleding op dijken kan bijdragen aan het herstel van biodiversiteit: er is plek voor bijzondere planten- en insectensoorten. Dijken slingeren door het Nederlandse landschap en vormen een brug tussen verschillende ecosystemen. Een soortenrijke grasmat sluit aan bij de Green Deal Infratructuur die diverse waterschappen hebben ondertekend om de biodiversiteit en milieuvriendelijk beheer van de dijken te waarborgen.

In het project Future Dikes (Liebrand e.a., 2024) is aangetoond dat een biodiverse grasmat net zo sterk is als de bekende uniforme grasbekleding, maar beter voor de biodiversiteit en visueel aantrekkelijk. Het HWBP spreekt daarom de ambitie uit om sterke soortenrijke dijken als standaard in te voeren.

Rondom waterkeringen komen planten en diersoorten voor die afhankelijk zijn van specifieke combinaties van bodem, beschikbaarheid van water, overstromingen en vegetaties. Dijken zijn een kunstmatig element die in de loop van de eeuwen een rol gekregen hebben als onderdeel van het leefgebied voor een groot aantal soorten. De dijken kunnen daardoor een ondersteunende functie spelen en zijn voor veel soorten een zeer geschikte uitbreiding van het leefgebied. Omdat de dijk echter primair een veiligheidsfunctie heeft, is de inrichting en het beheer van de dijk ten behoeve van biodiversiteit ondergeschikt aan de eisen vanuit veiligheid.

De kruin, taluds en berm zullen het permanente leefgebied en standplaats zijn van verschillende soorten grassen en kruiden. Voor deze soorten is het van belang dat de bodem, waterbeschikbaarheid en beheer dusdanig is dat ze zich hier kunnen vestigen, bloeien en zaadzetten en daarnaast ook extreme situaties van hoog water, koude of droogte kunnen doorstaan. Voor sommige soorten is het daarnaast van belang dat ook bestuivers (verschillende soorten insecten) en eventueel zaadverspreiders (vogels, mieren, zoogdieren) aanwezig zijn om duurzaam op de dijk voor te kunnen komen.

De dijk kan ook leefgebied zijn voor verschillende diersoorten. Dat betreft vooral ongewervelden (insecten, spinnen, wormen, slakken etc.) maar ook sommige soorten kleine zoogdieren (muizen, spitsmuizen) en amfibieën kunnen hier vrijwel hun hele leven doorbrengen. Deze soorten hebben naast geschikt voedsel ook verblijfplaatsen nodig in de vorm van holen, strooisellaag en overblijvende vegetatie.

Een goed voorbeeld van een dijk als waardevol leefgebied voor specifieke soorten zijn bijvoorbeeld de dijken langs de Overrijsselse Vecht. Deze dijken zijn historisch opgebouwd uit (kalkrijk) zand. Hierdoor hebben zich op de dijken zeldzame voedselarme vegetatietypes ontwikkeld die een zeer waardevolle bijdrage leveren aan de totale biodiversiteit.

7.2 Waterveiligheid

Bloemen en kruiden maken onderdeel uit van de grasbekleding van een waterkering. Het doel van de grasbekleding is het leveren van erosiebestendigheid volgens de ontwerpisen (STOWA en RWS, 2024). De bekleding van een dijk vormt, samen met de klei van de deklaag, een erosieremmend geheel (Rijkswaterstaat, 2012). Begroeiing met weinig grote open plekken en met een hoge worteldichtheid in de toplaag (minimaal 20 cm diep) draagt sterk

bij aan een erosiebestendige dijk (Rijkswaterstaat, 2012; STOWA, 2015). Zorgvuldig beheerde bloemrijke dijkgraslanden voldoen doorgaans aan deze criteria. Het streven naar maximale soortenrijkdom via hooibeheer kan op termijn wel leiden tot een te open grasbekleding waarbij lichte bemesting nodig kan zijn. Frequentie monitoring van hoe de grasbekleding zich ontwikkelt is cruciaal om tijdig bij te kunnen sturen (STOWA, 2015). Vanuit waterveiligheid kan gesteld worden dat het gebruik van bloemen en kruiden geen significante negatieve invloed heeft op de sterkte van de grasbekleding, en mogelijk een beperkte positieve bijdrage leveren aan de sterkte (Liebrand e.a., 2024). Voornaamste reden om bloem- en kruidenrijke dijken toe te passen is echter om bij te dragen aan natuurdoelen.

Kennis van soortenrijke dijken is opgedaan tijdens onderzoeken in de 80'er en 90'er jaren van de vorige eeuw door de toenmalige Landbouwwuniversiteit Wageningen. Toen al werd geconcludeerd dat dijkvegetaties met veel verschillende soorten grassen en kruiden sterk en erosiebestendig zijn (Fliervoet, 1992; Van der Zee, 1992; Sprangers, 1999; Liebrand, 1999). Na de hoge waterstanden in 1993 en 1995 ging de aandacht vooral uit naar het snel op orde brengen van de waterkeringen door vaak grootschalige dijkversterkingen (Van Hoven en Van der Meijden, 2024). In een bloemrijke dijk bestaan naast verschillende soorten grassen ook verschillende kruiden (met opvallende bloemen) op het talud van de dijk.

Minder soortenrijke dijkgraslanden die het resultaat zijn van zorgvuldig uitgevoerd beheer bieden echter ook voldoende sterkte. Enkele zeer kruidenarme vegetaties zijn beduidend minder sterk dan vegetaties met relatief meer kruiden (STOWA, 2015). Bloemrijke dijken zijn mogelijk veerkrachtiger dan soortenarme dijkgraslanden. Dit is van meerwaarde in een klimaat met toenemende weersextremen. Ook kunnen soortenrijke dijkgraslanden sneller de maximale sterkte bereiken na inzaai dan soortenarme. Deze twee opvattingen dienen echter nog nader onderzocht te worden (STOWA, 2015). In het lopende kennis- en innovatieproject Future Dikes is de sterkte van grasbekleding nader onderzocht en gespecificeerd (Liebrand et al., 2024). Het doel is om aan te tonen of en in hoeverre soortenrijkdom van vegetaties op dijken bijdraagt aan de sterkte en erosiebestendigheid van grasbekledingen, door middel van gericht onderzoek en kennisontwikkeling. Het uiteindelijke doel is het genereren van parameters om soortenrijke grasbekledingen te integreren in het ontwerp- en beoordelingsinstrumentarium.

In het ontwerp- en beoordelingsinstrumentarium wordt erosie van de grasbekleding bij golfoploop of golfoverslag berekend met de cumulatieve overbelastingmethode. Hierbij wordt de sterkte of erosiebestendigheid gekarakteriseerd door de kritische stroomsnelheid U_c (m/s). Uit het onderzoeksproject Future Dikes volgt dat voor soortenrijke bekledingen de kritische stroomsnelheid U_c wordt beschreven door een normale kansverdeling met een verwachtingswaarde van 7 m/s en een standaardafwijking van 1 m/s. Deze karakterisering ligt tussen de reguliere grasbekleding 'gesloten zode' (bovengrens sterkte) en 'open zode' (minder hoge sterkte) in (van Hoven & van der Meijden, 2024). Voor (rivier)dijken waar overloop dominant is ten opzichte van erosie door golfoverslag, zal de erosiebestendigheid weinig uitmaken voor de benodigde kruinhoogte. Voor (zee- en meer-) dijken waar erosie door golfoverslag dominant is zal dit wel veel invloed hebben op de benodigde kruinhoogte.

Het Rijk stelt de regels op voor het uitvoeren van de veiligheidsbeoordeling op en stelt leidraden beschikbaar voor het ontwerp en het beheer van primaire keringen. Deze regels zijn beschikbaar in het Beoordelings- en ontwerpinstrumentarium (BOI). Het instrumentarium bestaat uit handleidingen, technische leidraden, software-applicaties en databases. Deze instrumenten worden gebruikt om de overstromingskans van een dijktraject te bepalen.

In de Handleiding Overstromingskansanalyse dijken/dammen (deel 1 – 5) zijn rekenregels terug te vinden om bijvoorbeeld de impact van de kwaliteit van de graszode op verschillende faalmechanismen van dijken te berekenen. De rekenregels zijn ook verwerkt in de applicaties die onderdeel uitmaken van het BOI (zoals Riskeer), zodat deze gebruikt kunnen worden om de kans van optreden van bepaalde faalmechanismen te berekenen. De actuele documenten van het instrumentarium zijn terug te vinden op het BOI-portaal.

7.3 Bijdrage aan Natuurdoelen

De maatregel soortenrijke dijkbekleding richt zich uitsluitend op de dijkbekleding. De positieve effecten op natuurdoelen richten zich hoofdzakelijk op de meerwaarde qua vegetatie, zoals een toename van biodiversiteit en verbetering van de habitatkwaliteit

Tabel 7.2: Natuurwinst bij Soortenrijke grasbekleding

	Draagt het concept mogelijk bij aan natuurdoelen? - = negatief effect 0 = geen effect + = positief effect	Hoe draagt het mogelijk bij aan natuurdoelen?
Natura 2000-gebieden	+	H6120 – Stroomdalgraslanden H6510 A, B – Glanshaver- en vossenstaarthooilanden
Natuurnetwerk Nederland	+	N11.01 Droog schraalgrasland N12.01 Bloemdijk N12.02 Kruiden- en faunarijk grasland N12.03 Glanshaverhooiland
Beschermde soorten	0/+	O.a. diverse roofvogels met jaarrond beschermde nesten vanwege een hogere prooidichtheid op bloemrijke dijken
Kaderrichtlijn water	0	N.v.t.
Bossenstrategie	0	N.v.t.

7.4 Ontwerp, aanleg & Beheer

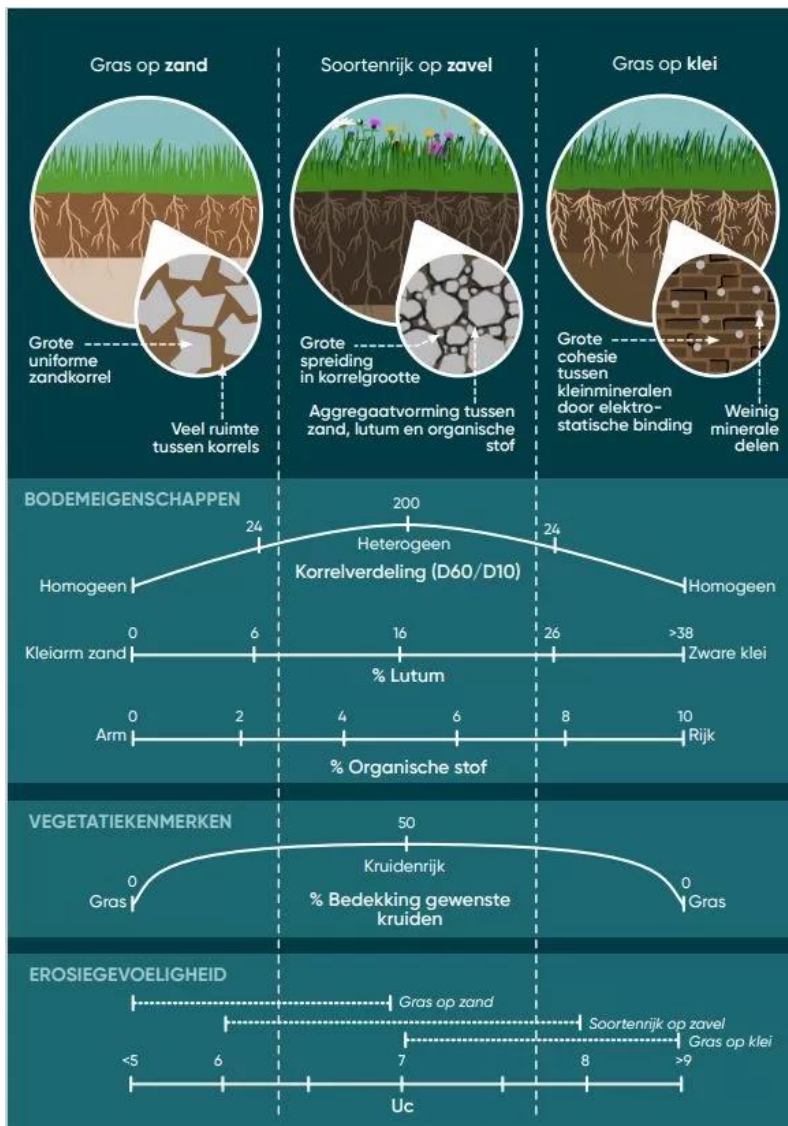
Bij de aanleg van soortenrijke dijkbekleding wordt speciale aandacht besteed aan de samenstelling van de toplaag, het inzaaimengsel en het ontwikkelingsbeheer in de eerste 4 jaar na aanleg. Bij het bepalen van de visie moet de waterkeringbeheerder een keuze maken voor het streefbeeld met de samenstelling en structuur van de vegetatie en de waterstaatkundige functie van de vegetatie.

Soortenrijke vegetatie kan vooral tot ontwikkeling komen in bodems van lichte tot zware zavel. Wanneer bij dijkversterkingen de toplaag van de waterkering aan de eisen voldoet, kan deze worden hergebruikt (goed te koppelen aan “Gebruik van gebiedseigen grond”). Indien nieuwe grond moet worden is de korrelverdeling van de zandfractie (D60/D10 40-200) en het gehalte organisch materiaal (3-7% optimum) van belang.

Daarnaast dient de nieuwe toplaag niet te sterk verdicht te worden en moet worden gezorgd voor een geleidelijke overgang in granulaire samenstelling van toplaag naar onderlaag.

Op basis van een vegetatieanalyse van honderden dijkvakken is een voorstel ontwikkeld voor nieuwe mengsels die geschikt zijn voor verschillende bodemtypen en beheervormen. Dit onderscheid is gemaakt omdat in de uitersten van de minerale samenstelling (zand en zware klei) bepaalde soorten niet zullen aanslaan of volhouden. Ook maaien en beweiden leveren andere vegetatietypen op. Het is zinloos om bepaalde dure zaden op te nemen in mengsels waar de soort geen toekomst heeft. Kamgras verdwijnt bijvoorbeeld bij maaibeheer.

Het inzaaimengsel moet worden afgesteld op de aanwezige bodemsamenstelling. Twee typen zadenmengsels worden aangeraden voor Nederlandse waterkeringen: Dijken basis Gras (DbG) en Dijken basis kruiden (DbK).



Figuur 7.2: Relatie tussen bodemeigenschappen, vegetatiekenmerken en erosiegevoelighed (bron: Handreikinggrasbekleding.nl)

De eerste vier jaar is actief ontwikkelbeheer nodig, om een soortenrijke vegetatie de kans te geven zich goed. Hiervoor is ook ontwikkeling van de beworteling en het bodemleven van belang.

Drie soorten beheer kunnen worden onderscheiden:

- ontwikkelbeheer (0 – 4 jaar);
- instandhoudingsbeheer (>4 jaar);
- herstelbeheer.

Ontwikkelbeheer (0-4 jaar)

De beheerder verkrijgt hoge soortenrijkdom in eerste instantie door op de juiste wijze in te grijpen in de concurrentieverhouding tussen de gras- en kruidensoorten. Daarna bevordert hij hoge soortenrijkdom door zoveel mogelijk soorten de kans te bieden om tot bloei en zaadsetting te komen. Een lage biomassaproductie bereikt hij door een optimaal beheer toe te passen waarbij beheermethode, -frequentie en -tijdstip een belangrijke rol spelen. Doel

daarbij is de bodem te verschrallen (maaïen en afvoeren) zonder dat dit ten koste gaat van zaadzetting en –verspreiding.

Denk vooraf na over de wijze van het onderhoud bij het ontwikkelingsbeheer. Als de beheerder kiest voor een vorm van klepelen, heeft het weinig zin om bij het inzaaien dure zaden voor kruiden mee te zaaien. Die zullen naar verwachting verloren gaan bij dit type onderhoud.

Instandhoudingsbeheer (>4 jaar)

Instandhoudingsbeheer is de vorm van beheer die het meest en langdurig wordt toegepast op dijken. Ontwikkelingsbeheer en herstelbeheer worden slechts tijdelijk toegepast. Na de aanlegfase van vier jaar zijn er verschillende ontwikkelingsscenario's mogelijk. Het instandhoudingsbeheer dient optimaal aan te sluiten bij de gekozen beleidslijn en streefbeeld.

Hoewel na verloop van tijd een tamelijk homogene dijkvegetatie verkregen kan worden zullen er altijd verschillen in ontwikkeling zijn. Vaak is de dijkvegetatie op steilere delen van de dijk en op het zuiden gerichte delen soortenrijker en bloemrijker dan op de overige delen van de dijk. In dat geval kan ervoor worden gekozen om deze bloemrijkere delen in het voorjaar niet of later te maaïen dan de overige delen. Dit heeft twee grote voordelen: 1. Het ongemaaide deel van de dijk dient als vluchtplaats voor tal van vliegende en niet vliegende insectensoorten en 2. De planten die door kunnen bloeien blijven nectar en stuifmeel leveren voor de insectensoorten die hier deels of geheel van afhankelijk zijn.

Een dergelijk aangepast maaibeheer is de afgelopen jaren onder meer toegepast (door ANV De Ploegdriever) op het binnentalud van de Waalbandijk in de Ooijpolder tussen Millingen aan de Rijn en Nijmegen (zie foto's beneden).

Er kan ook voor worden gekozen om het binnen- en het buitentalud op verschillende tijdstippen te maaïen. In het algemeen bestaat de toplaag van het buitentalud uit een zwaardere grondsoort (hoger kleigehalte) dan het binnentalud. Hierdoor is de biomassaproductie op het buitentalud vaak hoger dan op het binnentalud en dient het buitentalud dus eerder gemaaid te worden. Ook hierdoor wordt voorkomen dat alle dijken in een keer worden gemaaid en de fauna van de dijken tijdelijk nergens terecht kan.



Figuur 7.3: Aangepast, uitgesteld maaibeheer op de zuidelijke Waalbandijk tussen Kekerdom en Nijmegen (bron: handreikinggrasbekleding.nl)



Figuur 7.4: Het bovenste, bloemrijke deel van het binnentalud wordt later gemaaid dan de rest van de dijk en het buitentalud (bron: handreikinggrasbekleding.nl)



Figuur 7.5: De ongemaaide delen van de dijk dienen als refugium en leveren nectar, stuifmeel en zaden terwijl de rest is gemaaid. (bron: handreikinggrasbekleding.nl)

Herstelbeheer

Herstelbeheer kan bestaan uit maaibeheer, beweiding of begrazing en uit een combinatie van maaibeheer en beweiding of begrazing.

Het herstelbeheer kan bestaan uit maaibeheer, beweiding of begrazing en uit een combinatie van maaibeheer en beweiding of begrazing. Door bepaalde situaties kan de beheerder kiezen voor beheer van probleemsoorten, het beheer van bijzondere soorten of bij-vriendelijk beheer.

Bij herstelbeheer wordt meestal maaibeheer toegepast omdat maaiapparatuur flexibel (op juiste tijdstippen) en desgewenst kleinschalig kan worden ingezet (bosmaaiers voor lokaal beheer op locaties met probleemsoorten). Bij herstelbeheer in de vorm van maaibeheer zijn

de volgende aspecten van belang: frequentie, tijdstip, methode en maaihoogte. Deze aspecten bepalen tezamen de samenstelling en structuur van de dijkvegetatie/grasbekleding. Soms is echter de inzet van grazers een prima methode om plaagsoorten tegen te gaan.

Soms wordt herstelbeheer toegepast in combinatie met doorzaai met een geschikt inzaaimengsel. Als bodembemonstering daartoe aanleiding geeft kan de beheerder een uitgekiende mestgift geven. In het uiterste geval kan de beheerder kiezen voor inzet van chemische middelen, passend binnen de wetgeving.

Voor het succes van herstelbeheer is het soms nodig de waterkering of de omgeving aan te passen, zoals:

- natte plekken draineren;
- bomen opsnoeien, uitdunnen of kappen op schaduwrijke plekken die te leiden hebben onder bladval;
- afrasteringen verwijderen.

Herstelbeheer is eigenlijk altijd maatwerk. Zie voor meer informatie over het beheer en aanleg van (soortenrijke) grasbekleding [Handreikinggrasbekleding.nl](https://handreikinggrasbekleding.nl)

7.5 Procesaanwijzingen

Versterkingsopgaven worden in Nederland gerealiseerd met de MIRT systematiek (<https://leerplatformmirt.nl/mirt/handreikingen/handreiking-mirt-mer/>), veelal onder het Hoogwaterbeschermingsprogramma <https://roadmapduurzaamhwbp.nl/>, waarin verschillende projectfasen worden onderscheiden; initiatief, verkenning, planuitwerking en realisatie (inclusief aanbesteding). Los van een versterkingsopgave geldt de zorgplicht waterkeringen, als continu proces, geborgd door bij de waterkeringsbeheerders (Rijkswaterstaat en de waterschappen).

De Roadmap Duurzaamheid HWBP (<https://roadmapduurzaamhwbp.nl/>) is een stappenplan om in aansluiting op de genoemde projectfasering van initiatief- tot en met realisatiefase te komen tot duurzame, goed ingepaste dijkversterkingen met ruimtelijke kwaliteit.

Binnen dit stappenplan en de Roadmap Duurzaamheid geldt dat hoe eerder een NBS betrokken wordt bij de versterkingsopgave, hoe groter de kans op werkelijke realisatie van een NBS. In de beginfase is het daarom belangrijk de duurzaamheidsambities, waar een NBS onderdeel van kan zijn, breed te verkennen. Dit vanuit meerdere opgaven en niet enkel vanuit de waterveiligheidsopgave of verbeteropgave van de waterkering.

Tabel 7.3: Procesaanwijzingen per projectfase

NBS soortenrijke dijkbekleding i.r.t. MIRT fasering en roadmap duurzaamheid HWBP

Initiatief	Verkenning	Planuitwerking	Aanbesteding	Realisatie
Betrekken bij projectopdracht * Breng de diverse opgaven in beeld, stem de programmering van het dijkproject af met andere relevante medeoverheden of stakeholders en verken gezamenlijk de mogelijkheden. * stem de ambitie vroegtijdig af met de eindbeheerder van de dijk. * verken bijdrage duurzaamheid voor ten minste de mogelijke winst op de thema's ruimtelijke kwaliteit en biodiversiteit/ecologie.	Varianten dijkversterking en NBS hangen met elkaar samen * Verken ontwerpvarianten die voldoen aan de projectopdracht. Als een soortenrijke dijk onderdeel is van de opdracht, zijn de ontwerpvarianten dat ook. * Verken de impact van de NBS op hoogte en ruimtebeslag. Dit is vooral relevant voor dijken met zware golfbelasting. * Verken de combinatie met toepassing van gebiedseigen grond * maak de winst op ten minste de thema's ruimtelijke kwaliteit en biodiversiteit /ecologie inzichtelijk en betrek dit bij de afweging van varianten. * Maak voor beslissers inzichtelijk hoe de NBS bijdraagt aan de doelstellingen van het project. * Verken of NBS kan bijdragen aan duurzaamheidsdoelstellingen in algemene zin (bijv. biodiversiteit)	Uitwerking ontwerp en bepalen effecten * Werk bij voorkeur met een gecombineerde uitvoering en een gecombineerd planproces, zodat er sprake is van synergie tussen NBS en dijkversterking. * maak de winst op ten minste de thema's circulariteit, ruimtelijke kwaliteit en biodiversiteit inzichtelijk en betrek dit bij de uitwerking van referentieontwerp en plannen. * Maak voor beslissers inzichtelijk hoe de NBS bijdraagt aan de doelstellingen van het project. * Verken of NBS kan bijdragen aan duurzaamheidsdoelstellingen in algemene zin (bijv. biodiversiteit)	Combineren van uitvoering * Bepaal de keuze van de contractvorm mede op basis van het benutten van de kansen voor soortenrijke dijkbekleding. Overweeg bijvoorbeeld bindende eisen op te nemen aan hergebruik van de bestaande toplaag. Leg de eisen voor NBS zodanig vast dat ook in de realisatiefase de meerwaarde van de NBS wordt gewaarborgd in zowel uitvoering als beheer.	Combineren van uitvoering *Toets en bewaak de projectdoelen. Zorg voor voldoende waarborgen in de uitvoeringsfase, zodat de beoogde effecten van de NBS worden gerealiseerd. Dit kan bijvoorbeeld door het vragen van tussentijdse rapportages en veldinspecties. Zorg voor een goed ontwikkelings- en instandhoudingsplan voor duurzaam beheer, maak afspraken tussen de verschillende beheerders. Leg het ontwikkelbeheer bij voorkeur bij de eindbeheerder.

7.6 Voorbeelden

POV Waddenzeedijken

Purmerringdijk

Versterking IJsselmeerdijk Hét kennisplatform over grasbekleding op waterkeringen |

Handreiking Grasbekleding

7.7 Referenties

André van Hoven en Rens van der Meijden, Future Dikes soortenrijke grasbekleding Thema 3 Analyse golfoverslagproeven en grastrekproeven, 2024.

[Biodiversiteit op de dijken van de Neder-Betuwe, RHDHV, 2021](#)

Dorst et al. (2024). Bloemrijke Dijken HDSR.

<https://www.handreikinggrasbekleding.nl/sites/default/files/2024-08/Bloemrijke%20dijken%20rapport%205.1%20aanpassingen%2011%20juli%202024.pdf>

Fliervoet, L.M. (1992). Aanleg en beheer van grasland op rivierdijken. Unie van Waterschappen, Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij, 63 pp.

Liebrand, C, N. van Rooijen, R. van der Meijden, J. Warmink, M. Evers, T. Evers, R. Mom, G.J. Steendam, A. van Hoven, E. Visser, S. Huls & H. de Kroon. (2024) Rapportage thema 0 Huidige kennis van soortenrijke dijkvegetaties en de relatie met bodem en sterkte, HWBP Future Dikes: soortenrijke grasbekleding fase 1.

Liebrand, C.I.J.M. (1993). Vegetatie-ontwikkeling op verzwaarde rivierdijken : effect van natuurtechnische maatregelen bij verzwaring van rivierdijken, 4 jaar na aanleg : fase 1: 1987-1990, Wageningen : Landbouwniversiteit, 242 pp.

Rijkswaterstaat. (2012). Handreiking Toetsen Grasbekledingen op Dijken t.b.v. het opstellen van het beheerdersoordeel (BO) in de verlengde derde toetsronde. 25 oktober 2012.

Sprangers, J.T.C.M. & W.J. Arp (1999). Toetsingsparameters dijkgrasland. Rapport IBN-DLO (nu Alterra), 16 pp.

STOWA & RWS. (2024). Handreiking Glasbekleding.

<https://www.handreikinggrasbekleding.nl/aanleg/ontwerpuitleidingpunten>

STOWA. (2015). Bloemrijke sterke Dijken. Deltafact.

Zee, F.F. van der (1992). Botanische samenstelling, oecologie en erosiebestendigheid van rivierdijkvegetaties. Landbouwniversiteit Wageningen, in opdracht van DWW/Rijkswaterstaat, 271 pp.

8 Zandmotor

Tabel 8.1: Doorzoekbaarheidstabel Zandmotor

Categorie

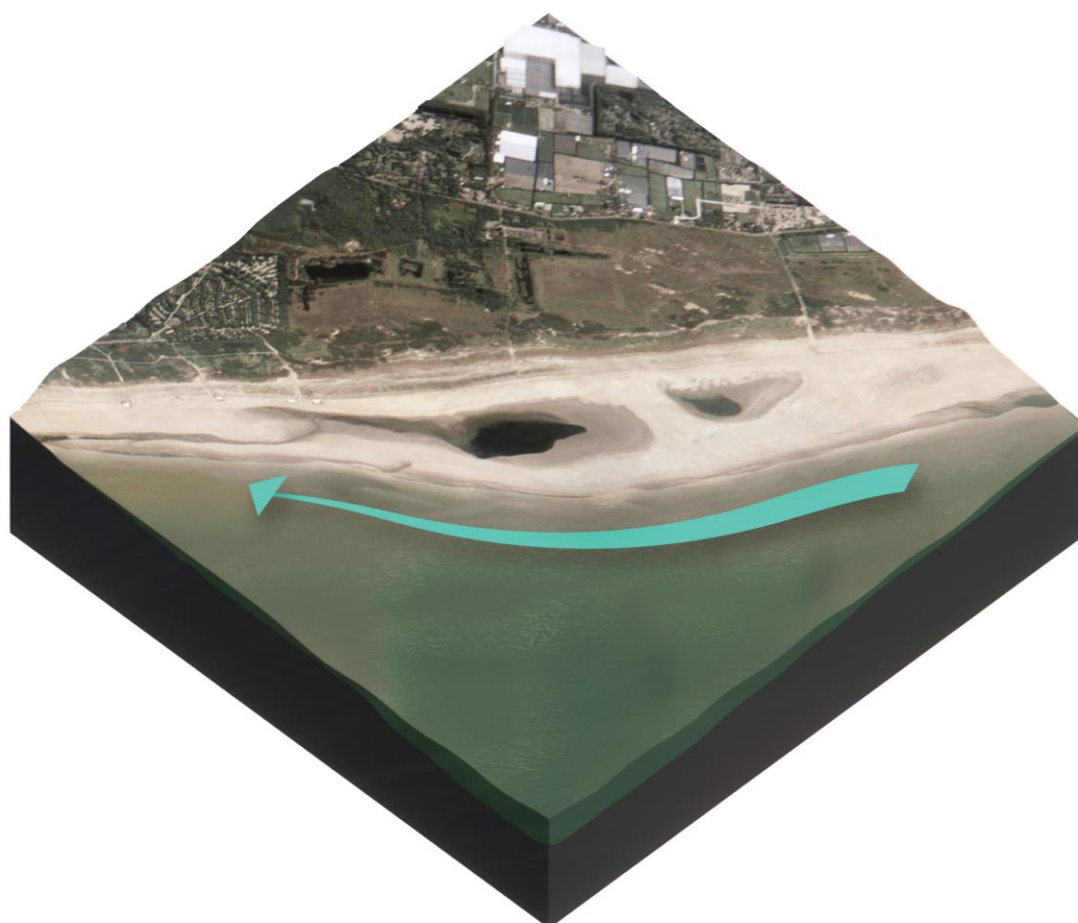
Locatie

Dijkversterking projectfase

Vergroten sterkte dijk

Kust

Initiatief, Verkenning



Figuur 8.1: Zandmotor © One Architecture, Ecoshape

8.1 Beschrijving

Een strandsuppletie bestaat uit het plaatsen van gebaggerd zand langs of voor een strand, waar golf- en getijdewerking het zand langs de kust verspreiden. Golven spelen ook een rol bij het dwarstransport en de ontwikkeling van het strand. De suppleties worden om verschillende redenen toegepast:

- om verliezen door (structurele) erosie te compenseren, de kustlijn op zijn plaats te houden en verlies van land te voorkomen;
- om de veiligheid van het achterland tegen overstromingen te vergroten;
- om de omliggende kust van zand te voorzien met een door de natuur bepaald tempo;
- om een strand te verbreden of nieuwe stranden te creëren, bijvoorbeeld voor recreatieve doeleinden of biodiversiteitsdoelen;
- om nieuwe gebieden in te polderen zoals schiereilanden of kunstmatige eilanden voor stedelijke of industriële ontwikkeling.



Figuur 8.2: Zandmotor (bron: Rijkswaterstaat)

Een reguliere suppletie heeft een levensduur van enkele jaren. De zandmotor staat symbool voor een megasuppletie. Deze omvat de ruimtelijk geconcentreerde plaatsing van (relatief) grote hoeveelheden zand voor kustontwikkeling. Dergelijke suppleties worden op een specifieke locatie geplaatst met het doel om geleidelijk de omliggende kustlijn te voeden. Wind, golven en stromingen zullen de sedimenten langs de kust verspreiden. Het concept valt volledig binnen het concept van werken met de natuur en voldoet daarmee aan de grondbeginselen van NBS. Een dergelijke suppletie zal op lange termijn bijdragen aan de kustveiligheid.

Een geconcentreerde suppletie langs een zandige kust, waarbij een deel van de suppletie droog ligt, biedt meer ruimte voor recreatie, watersport en strandliefhebbers. In het ontwerp van de Zandmotor bij Kijkduin is een lagune en een binnenmeer opgenomen die mogelijkheden creëert voor natuur en recreatie. Bovendien kunnen nieuwe duinen en vegetatie zich ontwikkelen, wat de natuurwaarde verhoogt. In het geval van een onbeschermde (niet ingesloten) suppletie zal de vorm en bathymetrie van de suppletie echter continu veranderen onder invloed van getij, wind en golven. Dit vereist een adaptieve beheerstrategie om in te spelen op onvoorziene ontwikkelingen. De Zandmotor Delfland is

een goed voorbeeld van een geïntegreerde oplossing die veiligheid biedt tegen overstromingen terwijl het natuurontwikkeling en recreatie faciliteert.

8.2 Waterveiligheid

Het doel van megasuppleties is in de huidige praktijk niet het versterken van de waterkering ter plaatse, maar ze worden ingezet als beheermaatregel voor kustonderhoud. Hoewel deze maatregelen de lokale waterveiligheid beïnvloeden, is dit effect niet blijvend. Het uiteindelijke doel is namelijk dat het suppletiezand zich verspreidt langs de kust. Als een dijk is versterkt met zandige vooroever (bijvoorbeeld de Houtribdijk of de Westkappelse Zeedijk) kan een zandmotor mogelijk wel dienen als vorm van onderhoud voor de dijkversterking.

Suppleties bestaan in verschillende typen met elk andere karakteristieken en effecten op de waterveiligheid:

Duinsuppleties

Deze duinversterking – waarbij suppleties direct op het duin plaatsvinden – wordt met name toegepast als sprake is van een direct waterveiligheidsprobleem.

Strandsuppleties

Het opspuiten van zand op het strand, zodat het strand hoger en breder wordt. Dit heeft direct effect op de ligging van de kustlijn die hierdoor zeewaarts verschuift.

Onderwatersuppleties

Het aanbrengen van zand op de zeebodem vlak voor de kust. De twee voornaamste toepassingen zijn een 'vooroeversuppletie' en een 'geulwandsuppletie'. De vooroeversuppletie wordt het meest toegepast. Hierbij wordt het zand in de brekerzone aangebracht, meestal op een diepte van 5 tot 8 meter. Op locaties waar reguliere vooroeversuppleties door de aanwezigheid van geulen niet uitgevoerd kunnen worden, kunnen zogenaamde geulwandsuppleties worden uitgevoerd. Een onderwatersuppletie is een methode om de achterliggende kust te beschermen tegen de optredende erosie. Het heeft geen direct effect op de kustlijnpositie, maar op termijn vermindert het de kusterosie, waardoor de kustlijn zich positief ontwikkelt.

Zandmotor (megasuppleties)

Een suppletie met een zeer groot zandvolume en lage frequentie van uitvoering. Een megasuppletie wordt vaak als proactieve maatregel ingezet: het is een extra versterking om toekomstig onderhoud te voorkomen. Dit kan bijvoorbeeld gunstig zijn op plaatsen waar regulier onderhoud moeilijk uitvoerbaar is, of een korte herhalingstijd heeft. Vergeleken met de andere typen suppleties, zijn de ervaringen met megasuppleties nog relatief beperkt. Dit heeft ook te maken met de lange herhalingstijd. Megasuppleties worden daarom meestal toegepast als pilot, en gekoppeld aan uitgebreide onderzoeksprogramma's (inclusief monitoring).

Suppleties hebben een (tijdelijk) effect op de waterveiligheid, door een verbreding van het strand. Door een hooggelegen voorland worden golven gebroken voordat deze de waterkering bereiken. Dit neveneffect vermindert de kans op duinerosie. Voornaamste

argument om megasuppleties toe te passen is en blijft echter een beheermaatregel voor kustonderhoud of onderhoud van een zandig voorland voor een dijk.

Naast het (tijdelijk) verbreden van het strand, zorgen suppleties voor een aanvoer van beschikbaar sediment voor kust- en duinontwikkeling. Dit is de tweede wijze waarop de zandmotor bijdraagt aan de waterveiligheid. Door een verspreiding van het sediment als gevolg van stroming, wind en golven, neemt het volume en de hoogte van de duinen potentieel toe. De mate waarin suppleties invloed hebben op het volume van de zeereep en de hoogte van de duinen is sterk afhankelijk van de manier en locaties waarop de suppleties zijn uitgevoerd. Vanwege de langjarige fysische ontwikkeling van gesuppleerd sediment is het effect vaak niet direct zichtbaar (Huisman et al., 2021; STOWA, 2020). Bij suppleties bestaat de kans op ontstaan van embryonale duinen vóór de eerste duinenrij. Deze embryonale duinen vermijden dat het zand verplaatst naar de duinen, waardoor het een potentieel negatief effect heeft op het volume in de zeereep. Embryonale duinen dragen niet bij aan de algehele waterveiligheid, behalve dat deze golfslag verminderen aan de duinvoet (Huisman et al., 2021).

De verschillende type suppleties en de werkwijze ervan onderscheiden zich op de volgende wijze (Tabel 8.2). De effectiviteit van suppleties op de kuststerkte hangt samen met de snelheid waarmee het volume en/of de hoogte van de zeereep toeneemt. Over het algemeen geldt: hoe verder van de kust de suppletie plaatsvindt, hoe langer het duurt voordat het gewenste effect wordt bereikt. Het effect op de belasting van de waterkering betreft voornamelijk de invloed op het strand als voorland (zie concept *voorland*), waarbij golfremming optreedt. Strand- en megasuppleties creëren een breder strand, wat resulteert in een verminderde belasting op de waterkering. Bij onderwatersuppleties is dit effect beperkter en duinsuppleties hebben geen direct effect op de belasting.

Het effect op de sterkte is in relatie tot de snelheid waarmee een effect op het volume in de zeereep en/of hoogte wordt bereikt. In het algemeen geldt, hoe verder van de kust de suppletie plaatsvindt, hoe langer het duurt voor het gewenste effect bereikt wordt. Het effect op de belasting van de waterkering betreft het effect op het strand als voorland (zie concept *voorland*), waarbij golfremming plaatsvindt. Strand- en megasuppleties zorgen voor een breder strand, waardoor de kering minder wordt belast. Bij een onderwatersuppletie is het effect beperkter en bij een duinsuppleties is geen effect. De impact van suppleties op het kustprofiel heeft betrekking op de stabiliteit van de helling. Duinsuppleties, en in mindere mate strandsuppleties, maken het kustprofiel steiler, waardoor de kans op instabiliteit toeneemt.

Tabel 8.2: Karakteristieken van verschillende typen suppleties (STOWA (2020), aangepast).

Type suppletie	Duin	Strand	Onderwater	Zandmotor (Mega)
Volume (per strekkende meter kust)	~200 m ³ /m'	~200 m ³ /m'	200 – 500 m ³ / m'	>2000 m ³ /m'
Effect op sterkte	Sterk momentaan effect	Toename op korte termijn	Toename op lange termijn, strand/ duin groeien met zeespiegelstijging	Toename op korte/ lange termijn
Effect op belasting waterkering	Geen	Momentane afname	Beperkte momentane afname	Momentane afname
Effect op strand	Smaller	Onnatuurlijk	Natuurlijk	Natuurlijk
Kustprofiel	Steiler	Iets steiler	Stabiliteit helling gewaarborgd	Stabiliteit helling gewaarborgd

Het Rijk stelt de regels op voor het uitvoeren van de veiligheidsbeoordeling op en stelt leidraden beschikbaar voor het ontwerp en het beheer van primaire keringen. Deze regels zijn beschikbaar in het Beoordelings- en ontwerpinstrumentarium (BOI). Het instrumentarium bestaat uit handleidingen, technische leidraden, software-applicaties en databases. Deze instrumenten worden gebruikt om de overstromingskans van een dijktraject te bepalen.

In de Handleiding Overstromingskansanalyse Zandige waterkeringen zijn rekenregels terug te vinden om bijvoorbeeld de impact van een breder profiel op de duinerosie te berekenen. De rekenregels zijn ook verwerkt in de applicaties die onderdeel uitmaken van het BOI (zoals XBeach voor het berekenen van afslag van duinen en zandige voorlanden), zodat deze gebruikt kunnen worden om de kans van optreden van bepaalde faalmechanismen te berekenen. De actuele documenten van het instrumentarium zijn terug te vinden op het BOI-portaal.

8.3 Bijdrage aan Natuurdoelen

Grootschalige zandsuppleties, zoals de zandmotor, kunnen naast een positief effect aquatische doelen, ook een positieve bijdrage leveren aan natuurwaarden in de duinen, door morfologische processen. Hoewel dit een indirect effect is, kunnen deze wel van dien omvang zijn dat ze fors bijdragen aan het behoud, herstel of uitbreiding van natuurtypen, door de natuurlijke geomorfologische dynamiek en habitatheterogeniteit in duingebieden te bevorderen. Daarom zijn deze positieve effecten in onderstaande tabel wel opgenomen.

Tabel 8.3: Natuurwinst bij suppleties (zandmotor)

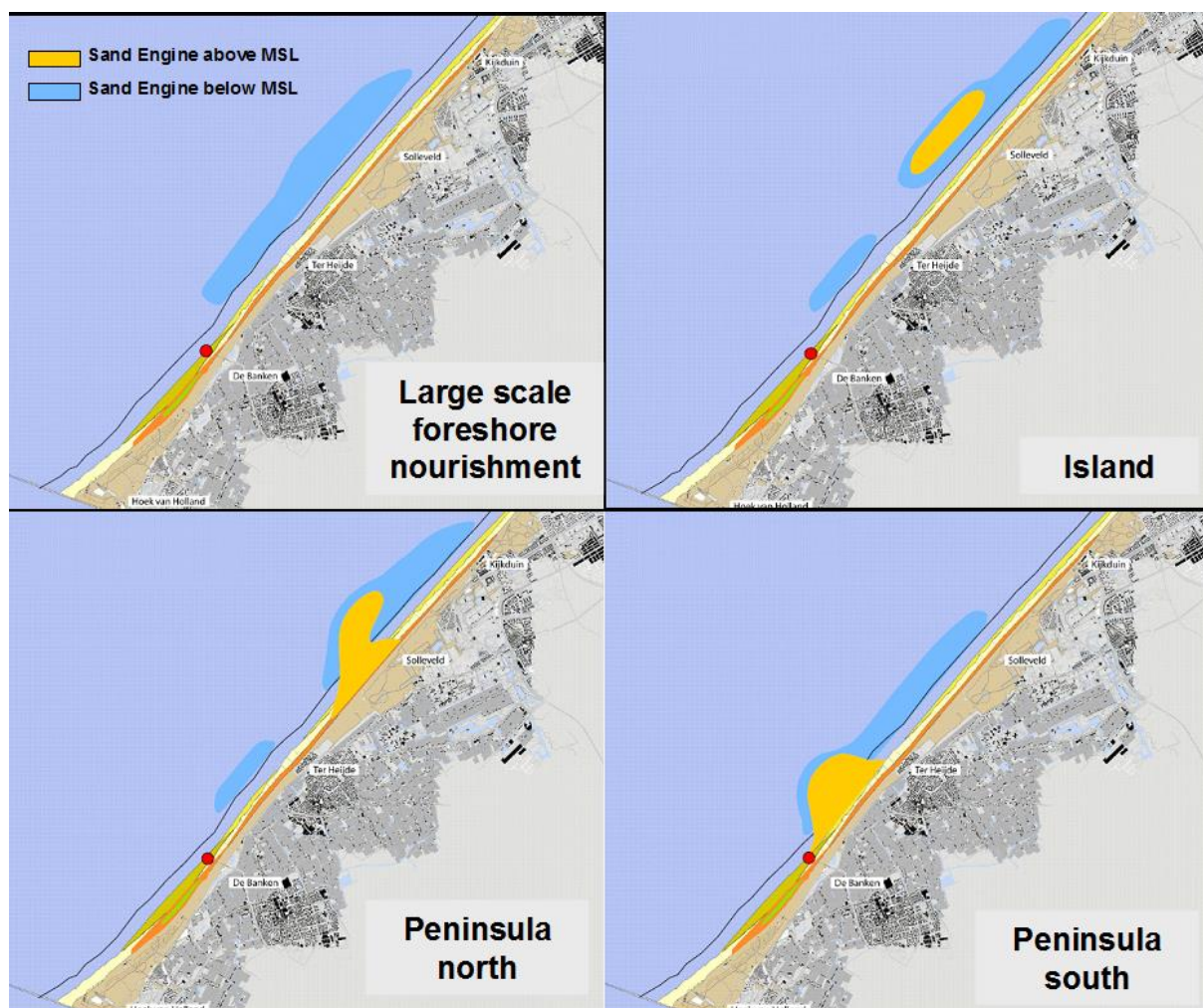
	Draagt het concept mogelijk bij aan natuurdoelen?	Hoe draagt het mogelijk bij aan natuurdoelen?
	- = negatief effect 0 = geen effect + = positief effect	
Natura 2000-gebieden	+	H1110B – Permanent overstroomde zandbanken H1140A – Slik- en zandplaten H1310A, B – Zilte pionierbegroeiing H1330A, B – Schorren en zilte graslanden H2110 – Embryonale duinen H2120 – Witte duinen H2130 – Grijze duinen Vele aangewezen Broedvogels en Niet-broedvogels
Natuurnetwerk Nederland	+	N01.01 Zee en Wad N01.02 Duin- en kwelderlandsschap
Beschermde soorten	0	n.v.t.
Kaderrichtlijn water	0/+	Macrofauna en overige waterflora
Bossenstrategie	0	n.v.t.

Zandsuppleties zorgen ervoor dat het bestaande bodemleven wordt verstoord, zowel op de winlocatie als de suppletielocatie. Na het aanbrengen van een suppletie gaat er enige tijd overheen voordat het bodemleven zich kan herstellen. Bij een megasuppletie is het interval tussen suppleties groter, waardoor het bodemleven gedurende langere tijd

8.4 Ontwerp, aanleg & Beheer

De haalbaarheid en het ontwerp van een grote suppletie voor kustontwikkeling worden in de navolgende stappen verkend.

Eerst kan de haalbaarheid van een geconcentreerde suppletie voor kustontwikkeling beoordeeld worden met behulp van eenvoudige rekenregels. Vervolgens wordt een voorlopig ontwerp van de geconcentreerde suppletie bepaald met behulp van eenvoudige (interactieve ontwerp) tools inclusief parametrisatie. Voor een geschikte detaillering en een geometrisch ontwerp zijn meer geavanceerde tools (zoals op geomorfologische processen gebaseerde modellen) beschikbaar om toe te passen.



Figuur 8.3: Verschillende ontwerpopties voor een zandmotor

In 2011 is de Zandmotor voor de kust van Kijkduin aangelegd. Voor het optimale ontwerp en de juiste inschatting van het verwachte en benodigde beheer is een goede morfologische modellering nodig. Het project Zandmotor is uitgebreid gemonitord en geëvalueerd (o.a. , 2021). In het ontwerp van de Zandmotor bij Kijkduin is een lagune en duinmeer opgenomen, dit zorgt ervoor dat zand hier ook deels suppleert, waardoor de duingroei, zeker bij aanvang, wat later ligt. Zand wordt langs de kust hoofdzakelijk ingevangen in de eerste duinenrij, waarbij de mate van begroeiing van de eerste duinenrij veel invloed heeft op de mate van invang in het achterliggende gebied. Versterking van een breder duingebied kan extra gestimuleerd worden door de Zandmotor maatregel dan te combineren met het verwijderen van begroeiing of maken van openingen in de bestaande eerste duinenrij langs de kust. Het aangevoerde extra zand kan dan inwaaien in een breder gebied.

Het aanleggen van de Zandmotor heeft in potentie een invloed op het grondwater in het achterliggende duingebied. Het niveau hiervan zou kunnen stijgen, omdat het water minder snel kan afvloeien naar de zee. Omdat dit specifiek bij Kuikduin onwenselijk was, is er extra drainage aangelegd in de bestaande duinen. In veel gevallen kan een verhoging van de grondwaterstand in de bestaande duinen ook een positief effect hebben, dit dient locatie specifiek te worden afgewogen.

8.5 Procesaanwijzingen

In Nederland is dit concept op één locatie grootschalig toegepast. Omdat het hier gaat om een grootschalige kustsuppletie in plaats van meer lokale kustsuppleties, hangt dit samen met de algehele versterkingsstrategie van de kust. Vanwege die specifieke context wordt vooral verwezen naar de uitgevoerde evaluaties van het project Zandmotor en de daaruit geleerde lessen voor toekomstige projecten. (link: <https://dezandmotor.nl/>)

8.6 Voorbeelden

[Coastline between Camperduin and Petten \(NL\)](#)

[Coast of Delfland \(Netherlands\)](#)

[Frisian coast of Lake IJsselmeer near the Workumerwaard](#)

[Galveston Beach – USA](#)

[Evaluatie 10 jaar Zandmotor](#)

[Practical applications – EcoShape](#)

[Zandmotor IJsselmeer](#)

[Pilot Houtribdijk](#)

8.7 Referenties

[Achete, F. \(2011\)](#). Morphodynamics of the Ameland Bornrif: An analogue for the Sand Engine. MSc Thesis, TU Delft.

Achete, F. and Luijendijk, A.P. (2012). Morphodynamics of the Ameland Bornrif: An analogue for the Sand Engine, ICCE 2012. Conference proceedings.

Deltares, 2021 Huisman BJA, Wijsman JWM, Arens SM, Vertegaal CTM, Van Der Valk L, Van Donk SC, Vreugdenhil HSI & Taal MD. (2021). Evaluatie van 10 jaar Zandmotor Bevindingen uit het Monitoring- en Evaluatie Programma (MEP) voor de periode 2011 tot 2021. 11201431-003-ZKS-0010 Huisman BJA, Wijsman JWM, Arens SM, Vertegaal CTM, Van Der Valk L, Van Donk SC, Vreugdenhil HSI & Taal MD. (2021).

[Huisman, B. and Luijendijk, A.P. \(2010\)](#). Approach for eco-morphological modelling of mega-nourishments along the Holland coast. Assessment of tools and approach for multi-scale modelling. BwN Report HK4.1.

Huisman, B. and Luijendijk, A.P. (2010). Evaluation of nourishment strategies Holland Coast. BwN Report HK4.1.

STOWA. (20201). Effect van zandsuppleties op de kust en het wad.

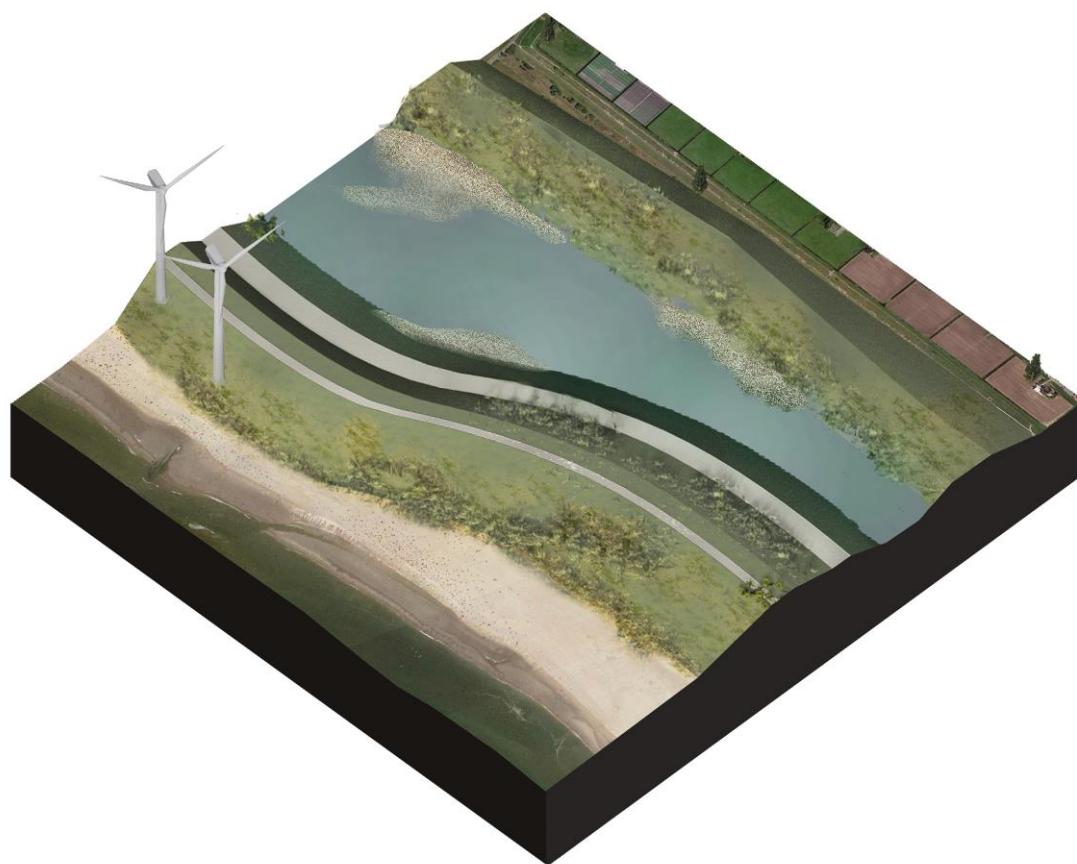
<https://www.stowa.nl/sites/default/files/assets/DELTAFACTS/Deltafacts%20NL%20PDF%20nieuw%20format/Effecten%20van%20zandsuppleties%20op%20de%20kust%20en%20het%20wad%20-%20update%202020-geconverteerd.pdf>

Van Rijn, L. (1998). Principles of Coastal Morphology. Aqua publications.

9 Dubbele dijken

Tabel 9.1: Doorzoekbaarheidstabel Dubbele dijken

Categorie	Verlagen waterstand en/of golfbelasting, Vergroten sterkte dijk
Locatie	Rivier/ kust
Dijkversterking projectfase	Initiatief, Verkenning



Figuur 9.1: Dubbele dijken © One Architecture, Ecoshape

9.1 Beschrijving

Een dubbele dijk is een oplossing waarbij een tweede dijk wordt aangelegd parallel aan de bestaande dijk. Dankzij de aanwezigheid van een secundaire dijk kan de primaire dijk voldoen aan lagere normeringen, wat kosten en ingrepen kan verminderen. Een dubbele dijk kan samengaan met het concept van een wisselpolder, waarbij de wisselpolder tijdelijk met het waterlichaam wordt verbonden. Hierdoor kan de wisselpolder door natuurlijke processen ophogen en fungeren als voorland, eventueel begroeid (zie concept *Begroeide Voorlanden*) of ingezet als kwelder (zie concept *Kwelders*). Na opslibbing wordt de wisselpolder weer afgesloten en geschikt gemaakt voor agrarisch gebruik. Vanuit een natuurspectief biedt de dubbele dijk, vergelijkbaar met een waterbuffer, mogelijkheden voor het creëren van nieuwe habitats voor flora en fauna en verbeteren van de waterkwaliteit. Bij kustgebieden is er ook de mogelijkheid om kwelders tussen de dijken in te passen, wat extra ecologische waarde toevoegt. Langs kustgebieden is het ook mogelijk om in het tussenliggende gebied aquacultuurlandbouw toe te passen.



Figuur 9.2: Dubbele Dijken (Ecoshape website)

Vijf verschillende typen dubbele dijksystemen kunnen worden onderscheiden (Marijnissen et al., 2021):

- 1 de kering aan de waterzijde is de sterkste kering;
- 2 beide keringen zijn even sterk;
- 3 de kering aan de landzijde is de sterkste kering;
- 4 de kering aan de waterzijde bestaat uit lage dijk/dammen/golfbrekers op het voorland;
- 5 de kering aan de waterzijde heeft een opening.

Table 1. A classification for different double dike configurations based on the probability of a flood (P_f) for each dike in the absence of the other.

Type	Image	Criterion
I		$P_{f,1} < P_{f,2}$
II		$P_{f,1} \approx P_{f,2}$
III		$P_{f,1} > P_{f,2}$
IV		$P_{f,1} \gg P_{f,2}$
V		$P_{f,1} = 1$

Figuur 9.3: Configuraties dubbele dijken (bron: Marijnissen et al., 2021)

9.2 Waterveiligheid

In situaties waarin kwelders (zie concept Kwelders) niet stabiel kunnen blijven bestaan, kan de kustveiligheid worden vergroot door tussen twee dijken kwelders te laten ontstaan. Dit vereist dat er een tweede, meer landwaartse dijk aanwezig is en dat de zeewaartse (huidige) primaire dijk wordt geopend om getijdewerking in het gebied tussen de dijken toe te laten (Van Belzen et al., 2021).

Voor een toegevoegde waarde voor waterveiligheid van een dubbele dijk ten opzichte van een enkele dijk zijn één of meerdere aspecten benodigd (ENW, 2022):

- 1 een relatief sterke achterliggende kering, of
- 2 een relatief grotere bufferwerking van het tussengebied ten opzichte van de omvang van een overstroming, of een relatief sterke golf dempende werking van het tussengebied.

Elk van type kering uit Marijnissen et al. (2021) reageert anders op een hoogwatersituatie. Wanneer een tweede verdediging wordt gebouwd ter ondersteuning van een bestaande verdediging, verschilt de functie ervan tussen rivier- en kustomgevingen;

- langs *kustlijnen* is het doel van een extra dijk over het algemeen om overstromingen door hoge (storm)golven te verminderen of te mitigeren. Dit kan worden bereikt door de eerste dijk te laten fungeren als een golfbreker in een type III-systeem (Mai et al., 1999). Wanneer de eerste dijk significant lager is dan de dijk aan de landzijde, kan het golfbrekende effect verminderen vanwege de grotere waterdiepte. Als alternatief kan overtollig water worden opgevangen in de wisselpolder en schade in het achterland voorkomen in een type I of II systeem (Pasche et al., 2008);
- langs *rivieren* heeft een voldoende hoge tweede dijk tot doel de (piek) rivierafvoer en de bijbehorende overstromingswaterstanden te verminderen door extra ruimte te bieden (Ruimte voor de Rivier) in een type I, II of III systeem (Bornschein en Pohl, 2018; zie concept *Rivierverruiming*). De wisselpolder wordt (direct of via een constructie) overstroomd tijdens de piek van de afvoer, waardoor de piekafvoer en het waterniveau stroomafwaarts worden verminderd (Smolders et al., 2020; Lammersen et al., 2002). De laatste twee typen fungeren met name als retentie tijdens droge zomers, maar zorgen ook voor golf- en waterstand verlagende effecten in het systeem (Marijnissen et al., 2021; Kiesel et al., 2020).

Bij een doorbraak van de voorliggende kering zal door de aanwezigheid van de achterliggende kering het verval over de voorliggende kering mogelijk kleiner zijn, wat invloed kan hebben op de afmetingen van de bres. Daarnaast kan een hoog opgeslibt tussendijks gebied fungeren als een stabiel en hooggelegen voorland, wat zorgt voor een lagere instroom van water en minder slachtoffers in het geval van een dijkdoorbraak (Zhu et al., 2020; Van Belzen et al., 2021). De voorliggende dijk en de wisselpolder hebben ook een reducerende golfwerking op de achterliggende kering. Dit heeft een positief effect op de waterveiligheid van de achterliggende kering. Ook bij andere faalmechanismen, zoals macrostabiliteit (bijvoorbeeld eventuele zettingsvloeiing door geulen voor de dijk), kan de dubbele dijk van toegevoegde waarde zijn (ENW, 2022). Het effect van dubbele dijken in kustgebieden is gelimiteerd in vergelijking met hetzelfde type systeem (uit afbeelding 9.2) langs rivieren (Marijnissen et al., 2021).

In HKV (2023) is onderzocht hoe een dubbele-dijk-systeem in een estuarien systeem presteert ten opzichte van een traditionele enkele dijk, rekening houdend met de fysische werking van waterstanden en golven bij beide dijken en de verschillen in bresgroei en overstromingsgevolgen. Uit de analyse volgt dat een enkele dijk goedkoper is op korte en lange termijn bij een vergelijking in termen van overstromingskans. Als ook de gevolgen van een overstroming worden meegenomen in termen van overstromingsrisico, komen beide concepten kostentechnisch dicht bij elkaar. Naast de directe kosten zijn er ook indirecte kosten en baten gerelateerd aan gewijzigd landgebruik. In lopende onderzoeksprojecten als 'DeltaWealth' wordt het concept van de dubbele dijk verder uitgewerkt en onderzocht.

Het Waterschap Noorderzijlvest heeft in 2021 een generieke methode ontwikkeld om het systeem van een dubbele dijk te beoordelen. In de methodiek wordt vanuit de norm op trajectniveau een faalkanseis per gebeurtenissenboom bepaald. De faalkanseisen zijn van toepassing op de combinatie van de voorliggende kering en de achterliggende kering (ENW, 2022). De uitwerking van deze methode voor de dubbele dijk tussen de Eemshaven en Delfzijl is echter niet generiek toepasbaar: door het gekozen ontwerp van deze dubbele dijk zijn meerdere faalmechanismen niet relevant en zijn dus (terecht) niet in de analyse meegenomen. In een generieke filosofie moeten deze (piping, erosie, stabiliteit) wel worden meegenomen.

9.3 Bijdrage aan Natuurdoelen

Dit concept kan worden toegepast op zowel kustbescherming als binnenlandse wateren. Daarnaast is voor de beschrijving aan bijdragen aan natuurdoelen, vooral van belang op welke wijze het tussenliggend gebied wordt ingericht. In de beschrijving is opgenomen dat bij kustgebieden het gebied kan worden ingericht als natuur, of dat er mogelijk sprake is van aquacultuur. Voor binnenlandse wateren er zijn verschillende opties, zoals het creëren van graslanden, bossen of moerasgebieden. Hier is een parallel te trekken met de maatregel Waterberging, waarin water tijdelijk wordt opgeslagen om overstromingen te voorkomen. Er is geen afbakening van watertype en het landgebruik bij de dubbele dijk. Daarnaast is het gevoerde peilbeheer in de de dubbele dijk essentieel voor welke natuurwinst mogelijk is. De natuurwinst is voor deze maatregel niet te kwantificeren vanwege de vele mogelijkheden; bijvoorbeeld, het creëren van een moerasgebied kan leiden tot een toename van watervogels, terwijl een grasland kan de insectenbiodiversiteit verhogen. Er zijn tal van mogelijkheden. Onderstaande tabel is dan ook ter beeldvorming waar mogelijke inrichtingen aan bij kunnen dragen.

Tabel 9.2: Natuurwinst bij dubbele dijken in het binnenland

	Draagt het concept mogelijk bij aan natuurdoelen? - = negatief effect 0 = geen effect + = positief effect	Hoe draagt het mogelijk bij aan natuurdoelen?
Natura 2000-gebieden	0	n.v.t.
Natuurnetwerk Nederland	+	N01.03 Rivier- en moeraslandschap N05.04 Dynamisch Moeras N11.01 Droog schraalgrasland N12.01 Bloemdijk N12.02 Kruiden- en faunairijk grasland N12.03 Glanshaverhooiland N12.06 Ruigteveld N13.01 Vochtig weidevogelgrasland N13.02 Wintergastenweide N14.01 Rivier- en beekbegeleidend bos N15.02 Dennen-, eiken- en beukenbos N16.03 Droog bos met productie N16.04 Vochtig bos met productie
Beschermde soorten	+	O.a. vogels met jaarrond beschermde nesten, amfibieën, vleermuizen.
Kaderrichtlijn water	+	Macrofauna, macrofyten en vissen
Bossenstrategie	+	Bijdrage aan de ambitie dat er in 2030 10% (407.000 ha) meer bos in Nederland moet zijn

Tabel 9.3: Natuurwinst bij dubbele dijken in kustgebieden

	Draagt het concept mogelijk bij aan natuurdoelen? - = negatief effect 0 = geen effect + = positief effect	Hoe draagt het mogelijk bij aan natuurdoelen?
Natura 2000-gebieden	+	H1140A – Slik- en zandplaten H1310A, B – Zilte pionierbegroeiing H1320 – Slijkgrasvelden H1330A, B – Schorren en zilte graslanden Vele aangewezen Broedvogels en Niet-broedvogels
Natuurnetwerk Nederland	+	N09.01 Schor of kwelder
Beschermde soorten	+	O.a. velduil en vleermuizen
Kaderrichtlijn water	+	Macrofauna en overige waterflora
Bossenstrategie	0	n.v.t.

9.4 Ontwerp, aanleg & Beheer

De mate van verbinding met het grote watersysteem heeft invloed op de benodigde dimensies van beide keringen en de getijdendynamiek tussen de dijken. Indien gewerkt wordt met een inlaat in de 1^e waterkering, kan de benodigde constructie geoptimaliseerd worden door rekening te houden met het bergend vermogen en de hoogte van de waterkering van het achterliggend gebied. De eisen aan de inlaat als waterkerend kunstwerk kunnen dan lager zijn, omdat er nog “mobilisatietijd” is voor de beheerder voor noodmaatregelen, op moment de sluiting faalt. Aandachtspunt is dat bij een wens voor veel getijdendynamiek en snelle opslibbing, de opening groter moet zijn. Het omgekeerde effect hiervan is dat de ontwerpeisen aan de landinwaartse kering dan zwaarder zullen worden.

Het heeft over het algemeen de voorkeur om een duidelijke keuze te maken t.a.v. positionering van de primaire waterkering, handhaven van de bestaande locatie of

verplaatsen naar de nieuwe locatie aan de landzijde. Indien enigszins mogelijk dienen namelijk dubbele investeringskosten voorkomen te worden, twee vrijwel gelijkwaardige keringen kosten nu eenmaal meer aan aanlegkosten en beheerkosten dan één kering, omdat de totale lengte groter is.

Bij een positionering van de primaire waterkering aan de zeezijde, kan bij toepassing van een dubbel dijksysteem meer overslag worden toegestaan en kunnen de veiligheidseisen aan waterkerende kunstwerken lager zijn. De faalkans van de waterkering aan de zeezijde blijft bepalend voor de faalkans van het systeem. In de totale overstromingskansanalyse moet worden meegenomen dat het inlaatmiddel een bijdrage levert aan de faalkans van de primaire waterkering (HKV, 2023). Bij een klein inlaatmiddel zal het binnendijkse gebied in veel gevallen een gedempte getijdedynamiek kennen, maar al te zware dimensioneringseisen aan de binnendijkse waterkering en het inlaatwerk worden voorkomen. Het is aan te raden eerst het binnendijs systeem aan te leggen of te versterken, voordat de inlaat in de primaire waterkering wordt gerealiseerd.

Bij positionering van de primaire waterkering aan de landzijde, kan het ontstane tussendijkse gebied meegenomen worden in de golf- en waterstandsberekeningen, mits een bepaalde mate van standzekerheid van de voorliggende kering kan worden aangetoond. De voorliggende kering kan dan beschouwd worden als een stabiele voorlandconstructie. Op moment dat de voormalige waterkering wordt gebruikt, functioneert deze feitelijk als een soort (groot gedimensioneerde) vooroeverdam. Er kan in het tussenliggende gebied dan vaak een veel grotere getijdedynamiek worden toegestaan. De meest binnendijkse kering wordt dan de (nieuwe) primaire waterkering. Voor een eventueel effect van het tussendijkse gebied op golven is de golfhoogte/waterdiepte-verhouding van belang. In het tussendijkse gebied zijn golven veelal klein door de beperkte strijklengte. Als de waterdiepte boven de bodem en de vegetatie groot is, heeft het tussendijkse gebied geen invloed op deze golven (HKV, 2023). Bijvoorbeeld wilgen vormen hierop een mogelijke uitzondering.

Een alternatieve benadering is om het tussendijkse gebied en de achterliggende waterkering mee te nemen in het gevolgenspoor van de overstromingsrisicobenadering. Bij een doorbraak van de voorliggende waterkering zal de overstroming minder omvangrijk zijn en minder snel tot ontwikkeling komen. Deze positieve effecten komen bij dijkversterkingsprojecten financieel pas tot uiting als ze verwerkt mogen worden in de waterveiligheidsnorm van het dijktraject, die is geformuleerd in termen van een maximaal toelaatbare overstromingskans (HKV, 2023).

Het is raadzaam goede afspraken vast te leggen ten aanzien van het beheer van de oude waterkering als vooroeverdam, of ten aanzien van de 2e waterkering als secundaire kering. Indien wenselijk kan de vooroeverdam of 2e kering in de waterkering legger worden opgenomen. Instandhouding, beheer en onderhoud is immers relevant voor de hoofdkering. Het beheer kan, afhankelijk van het accent en benodigde inzet ook door andere partijen worden uitgevoerd dan de waterkering beheerder. Dit geldt ook voor het (natuur)beheer en gebruik van het nieuwe tussenliggende gebied.

9.5 Procesaanwijzingen

Versterkingsopgaven worden in Nederland gerealiseerd met de MIRT systematiek (<https://leerplatformmirt.nl/mirt/handreikingen/handreiking-mirt-mer/>), veelal onder het Hoogwaterbeschermingsprogramma <https://roadmapduurzaamhwbp.nl/>, waarin verschillende projectfasen worden onderscheiden; initiatief, verkenning, planuitwerking en realisatie (inclusief aanbesteding). Los van een versterkingsopgave geldt de zorgplicht waterkeringen, als continu proces, geborgd door bij de waterkeringsbeheerders (Rijkswaterstaat en de waterschappen).

De Roadmap Duurzaamheid HWBP (<https://roadmapduurzaamhwbp.nl/>) is een stappenplan om in aansluiting op de genoemde projectfasering van initiatief- tot en met realisatiefase te komen tot duurzame, goed ingepaste dijkversterkingen met ruimtelijke kwaliteit.

Binnen dit stappenplan en de Roadmap Duurzaamheid geldt dat hoe eerder een NBS betrokken wordt bij de versterkingsopgave, hoe groter de kans op werkelijke realisatie van een NBS. In de beginfase is het daarom belangrijk de duurzaamheidsambities, waar een NBS onderdeel van kan zijn, breed te verkennen. Dit vanuit meerdere opgaven en niet enkel vanuit de waterveiligheidsopgave of verbeteropgave van de waterkering.

Tabel 9.4: Procesaanwijzingen per projectfase

NBS aanleg dubbele dijk i.r.t. MIRT fasering en roadmap duurzaamheid HWBP

Initiatief	Verkenning	Planuitwerking	Aanbesteding	Realisatie
Betrekken bij projectopdracht * Breng de diverse opgaven in beeld, stem de programmering van het dijkproject af met andere relevante medeoverheden of stakeholders en verken gezamenlijk de mogelijkheden. Focus op de kansen van combinatie van opgaven en inventariseer de gewenste omgang met projectrisico's en dilemma's. * verken mogelijke nevenbaten van een dubbel dijk systeem, bijvoorbeeld agrarisch medegebruik en/of recreatie. * verken bijdrage duurzaamheid voor ten minste de mogelijke winst op de thema's circulariteit, ruimtelijke kwaliteit en biodiversiteit/ecologie. * Maak voor- en nadelen inzichtelijk en leg dit vast, bijvoorbeeld met een startnotitie en samenwerkingsovereenkomst. *Stem projectorganisatie en kostenverdeling af op de opgave; aanleg dubbele dijken vraagt ook in de voorbereiding een investering.	Varianten dijkversterking en NBS hangen met elkaar samen * Verken ontwerpvarianten die voldoen aan de projectopdracht. Als aanleg dubbele dijken onderdeel is van de opdracht, zijn de ontwerpvarianten dat ook. * Verken eventueel de NBS als "omgevingsvariant" of alternatief voor traditionele dijkversterking. * maak de winst op ten minste de thema's circulariteit, ruimtelijke kwaliteit en biodiversiteit /ecologie inzichtelijk en betrek dit bij de afweging van alternatieven. Doe hetzelfde voor andere nevenbaten. * Maak voor beslissers inzichtelijk hoe de NBS bijdraagt aan de doelstellingen van het project. * Verken of NBS kan bijdragen aan duurzaamheidsdoelstellingen in algemene zin (bijv. biodiversiteit) * Verken de mogelijkheden en business case van het vermijden van investeringen door bijvoorbeeld de eerste dijk of de tweede dijk een lagere veiligheidsnorm te geven (bijv. 1/200 storm).	Uitwerking ontwerp en bepalen effecten *Werk bij voorkeur met een gecombineerde uitvoering en een gecombineerd planproces, zodat er sprake is van synergie tussen NBS en dijkversterking. * maak de winst op ten minste de thema's circulariteit, ruimtelijke kwaliteit en biodiversiteit inzichtelijk en betrek dit bij de uitwerking van referentieontwerp en plannen. Doe hetzelfde voor andere nevenbaten. * Maak voor beslissers inzichtelijk hoe de NBS bijdraagt aan de doelstellingen van het project. * Verken of NBS kan bijdragen aan duurzaamheidsdoelstellingen in algemene zin (bijv. biodiversiteit) * Bepaal effecten van het VKA, waarbij de meerwaarde van het de NBS ook terugkomt in de planproducten (projectbesluit, MER, etc.). Werk het ontwerp hiervoor voldoende uit.	Combineren van uitvoering * Bepaal de keuze van de contractvorm mede op basis van het benutten van de synergie tussen aanleg dubbele dijken en dijkversterking. Bijv. door ruimte te geven aan het optimaliseren van grondstromen. Leg de eisen voor NBS zodanig vast dat ook in de realisatiefase de meerwaarde van de NBS wordt gewaarborgd in zowel uitvoering als beheer.	Combineren van uitvoering *Toets en bewaak de projectdoelen. Zorg voor voldoende waarborgen in de uitvoeringsfase, zodat de beoogde effecten van de NBS worden gerealiseerd. Dit kan bijvoorbeeld door het vragen van tussentijdse rapportages en veldinspecties. Zorg voor een goed ontwikkelings- en instandhoudingsplan voor duurzaam beheer, maak afspraken tussen de verschillende beheerders.

9.6 Voorbeelden

[Coastal Laboratory – Southwest Delta, Netherlands](#)

[ComCoast: Combining functions in Coastal Defence Zones](#)

[Nederland, Perkpolder](#)

[Wallasea, UK](#)

[Dubbele Dijk - Eems-Dollard](#)

[Polder Breebaart](#)

[Waterdunen](#)

9.7 Referenties

Blom, J. (2007). [Robuuste dijken in de Oosterschelde, ondanks de zandhonger](#). Een verkenning van alternatieven voor klasieke versterking., Royal Haskoning iov Rijkswaterstaat.

Bornschein, A., & Pohl, R. (2018). Land use influence on flood routing and retention from the viewpoint of hydromechanics. *Journal of Flood Risk Management*, 11(1), 6-14.

De Mesel, I., Ysebaert, T., Kamermans, P. (2013), Klimaatbestendige dijken: het concept wisselpolders. IMARES Wageningen UR C072/13. (in Dutch)

Expertisenetwerk Waterveiligheid (ENW)., (2022). Advies Veiligheidsfilosofie dubbele dijk. Advies nummer 22-06 van 8 augustus 2022.

Goosen, H. (1999). Toward a saline alternative; using halophytes for sustainable agriculture. Amsterdam, Institute for Environmental Studies, Vrije Universiteit Amsterdam.

HKV (2023). Dynamische kustlandschappen; waterveiligheidsaspecten. HKV-rapport pr4674.10, Vincent Vuik en Joost Pol, december 2023.

Hoekstra, J. R., A. Kool, et al. (2005). [De kweek van zagers op landbouwbedrijven in Zeeland](#), Innovatie Netwerk.

Jim van Belzen, Gerlof Rienstra, & Tjeerd Bouma Van Belzen et al., (2021) Dubbele dijken als robuuste waterkerende landschappen voor een welvarende Zuidwestelijke Delta. NIOZ Report 2021-01

Kiesel, J., Schuerch, M., Christie, E. K., Möller, I., Spencer, T., & Vafeidis, A. T. (2020). Effective design of managed realignment schemes can reduce coastal flood risks. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 242, 106844.

Lammersen, R., Engel, H., Van de Langemheen, W., & Buiteveld, H. (2002). Impact of river training and retention measures on flood peaks along the Rhine. *Journal of Hydrology*, 267(1-2), 115-124.

Lobban, C. S. and M. J. Wyne (1981). the Biology of seaweed.

Mai, S. T. E. P. H. A. N., von Lieberman, N. I. C. O. L. E., & Zimmermann, C. L. A. U. S. (1999, August). Interaction of foreland structures with waves. In XXVIII IAHR congress, Graz.

Morselt, T. and B. Gersonius (2010). Flexibele maatregelen in het waterbeheer zijn economisch aantrekkelijker. Hoe kunnen de juiste investeringsbeslissingen genomen worden onder onzekerheid? De economische waarde van flexibel en adaptief waterbeheer., Blueconomy.

Pasche, E., Ujeyl, G., Goltermann, D., Meng, J., Nehlsen, E., & Wilke, M. (2008). Cascading flood compartments with adaptive response. WIT Transactions on Ecology and the Environment, 118, 303-312.

Richard J.C. Marijnissen, Matthijs Kok, Carolien Kroeze, Jantsje M. van Loon-Steensma. (2021). Flood risk reduction by parallel flood defences – Case-study of a coastal multifunctional flood protection zone, Coastal Engineering, Volume 167, 2021, 1039032021, 103903, ISSN 0378-3839, <https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2021.103903>.

Ruijgrok, E. C. M., A. J. Smale, et al. (2006). [Kentallen waardering Natuur, Water, Bodem en Landschap, Hulpmiddel bij MKBA](#). Den Haag, Ministerie van LNV.

Smolders, S., João Teles, M., Leroy, A., Maximova, T., Meire, P., & Temmerman, S. (2020). Modeling storm surge attenuation by an integrated nature-based and engineered flood defense system in the Scheldt Estuary (Belgium). Journal of Marine Science and Engineering, 8(1), 27.

Temmerman, S., Meire, P., Bouma, T. J., Herman, P. M., Ysebaert, T., & De Vriend, H. J. (2013). Ecosystem-based coastal defence in the face of global change. Nature, 504(7478), 79-83.

Van de Voort, M. P. J., A. J. G. Dekking, et al. (2005). [Scenario studie Zuidwestelijke Delta IV-V: Perspectieven alternatieve bedrijfstypen](#), Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, Wageningen UR*: 54.

Van der Hiele, T., Heringa, J., et al. (2008), [Mogelijkheden voor zilte teelten in Waterdunen, haalbaarheidsstudie](#), Spring, centrum voor duurzaamheid: 53.

Vuik, V., Jonkman, S. N., Borsje, B. W., & Suzuki, T. (2016). Nature-based flood protection: The efficiency of vegetated foreshores for reducing wave loads on coastal dikes. Coastal engineering, 116, 42-56.

Witteveen + Bos (2007). [Sociale, Economische en Ecologische Evaluatie polder Breebaart](#), Economische Evaluatie.

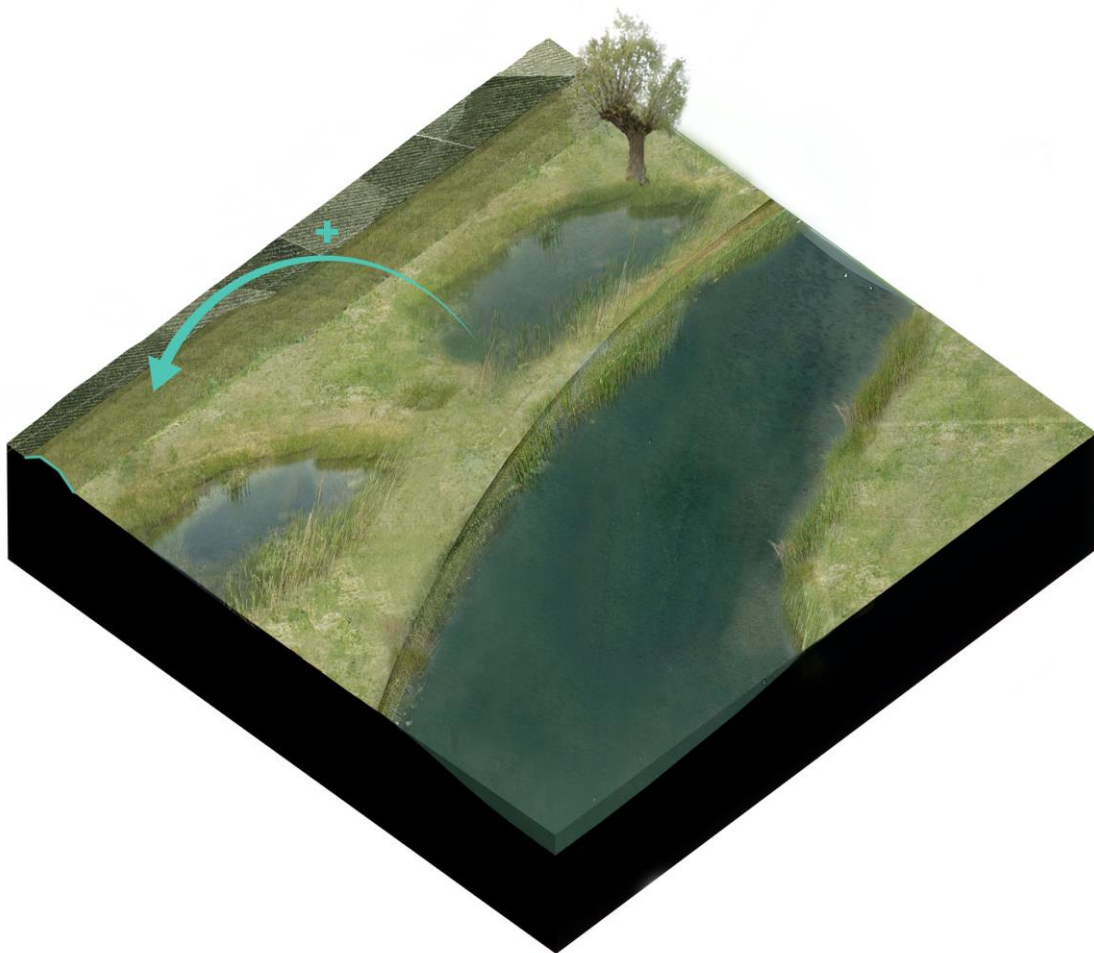
Xin, C. J. (1989). [Gracilaria cultuur in China](#), Network of Aquaculture Centres in Asia*: 18.

Zhu, Z., Vuik, V., Visser, P.J., Soens, T., van Wesenbeeck, B., van de Koppel, J., Jonkman, S.N., Temmerman, S. & Bouma, T.J., (2020). Historic storms and the hidden value of coastal wetlands for nature-based flood defence. Nature Sustainability, 3(10), 853-862.

10 Toepassing gebiedseigen grond

Tabel 10.1: Doorzoekbaarheidstabel Toepassing gebiedseigen grond

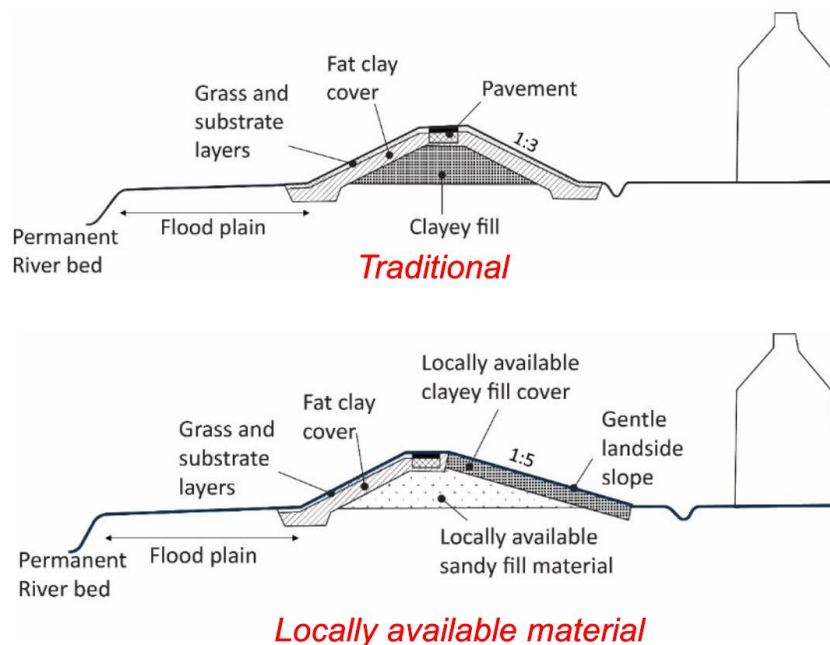
Categorie	Vergroten sterkte dijk
Locatie	Rivier, kust, meer, delta
Dijkversterking projectfase	Initiatief, Verkenning, Planuitwerking, Aanbesteding



Figuur 10.1: Toepassing gebiedseigen grond © One Architecture, Ecoshape

10.1 Beschrijving

Toepassing van gebiedseigen grond zorgt ervoor dat vegetatieontwikkeling op dijken beter zal aansluiten bij de lokale biodiversiteit. Een voorbeeld hiervan zijn kalkrijke rivierdijken (met kenmerkende vegetaties) of de zanddijken langs de Overijsselse Vecht. Daarnaast kan toepassing leiden tot minder (klei)winning elders, lagere investeringskosten en daarmee samenhangend een positieve business case voor combinatie met andere maatregelen, zoals de NBS dijkversterking in combinatie met rivierverruiming. Deze methode biedt diverse voordelen op zowel ecologisch, economisch als logistiek vlak. Tegelijkertijd is deze oplossing afhankelijk van de lokale grondcondities. Vanwege de afhankelijkheid geldt het een omgekeerd ontwerpprincipe. De toepassing van gebiedseigen grond staat centraal in het ontwerp, de dimensionering van het dijkontwerp kan hierop worden aangepast. Indien toepassing van gebiedseigen grond is verwerkt in de dijkgeometrie (bijvoorbeeld door flauwere taluds) kan dit bijdragen aan een adaptief dijkontwerp, waarbij het dijkontwerp eenvoudig uitbreidbaar is.



Figuur 10.2: Omgekeerd ontwerpen met gebiedseigen grond, de dijkgeometrie is aangepast op de materiaaleigenschappen.

10.2 Waterveiligheid

Het gebruik van gebiedseigen grond op zich heeft geen direct effect op de waterveiligheid. Het effect op waterveiligheid komt voort uit wat uiteindelijk wordt gedaan met de gebiedseigen grond en hoe het gewonnen wordt. In Nederland is het hergebruik van klei voor de dijkenbouw de meeste gebruikte toepassing. In Nederland bouwen we doorgaans met klei die aan de standardeisen voldoet. Bij het ontwerpen van dijken met grond die lokaal beschikbaar komt, dient rekening gehouden te worden met klei die niet volledig aan de standaard eisen voldoet. Bepaalde parameters zijn anders dan de standaardklei, zoals bijvoorbeeld het gehalte aan zout en organische stof. Dat leidt mogelijk tot ander beheer, onderhoud en tot ander gedrag bij belasting door een storm. De verwachting is dat meer

nazorg nodig is ten opzichte van een dijk met klei die aan de standardeisen voldoet. Daar tegenover staat dat de aanleg goedkoper wordt (POV-DGG, 2021).

Indien de gebiedseigen grond volledig voldoet aan de standardeisen zijn er enkel voordelen in de toepassing in een grondgestuurd dijkontwerp. Wanneer niet (volledig) aan de standardeisen wordt voldaan in een grondgestuurd dijkontwerp is het mogelijk om aan te tonen dat het ontwerp wel voldoet, dit kan door (POV-DGG, 2022):

- 1 Nuanceren van de standardeisen door terug te gaan naar functionele eisen. Men kan onderbouwd afwijken van de standardeisen als de afwijkende eigenschap niet relevant of significant is. Of door aan te tonen dat de afwijking tijdens de planperiode van een dijkversterking niet tot problemen leidt. Bepaalde grondeigenschappen kunnen na verloop van tijd verslechteren, wat de kwaliteit van de grond vermindert. Voorbeelden hiervan zijn verminderde erosiebestendigheid en sterkte, en verhoogde doorlatendheid door structuurvorming. Een afwijking is acceptabel als eventuele verslechtering in materiaaleigenschappen door veroudering voldoende beperkt blijft tijdens de planperiode van een dijkversterking.
- 2 Ruimte zoeken in het ontwerp. De praktijk toont aan dat er mogelijkheden zijn voor het toepassen van gebiedseigen grond met afwijkende eigenschappen als er ruimte is in het ontwerp. Dit gaat onder andere over aanpassingen aan de dijkgeometrie, zoals een erosiebufferzone, dikkere kleilaag of een flauw buitentalud (zie NBS *Brede Groene Dijk*). Het toepassen van extra materiaal of een erosiebufferzone op de vooroever (opofferingszone) wordt op verschillende plekken in Nederland toegepast. Voorbeelden zijn het Zwin in Zeeland en langs de Maas bij Dijkversterking Ooijen-Wanssum.
- 3 Opwaarderen van grond tijdens de uitvoering. Door specifieke keuzes in de uitvoeringsmethode worden grondeigenschappen beïnvloed en opgewaardeerd. Relevante grondeigenschappen zijn onder meer het watergehalte, de daaraan gekoppelde consistentie-index, de dichtheid en de verdichtingsgraad. Deze toestandsparameters hebben een duidelijke relatie met constructieve gedragseigenschappen, zoals doorlatendheid, erosiebestendigheid, vormvastheid, sterkte, gewicht, begroeibaarheid, verwekingsgevoeligheid en structuurvorming. Denk bij verschillende uitvoeringsmethodes bijvoorbeeld aan verdichting en rijping (zie NBS *Kleirijperij*) en opslag in depots.
- 4 Aanpassen van het beheer en onderhoud na realisatie. Zoals monitoring van het langetermijngedrag.

10.3 Bijdrage aan Natuurdoelen

De maatregel toepassing gebiedseigen grond kan op twee manieren een positief effect hebben. Enerzijds kan het bijdragen aan het in standhouden en/of uitbreiden van aanwezige bijzondere dijkflora, door de aanwezige zaden en topklaar te hergebruiken. Anderzijds kan lokaal klei gewonnen worden in de uiterwaarde in combinatie met natuurontwikkeling, waarbij de klei toegepast wordt in de dijkversterking. In dit laatste geval kan dit bijdragen aan positieve effecten op aquatische doelen, zoals in het creëren van habitats en de stabilisatie van oevers.

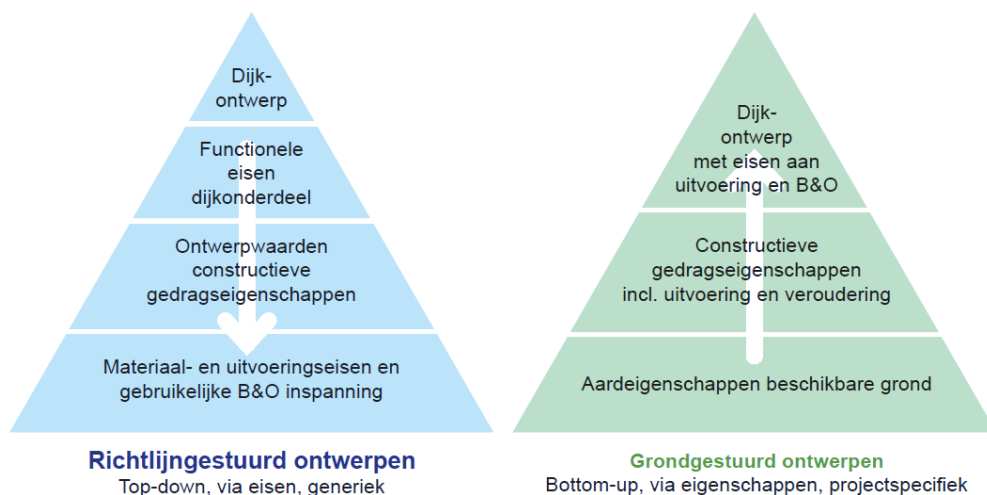
Tabel 10.2: Natuurwinst bij gebiedseigen grond

	Draagt het concept mogelijk bij aan natuurdoelen?	Hoe draagt het mogelijk bij aan natuurdoelen?
	- = negatief effect 0 = geen effect + = positief effect	
Natura 2000-gebieden	+	H6120 – Stroomdalgraslanden H6430 A, B, C – Ruigten en Zomen H6510 A, B – Glanshaver- en vossenstaarthooilanden H9120 – Beuken-eikenbossen met hulst H91E0A, B, C* - Vochtige alluviale bossen H91F0 – Droge hardhoutooibossen Vele aangewezen Broedvogels en Niet-broedvogels
Natuurnetwerk Nederland	+	N01.03 Rivier- en moeraslandschap N05.04 Dynamisch Moeras N11.01 Droog schraalgrasland N12.01 Bloemdijk N12.02 Kruiden- en faunairijk grasland N12.03 Glanshaverhooiland N12.06 Ruigteveld N13.01 Vochtig weidevogelgrasland N13.02 Wintergastenweide
Beschermde soorten	0/+	O.a. diverse roofvogels met jaarrond beschermde nesten vanwege een hogere prooidichtheid op bloemrijke dijken
Kaderrichtlijn water	0/+	Macrofauna, waterplanten en vissen
Bossenstrategie	0	N.v.t.

10.4 Ontwerp, aanleg & Beheer

De POV gebiedseigen grond van het HWBP heeft kennis ontwikkelt en ontsloten, ook ten aanzien van de gewenste aanleg en ten aanzien van beheersaspecten. Dit is goed beschreven in het “Technisch Kader Toepassing Gebiedseigen Grond” van de POV_DGG Gebiedseigen grond. Er is daarbij ook gekeken naar de benodigde materiaaleisen en bestaande materiaaleisen in richtlijnen en normering.

Bij toepassing van gebiedseigen grond geldt idealiter een omgekeerd ontwerpproces, waarbij vanuit de gebiedseigen eigenschappen wordt ontworpen, zie Figuur 10.3. Daarbij wordt op basis van de samenstelling van de grond een uitspraak gedaan over het te verwachten gedrag van dit materiaal. Vervolgens wordt bepaald in welk dijkonderdeel het optimaal kan worden toegepast. Dit kan betekenen dat een ander dijkonderdeel anders wordt ontworpen. Zo komt men tot een integraal dijkontwerp.



Figuur 10.3: Richtlijn gestuurd ontwerpen of functioneel ontwerpen met gebiedseigen grond (bron: Technisch kader POV_DGG, 2022).

Het toepassen van restprofielbenaderingen maakt het mogelijk om klassieke, hoogwaardige materialen met beperkte afmetingen uit te wisselen tegen minder hoogwaardige materialen met grotere dimensies. Vanuit waterveiligheid kan dit een zeer valide onderbouwing zijn, maar vanuit beheer mogelijk onwenselijk. De impact van het toepassen van restprofielbenaderingen op het (dagelijks) beheer en onderhoud van de dijk moet onderzocht worden. In dit onderzoek is afstemming tussen ontwerper en beheerder essentieel. De laatste jaren doen beheerders en onderzoekers steeds meer kennis op over het werkelijk gedrag en schade aan dijken. Het is raadzaam om deze kennis ook bij het formuleren van functionele eisen te betrekken. De juiste informatievoorziening vanuit de techniek naar omgeving, beheerder en toetsers over de consequenties van een ontwerpkeuze zoals restprofielbenadering, is van groot belang om onzekerheden en terughoudendheid weg te nemen (POV-DGG (2022)).

Niet altijd zal een restprofielbenadering nodig zijn. Erosiebestendigheidsprouven (uitgevoerd sinds 2007) laten ook zien dat de sterkte van de grasbekleding zeer relevant is voor de sterkte van de waterkering. Daarnaast heeft de POV Gebiedseigen grond uitgebreid gekeken naar de materiaaleisen, hier is veel informatie van beschikbaar.

Beheer en onderhoud van de grasbekleding zal in de meeste gevallen niet anders zijn dan bij een meer traditionele dijk met van elders aangevoerde grond (zie ook handreiking grasbekleding.nl).

Het toepassen van gebiedseigen grond kan ook een bijdrage leveren aan het in stand houden of versterken van de lokale biodiversiteit (voorbeeld; vegetatie die gebonden is aan kalkrijke rivierklei). Het is daarom als NBS-maatregel extra interessant op moment toepassing van gebiedseigen grond wordt gecombineerd met ontwikkeling van de NBS bloem- en kruidenrijke dijk.

10.5 Procesaanwijzingen

Versterkingsopgaven worden in Nederland gerealiseerd met de MIRT systematiek (<https://leerplatformmirt.nl/mirt/handreikingen/handreiking-mirt-mer/>), veelal onder het

Hoogwaterbeschermingsprogramma <https://roadmapduurzaamhwbp.nl/>, waarin verschillende projectfasen worden onderscheiden; initiatief, verkenning, planuitwerking en realisatie (inclusief aanbesteding). Los van een versterkingsopgave geldt de zorgplicht waterkeringen, als continu proces, geborgd door bij de waterkeringsbeheerders (Rijkswaterstaat en de waterschappen).

De Roadmap Duurzaam HWBP (<https://roadmapduurzaamhwbp.nl/>) is een stappenplan om in aansluiting op de genoemde projectfasering van initiatief- tot en met realisatiefase te komen tot duurzame, goed ingepaste dijkversterkingen met ruimtelijke kwaliteit.

Binnen dit stappenplan en de roadmap duurzaamheid geldt dat hoe eerder een NBS betrokken wordt bij de versterkingsopgave, hoe groter de kans op werkelijke realisatie van een NBS. In de beginfase is het daarom belangrijk de duurzaamheidsambities, waar een NBS onderdeel van kan zijn, breed te verkennen. Dit vanuit meerdere opgaven en niet enkel vanuit de waterveiligheidsopgave of verbeteropgave van de waterkering.

Tabel 10.3: Procesaanwijzingen per projectfase

NBS gebiedseigen grond i.r.t. MIRT fasering en roadmap duurzaamheid HWBP

Initiatief	Verkenning	Planuitwerking	Aanbesteding	Realisatie
Betrekken bij projectopdracht * Breng de diverse opgaven in beeld, stem de programmering van het dijkproject af met andere relevante medeoverheden of stakeholders en verken gezamenlijk de mogelijkheden. Focus op de kansen van combinatie van opgaven en inventariseer de gewenste omgang met projectrisico's en dilemma's. * verken bijdrage duurzaamheid voor ten minste de mogelijke winst op de thema's circulariteit, ruimtelijke kwaliteit en biodiversiteit/ecologie. * Maak voor- en nadelen inzichtelijk en leg dit vast, bijvoorbeeld met een startnotitie en samenwerkingsovereenkomst. *Stem projectorganisatie en kostenverdeling af op de opgave; toepassen van gebiedseigen grond vraagt ook in de voorbereiding een investering	Varianten dijkversterking en NBS hangen met elkaar samen * Verken ontwerpvarianten die voldoen aan de projectopdracht. Als aanleg gebiedseigen grond onderdeel is van de opdracht, zijn de ontwerpvarianten dat ook. * Verken eventueel de NBS als "omgevingsvariant" of alternatief voor traditionele dijkversterking. * maak de winst op ten minste de thema's circulariteit, ruimtelijke kwaliteit en biodiversiteit /ecologie inzichtelijk en betrek dit bij de afweging van varianten. * Maak voor beslissers inzichtelijk hoe de NBS bijdraagt aan de doelstellingen van het project. * Verken of NBS kan bijdragen aan duurzaamheidsdoelstellingen in algemene zin (bijv. reductie van CO2). * Verken de mogelijkheden en business case van gebiedseigen grond.	Uitwerking ontwerp en bepalen effecten *Werk bij voorkeur met een gecombineerde uitvoering en een gecombineerd planproces, zodat er sprake is van synergie tussen NBS en dijkversterking. * maak de winst op ten minste de thema's circulariteit, ruimtelijke kwaliteit en biodiversiteit inzichtelijk en betrek dit bij de uitwerking van referentieontwerp en plannen. * Maak voor beslissers inzichtelijk hoe de NBS bijdraagt aan de doelstellingen van het project. * Verken of NBS kan bijdragen aan duurzaamheidsdoelstellingen in algemene zin (bijv. reductie van CO2). * Bepaal effecten van het VKA, waarbij de meerwaarde van het de NBS ook terugkomt in de planproducten (projectbesluit, MER, etc.). Werk het ontwerp hiervoor voldoende uit.	Combineren van uitvoering * Bepaal de keuze van de contractvorm mede op basis de NBS. Bijv. door ruimte te geven aan het optimaliseren van grondstromen binnen de randvoorwaarden. Leg de eisen voor NBS zodanig vast dat ook in de realisatiefase de meerwaarde van de NBS wordt gewaarborgd in zowel uitvoering als beheer.	Combineren van uitvoering *Toets en bewaak de projectdoelen. Zorg voor voldoende waarborgen in de uitvoeringsfase, zodat de beoogde effecten van de NBS worden gerealiseerd. Dit kan bijvoorbeeld door het vragen van tussentijdse rapportages en veldinspecties.

10.6 Voorbeelden

[Gebiedseigen grond bij de Grebbedijk](#)

[Demonstratieproject Brede Groene Dijk](#)

[Gebiedsontwikkeling Ooijen-Wanssum](#)

10.7 Referenties

EcoSshape. (2023). Pilot Kleirijperij: van slib tot dijk. WP 5.1 Eindrapportage Kleirijperij; Kennis en ervaring over het omzetten van slib naar klei voor toepassing in bouwprojecten. Versie 2.0, definitief. In opdracht van Rijkswaterstaat Noord Nederland.

Erik Jolink. (2023). Eindrapport Onderzoek Geschiktheid Deltaklei (OGD)

POV Dijkversterking met gebiedseigen grond Fase 2 'best practices' Nederland, Fugro, 2021

POV-DGG. (2021). Storyline: Demonstratieproject Brede Groene Dijk.

POV-DGG. (2022). Technisch Kader Toepassing Gebiedseigen Grond. Van richtlijn gestuurd naar grond gestuurd ontwerpen. Versie 1.0, definitief. 4 oktober 2022.

11 Kleirijperij

Tabel 11.1: Doorzoekbaarheidstabel Kleirijperij

Categorie

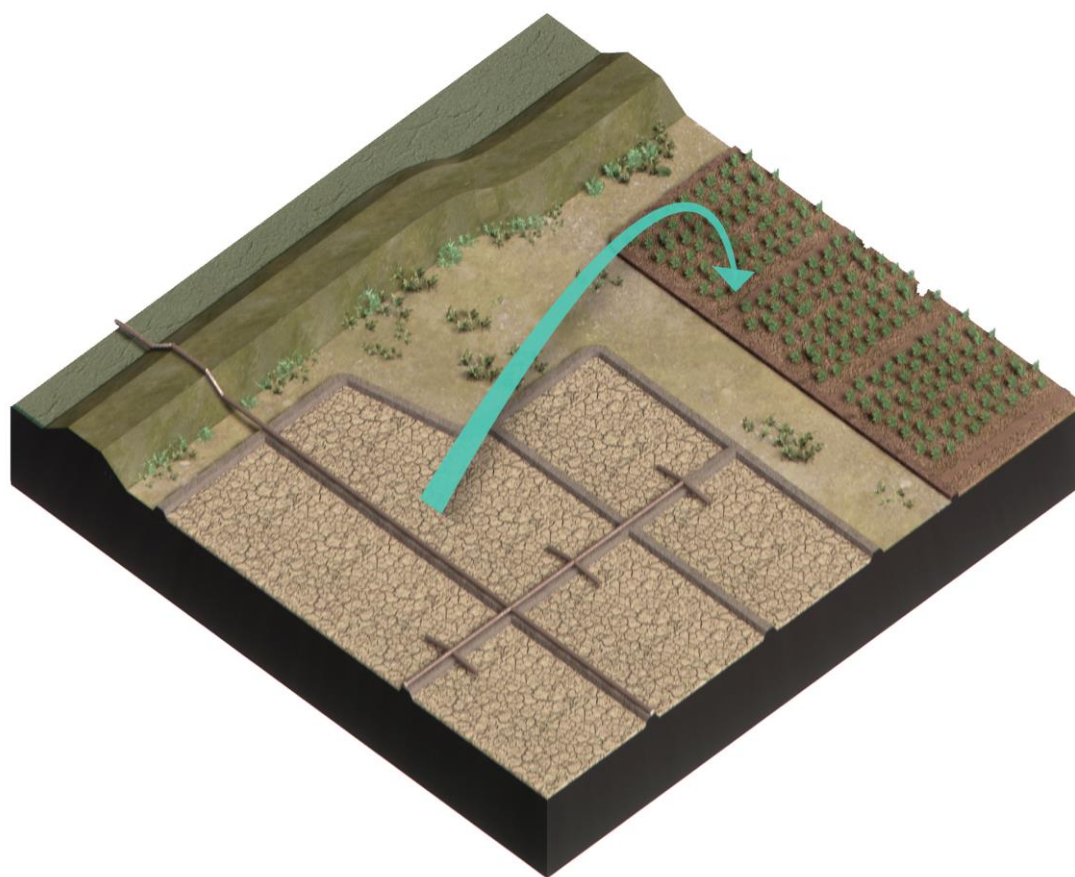
Locatie

Dijkversterking projectfase

Vergroten sterkte dijk

Rivier, Kust, Delta

Initiatief, Verkenning

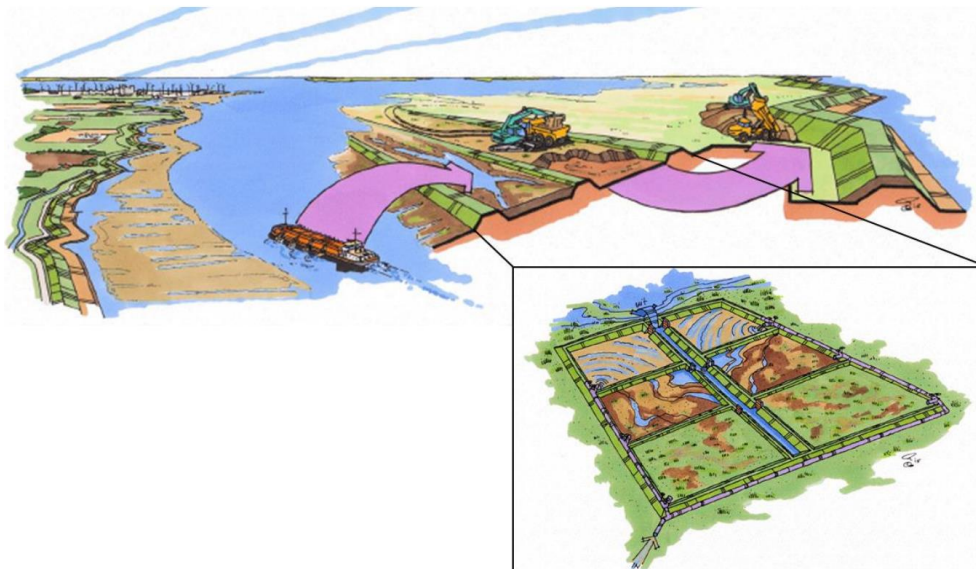


Figuur 11.1: Kleirijperij © One Architecture, Ecoshape

11.1 Beschrijving

Kleirijperij benut natuurlijke processen om fijn sediment om te zetten in bruikbare klei voor dijkversterkingen. Het proces omvat het drogen en structureren van waterverzadigd sediment, waardoor het geschikt wordt voor dijkenbouw. Dit natuurlijke rijpingsproces zorgt ervoor dat het materiaal toepasbaar wordt als klei.

Door gebruik te maken van lokaal sediment, wordt het winnen van primaire grondstoffen van elders verminderd, kleirijperij maakt gebruik van lokaal gebaggerd slib. Hoewel verwacht wordt dat kleirijperij meer nazorg vereist dan dijken met klei die aan de standardeisen voldoet, biedt het voordelen ten behoeve van de natuur. Door lokaal slib te gebruiken, wordt het transport van materialen over lange afstanden verminderd, wat leidt tot een lagere CO₂-uitstoot. Bovendien kan kleirijperij een belangrijke rol spelen in gebieden waar regelmatig veel slib wordt gebaggerd. Het voorkomt dat dit slib teruggestort wordt in het water, wat bijdraagt aan het verminderen van watertroebelheid in het aangrenzend watersysteem.



Figuur 11.2: Principe van kleirijperij langs de Eems -Dollard



Figuur 11.3: Impressie van uitgevoerde pilot langs de Eems -Dollard

11.2 Waterveiligheid

Het toepassen van de klei uit rijperijen in dijken heeft geen directe invloed op de waterveiligheid. Deze klei, vaak afkomstig uit lokale bronnen zoals kwelders of gerijpt baggerslib, heeft eigenschappen die afwijken van traditionele dijkklei. Om deze klei effectief en veilig te kunnen gebruiken, is het cruciaal om de belangrijkste eigenschappen te begrijpen, goed te testen en juist toe te passen in het ontwerp.

In Nederland bouwen we doorgaans met klei die aan de standardeisen voldoet. Bij het ontwerpen van dijken met grond die lokaal beschikbaar komt, dient rekening gehouden te worden met klei die niet volledig aan de standaard eisen voldoet. Bepaalde parameters zijn anders dan de standaardklei, zoals bijvoorbeeld het gehalte aan zout en organische stof. Dat leidt mogelijk tot ander beheer, onderhoud en tot ander gedrag bij belasting door een storm. De verwachting is dat meer nazorg nodig is ten opzichte van een dijk met klei die aan de standardeisen voldoet. Daar tegenover staat dat de aanleg goedkoper wordt (POV-DGG, 2021). Of en hoe een gebouwd kan worden met lokaal gewonnen klei is uitgebreid onderzocht in het Onderzoek Geschiktheid Deltaklei (OGD).

Erosiebestendigheid is een belangrijk aandachtspunt bij het gebruik van deltaklei in dijken. Deze eigenschap bepaalt in grote mate hoe goed de dijk bestand is tegen hydraulische belastingen. Uit het onderzoek blijkt dat de erosiebestendigheid van deltaklei kan variëren en niet altijd direct af te leiden is uit standaard kleiparameters (Jolink, 2023). Om deze reden zijn grootschalige Deltagootproeven uitgevoerd (Deltares, 2022f). Deze proeven simuleren realistische golfbelasting op een schaal die vergelijkbaar is met de werkelijke situatie. Deltagootproeven met vier verschillende kleisoorten (Valgenwegklei, Klutenplasklei, dijkbekleding Blija, en Dollardijk) laten aanzienlijke verschillen in erosiesnelheid zien, ondanks dat alle kleisoorten als erosieklasse 1 zijn geclassificeerd. De verschillen lijken te komen door geclusterd aanwezig zijn van zand in de klei en een grotere porositeit, vooral bij

de Dollardijk, waardoor kleibrokken gemakkelijk loskwamen. Dit benadrukt dat naast geotechnische parameters ook de samenhang van de kleilaag, beïnvloed door homogeniteit, verdichting, structuurvorming en vochtgehalte, cruciaal is voor erosiebestendigheid (Jolink, 2023).

De verwerkbaarheid van de deltaklei is getest met behulp van een proefdijk. Hieruit bleek dat de klei goed verwerkbaar is, mits het juiste vochtgehalte wordt aangehouden. Er werd vastgesteld dat een consistentie-index tussen 0,6 en 1,0 optimaal is voor verwerking en verdichting. Dit bevestigde de eisen uit het Technisch Rapport Klei voor Dijken (TAW, 1996) en toonde aan dat deze ook voor afwijkende kleien gelden.

Structuurvorming in de klei, met name scheurvorming, werd onderzocht middels bakkenproeven. Hierbij bleek de deltaklei gevoelig voor structuurvorming, wat potentieel de erosiebestendigheid kan beïnvloeden. In de praktijk, bij de proefdijk, viel de mate van structuurvorming echter mee. Dit verschil werd mogelijk veroorzaakt door factoren als laagdikte, drainage en vegetatie.

Voor het beproeven van de eigenschappen zijn verschillende methoden gebruikt. De Deltagootproeven vormden de meest betrouwbare test voor erosiebestendigheid onder realistische golfbelasting (Deltares, 2022f). Daarnaast werden kleinschaligere roto-erosiemeterproeven uitgevoerd (Deltares, 2022d), waarvan de resultaten in lijn leken te zijn met de Deltagootproeven. De proefdijk gaf inzicht in de verwerkbaarheid en verdichting in de praktijk, terwijl bakkenproeven de structuurvorming over tijd simuleerden (Deltares, 2022e).

In het ontwerp van de dijk speelden verschillende aspecten een belangrijke rol. De erosiecoëfficiënt, bepaald uit de Deltagootproeven, werd gebruikt in een aangepast erosiemodel van Mourik om de benodigde kleidikte te berekenen (Deltares, 2022f). Er werd gekozen voor een flauwer talud (1:7) om de mogelijk lagere erosiebestendigheid te compenseren. De klei dient bij aanbrengen het juiste vochtgehalte (niet te droog en niet te nat) te bevatten en goed te worden verdicht in dunne lagen (0,25 m). Deze verdichting bepaalt in hoge mate de erosiebestendigheid van de klei.

Tegelijkertijd zijn er nog openstaande vragen over de toepasbaarheid, vooral wat betreft het lange termijngedrag van de deltaklei in de dijk. Hoe ontwikkelen het zoutgehalte en organische stofgehalte zich over tijd? Hoe ontwikkelt zich vegetatie over de tijd? Hoe verloopt de structuurvorming op lange termijn en wat is het precieze effect hiervan op de erosiebestendigheid? Deze vragen zullen in vervolgonderzoek en tijdens de driejarige monitoring van de Brede Groene Dijk nader onderzocht worden. Ook is er behoefte aan verdere ontwikkeling van methoden om de toekomstige erosiebestendigheid van nieuw materiaal te voorspellen (Jolink, 2023).

Een aandachtspunt is in hoeverre de aanwezigheid van vegetatiestructuren in gerijpte klei de toepassingsmogelijkheden als dijkenglei beïnvloedt. Over het algemeen is voor dijkenglei de wens dat deze zo homogeen mogelijk is. Vegetatiestructuren in dijkenglei kunnen onstabiele punten in de ondergrond vormen (EcoShape, 2023).

11.3 Bijdrage aan natuurdoelen

Bij de maatregel kleirijperij worden natuurlijke processen gebruikt om van sediment dijktenklei te maken. In die hoedanigheid is dit een NBS-concept. De maatregel draagt echter niet specifiek bij aan natuurdoelen, doordat de maatregel tijdelijk van aard is.

Door het verwijderen van overtollig slib kan de waterkwaliteit verbeteren, wat positiever is voor zowel de flora en fauna in het gebied. Daarnaast kan het uitvangen van slib bijdragen aan het herstel van natuurlijke stromingspatronen en sedimenttransport, wat cruciaal is voor het behoud van gezonde ecosystemen.

11.4 Ontwerp, aanleg & beheer

Opgedane kennis en ervaring (pilot Kleirijperij, Eems-Dollard):

- het opbrengen van slib voor een kleirijperij kan het best in één keer gebeuren, omdat bij twee keer opbrengen korstvorming de drainage belemmert. Hiervoor moeten de kades wel hoog genoeg zijn, aangezien het natte slib een relatief groot volume inneemt.
- het rijpen van 2 meter slib nam relatief veel tijd (ca. 3-4 jaar) in beslag. Het rijpen van 1 of meerdere dunnere lagen per jaar na elkaar heeft waarschijnlijk de voorkeur. De toegevoegde waarde van een extra laag bovenop een nog niet gerijpte laag is niet aangetoond. De ideale laagdikte verschilt per locatie en hangt o.a. af van de afwatering en het weer. De gerijpte lagen moeten afgegraven worden voordat een nieuwe laag wordt aangebracht (zie ook punt hiervoor);
- bij de aanleg van de kleirijperij moet goed gekeken worden naar het drainagesysteem. Hoogteligging en het voorkomen van verstopping van de leidingen zijn daarbij aandachtspunten;
- bij het inzaaien dienen soorten te worden gebruikt die passen bij het zoutgehalte van de bodem. Overweeg om zouttolerante soorten te zaaien of te wachten met inzaaien totdat het meeste zout is uitgespoeld;
- bij het ontwerp van de kleirijperij moet rekening gehouden worden met de bereikbaarheid door materieel, als het de wens is om dat in te zetten. Materieel kan niet verplaatst worden over de slappe sliblagen.

Leerpunt is om rekening te houden met het broedseizoen. Door bewerkingen in de zomerperiode uit te voeren en in de winter alleen de afwatering te regelen valt de periode met de meest intensieve werkzaamheden samen met het broedseizoen. Een kleirijperij is dan in beginsel niet aantrekkelijk voor broedvogels. Het droogproces verloopt vanzelfsprekend wel sneller in de zomerperiode. Indien in het vroege voorjaar geen intensieve werkzaamheden worden uitgevoerd, zal de kleirijperij met rust moeten worden gelaten tijdens het broedseizoen.

Wanneer het materiaal wordt (afdoende) gerijpt is en wordt toegepast is met name het vochtgehalte (consistentie index) van groot belang voor de verwerking. Het monitoren van deze waarde voor het aanbrengen in de dijk, het verdichten in afdoende dunne lagen zijn van belang om de juiste verdichting te behalen. Ervaring bij het onderzoek van naar de klei

voor toepassing in de Brede Groene Dijk (Jolink, 2023) heeft geleerd dat mindere klei (klasse 3) met een goede uitvoering sterker is dan goede klei (klasse 1) met een slechte uitvoering.

Het beheer van een toegepaste klei uit een kleirijperij is verder niet wezenlijk anders dan het normale beheer van het een waterkering, bestaande uit een deklaag van grasbekleding met klei onderlaag. Zie hiervoor de handreiking grasbekledingen.

11.5 Procesaanwijzingen

Versterkingsopgaven worden in Nederland gerealiseerd met de MIRT systematiek (<https://leerplatformmirt.nl/mirt/handreikingen/handreiking-mirt-mer/>), veelal onder het Hoogwaterbeschermingsprogramma <https://roadmapduurzaamhwbp.nl/>, waarin verschillende projectfasen worden onderscheiden; initiatief, verkenning, planuitwerking en realisatie (inclusief aanbesteding). Los van een versterkingsopgave geldt de zorgplicht waterkeringen, als continu proces, geborgd door bij de waterkeringsbeheerders (Rijkswaterstaat en de waterschappen).

De roadmap Duurzaamheid HWBP (<https://roadmapduurzaamhwbp.nl/>) is een stappenplan om in aansluiting op de genoemde projectfasering van initiatief- tot en met realisatiefase te komen tot duurzame, goed ingepaste dijkversterkingen met ruimtelijke kwaliteit.

Binnen dit stappenplan en de roadmap duurzaamheid geldt dat hoe eerder een NBS betrokken wordt bij de versterkingsopgave, hoe groter de kans op werkelijke realisatie van een NBS. In de beginfase is het daarom belangrijk de duurzaamheidsambities, waar een NBS onderdeel van kan zijn, breed te verkennen. Dit vanuit meerdere opgaven en niet enkel vanuit de waterveiligheidsopgave of verbeteropgave van de waterkering.

In Nederland is de NBS Kleirijperij op één locatie grootschalig toegepast in een uitgebreide pilot. Omdat het hier gaat om een grootschalige kleiwinning, hangt dit samen met de algehele versterkingsstrategie van de dijk over een langer traject. Belangrijk is de aanwezigheid van een slibwatersysteem waaruit klei gewonnen kan worden, een estuarium als de Eems Dollard is hiervoor bij uitstek geschikt. Vanwege die specifieke context wordt vooral verwezen naar deze uitgevoerde pilot van het project kleirijperij en de daaruit geleerde lessen voor toekomstige projecten. (link; <https://eemsdollard2050.nl/project/pilot-kleirijperij/> en TFDT, 2024)

Tabel 11.2: Procesaanwijzingen per projectfase

NBS kleirijperij i.r.t. MIRT fasering en roadmap duurzaamheid HWBP

Initiatief	Verkenning	Planuitwerking	Aanbesteding	Realisatie
Betrekken bij projectopdracht * Breng de diverse opgaven in beeld, stem de programmering van het dijkproject af met andere relevante medeoverheden of stakeholders en verken gezamenlijk de mogelijkheden. Focus op de kansen van combinatie van opgaven en inventariseer de gewenste omgang met projectrisico's en dilemma's. * verken bijdrage duurzaamheid voor ten minste de mogelijke winst op de thema's circulariteit, ruimtelijke kwaliteit en biodiversiteit/ecologie. * Maak voor- en nadelen inzichtelijk en leg dit vast, bijvoorbeeld met een startnotitie en samenwerkingsovereenkomst. *Stem projectorganisatie en kostenverdeling af op de opgave; toepassen van kleirijperij vraagt ook in de voorbereiding een investering. Ga uit van een meerjarige uitvoering.	Varianten dijkversterking en NBS hangen met elkaar samen * Verken ontwerpvarianten die voldoen aan de projectopdracht. Als kleirijperij onderdeel is van de opdracht, zijn de ontwerpvarianten dat ook. * Verken eventueel de NBS als "omgevingsvariant" of alternatief voor traditionele dijkversterking. * maak de winst op ten minste de thema's circulariteit, ruimtelijke kwaliteit en biodiversiteit /ecologie inzichtelijk en betrek dit bij de afweging van alternatieven. * Maak voor beslissers inzichtelijk hoe de NBS bijdraagt aan de doelstellingen van het project. * Verken of NBS kan bijdragen aan duurzaamheidsdoelstellingen in algemene zin (bijv. reductie van CO2). * Verken de mogelijkheden en business case van kleirijperij. * Stem de projectduur af op het kleirijperij proces en de beschikbaarheid van sediment. Ga uit van een meerjarige uitvoering.	Uitwerking ontwerp en bepalen effecten *Werk bij voorkeur met een gecombineerde uitvoering en een gecombineerd planproces, zodat er sprake is van synergie tussen NBS en dijkversterking. * Organiseer de kleirijperij vroegtijdig en maak afspraken met baggeraars of maak de baggeropgave onderdeel van het project. Stem het baggeren af op de kleirijperij en organiseer vroegtijdig geschikte depotlocaties. * maak de winst op ten minste de thema's circulariteit, ruimtelijke kwaliteit en biodiversiteit inzichtelijk en betrek dit bij de uitwerking van referentieontwerp en plannen. * Maak voor beslissers inzichtelijk hoe de NBS bijdraagt aan de doelstellingen van het project. * Verken of NBS kan bijdragen aan duurzaamheidsdoelstellingen in algemene zin (bijv. reductie van CO2). * Bepaal effecten van het VKA, waarbij de meerwaarde van het de NBS ook terugkomt in de planproducten (projectbesluit, MER, etc.). Werk het ontwerp hiervoor voldoende uit.	Combineren van uitvoering * Bepaal de keuze van de contractvorm mede op basis de NBS. Bijv. door ruimte te geven aan het optimaliseren van grondstromen binnen de randvoorwaarden. Leg de eisen voor NBS zodanig vast dat ook in de realisatiefase de meerwaarde van de NBS wordt gewaarborgd in zowel uitvoering als beheer.	Combineren van uitvoering *Toets en bewaak de projectdoelen. Zorg voor voldoende waarborgen in de uitvoeringsfase, zodat de beoogde effecten van de NBS worden gerealiseerd. Dit kan bijvoorbeeld door het vragen van tussentijdse rapportages en veldinspecties.

11.6 Voorbeelden

[Eems-Dollard Estuary – Delfzijl \(The Netherlands\)](#)
[Salt Marsh Construction - Marconi, Delfzijl](#)
[Kleirijperij Pilot](#)

11.7 Referenties

Bal, L. (1982). *Zoological ripening of soils*. Agricultural Research Reports 850. Wageningen.

Beije, K., Stout, P., & Oldenhof, M. (1995). *Natuurlijk moet slib ontwaterd worden – studie naar natuurlijke ontwatering van baggerslib in depots in Nederland*.

Bratby, J. (1980). *Coagulation and flocculation: with an emphasis on water and wastewater treatment*. [https://doi.org/10.1016/0300-9467\(81\)80062-7](https://doi.org/10.1016/0300-9467(81)80062-7)

Calmano, W., Hong, J., & Förstner, U. (1993). Binding and mobilization of heavy metals in contaminated sediments affected by pH and redox potential. *Water Science and Technology*, 28(8–9), 223–235.

Deltares. (2022). Onderzoek Geschiktheid Deltaklei in kader van demonstratieproject Brede Groene Dijk. Stap 1 - Definitie en Bronnenonderzoek

Deltares. (2022b). Onderzoek Geschiktheid Deltaklei ihkv demonstratieproject Brede Groene Dijk Stap 2B: Resultaten laboratoriumproeven op klei proefdijk.

Deltares. (2022c). Onderzoek Geschiktheid Deltaklei in kader van demonstratieproject Brede Groene Dijk. Stap 3: OpenFOAM berekeningen voor invloed van waterstand en golfhoogte op erosiesnelheid.

Deltares. (2022d). Onderzoek Geschiktheid Deltaklei in kader van demonstratieproject Brede Groene Dijk. Stap 6 en 7: Roto-erosieproeven op Valgenweg- en Klutenplasklei.

Deltares. (2022e). Onderzoek Geschiktheid Deltaklei i.h.k.v. demonstratieproject Brede Groene Dijk. Stap 8: Onderzoek structuurvorming bakkenklei.

Deltares. (2022f). Onderzoek Geschiktheid Deltaklei in kader van demonstratieproject Brede Groene Dijk. Stap 9: Meting erosiebestendigheid deltaklei met Deltagootproeven.

Duggan, J. (2005). The potential for landfill leachate treatment using willows in the UK – A critical review. *Resources, Conservation and Recycling*, 45(2), 97–113.
<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2005.02.004>

Gemeente Rotterdam. (1987). *Toepassing van Euroklei in dijkenbouw – samenvattende rapportage*.

Geodelft. (1987). *Ontwatering van baggerspecie in een Depot CO293990/13*.

Gliński, J., & Stepniowski, W. (1985). *Soil aeration and its role for plants*. CRC Press, Inc.

Groenendijk, P., Kroes, J. G., & Rijtema, P. E. (1999). *Environmental Impacts Of Land Use In Rural Regions: The Development, Validation And Application Of Model Tools For Management And Policy Analysis (Vol. 1)*. World Scientific.

- Jolink (2023). Eindrapport Onderzoek Geschiktheid Deltaklei (OGD).
<https://publicwiki.deltares.nl/display/TKIP/DEL122++Toepasbaarheid+en+voorspelbaarheid+lokaal+gewonnen+klei+voor+dijken?preview=/181732176/256475229/OGD%20stap%2010%2C%20Sweco%20%2C%20eindrapport%2C%20def%2C%20zonder%20bijlage%202.pdf>
- Meshkati Shamirzadi, E., Wichman, B., & Hansen, J. (2018). Pilot Kleirijperij: WP4.2.1 Voorbereidende laboratoriumproeven. In *Ecoshape.Nl*. Retrieved from <https://www.ecoshape.org/nl/projecten/kleirijperij/>
- Mitchell, J. K., & Soga, K. (2005). Fundamentals of Soil Behavior. In *Soil Science* (third). <https://doi.org/10.1097/00010694-199407000-00009>
- OSPAR. (2016). *OSPAR annual report on dumping and placement of wastes or other matter at sea in 2014*. ISBN: 978-1-911458-01-2. Publication number: 671/2016.
- Palumbo, L. (2007). Sediment management of nations in Europe. *Sustainable Management of Sediment Resources*, 2(11–58).
- Parr, L. F., Gardner, W. R., & Elliot, L. F. (1981). Water potential relations in soil microbiology. *Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin*.
- Pons, L. J., & Van der Molen, W. H. (1973). Soil genesis under dewatering regimes during 1000 years of polder development. *Soil Science*, 116(3), 228–235.
- Pons, L. J., & Zonneveld, I. S. (1965). Soil ripening and soil classification: Initial soil formation in alluvial deposits and a classification of the resulting soils. *International Institute for Land Reclamation and Improvement*, (13), 1–128. Retrieved from <http://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/fulltext/60013>
- Rijniersce, K. (1983). *A simulation model for soil ripening in the IJsselmeerpolders (Doctoral dissertation, PhD-thesis)*. Wageningen Agricultural University.
- Ritchie, J. T., & Adams, J. E. (1974). Field Measurement of Evaporation from Soil Shrinkage Cracks 1. *Soil Science Society of America Journal*, 38(1), 131–134.
- Schubel, J. R. (1968). Turbidity maximum of the northern Chesapeake Bay. *Science*, 161, 1013–1015.
- Singh, S. P., Tack, F. M. G., & Verloo, M. G. (1998). Land disposal of heavy metal contaminated dredged sediments: a review of environmental aspects. *Land Contamination and Reclamation*, 6, 149–158.
- Sittoni, L., Van Eekelen, E. M. M., Van Der Goot, F., & Nieboer, H. E. (2019). The Living Lab for mud: Integrated sediment management based on building with nature concepts. *22nd World Dredging Congress, WODCON 2019*, 847–856.
- Sjenitzer, S., Derks, D., van der Star, W., & Meshkati Shahmirzadi, E. (2018). *Historisch (literatuur) onderzoek Pilot Kleirijperij*. Amersfoort.
- Smith, K. E., Banks, M. K., & Schwab, A. P. (2009). Dewatering of contaminated sediments: Greenhouse and field studies. *Ecological Engineering*, 35(10), 1523–1528. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2009.07.002>

Stokes, G. G. (1850). On the Effect of the Internal Friction of Fluids on the Motion of Pendulums. *Transactions of the Cambridge Philosophical Society, Vol. IX. P, 9, 8.*
<https://doi.org/10.1017/cbo9780511702266.002>

Taskforce Deltatechnologie (2024). Advies Eems-Dollard 2050. Advisering samenwerking en opschaling kleirijperij. 22-04-2024.

TAW (1996). Technisch rapport klei voor dijken. Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen (TAW), mei 1996.

Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen. (1996). *Technisch rapport klei voor dijken.*

Terzaghi, K., & Peck, R. B. (1967). *Soil Mechanics in Engineering Practice* (2nd ed.). New York: John Wiley & Sons.

Trapp, S., & Karlson, U. (2001). Aspects of phytoremediation of organic pollutants. *Journal of Soils and Sediments, 1*, 37–43.

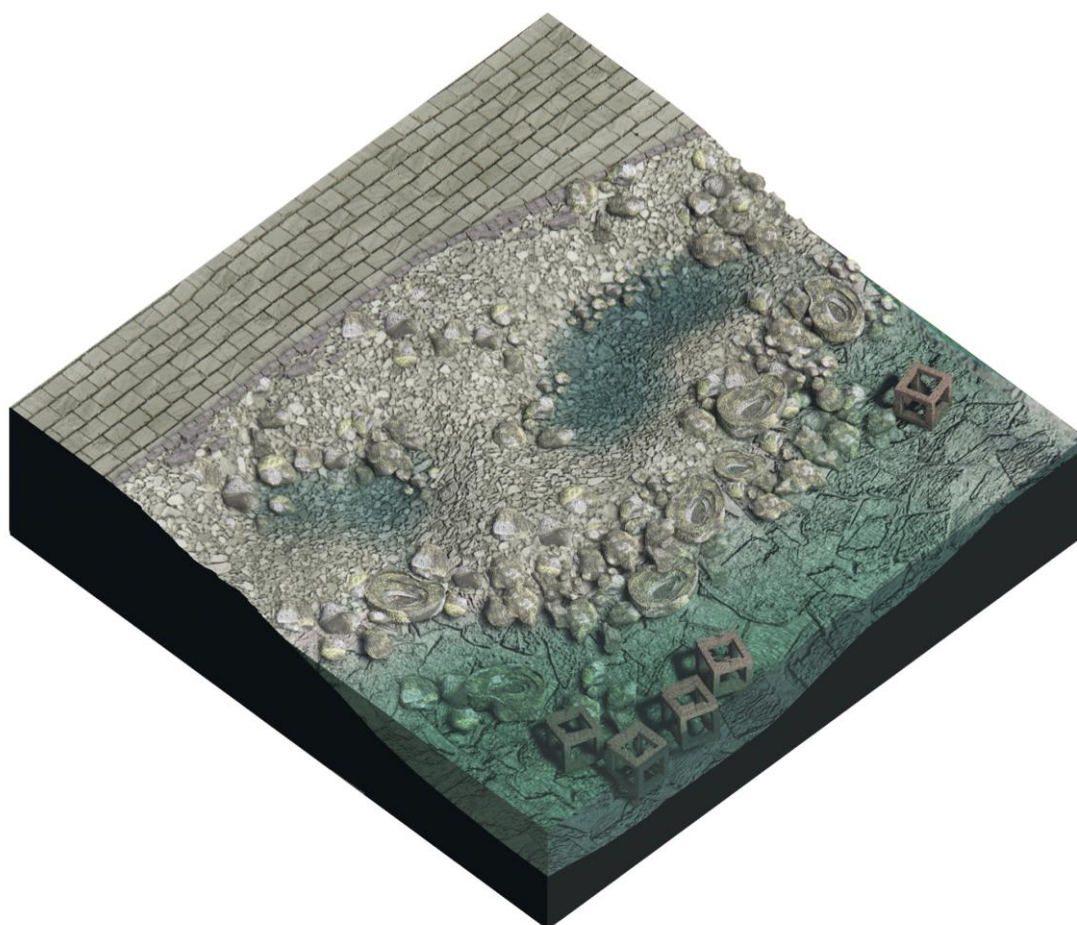
Vermeulen, J., Grotenhuis, T., Joziassse, J., & Rulkens, W. (2003). Ripening of clayey dredged sediments during temporary upland disposal a bioremediation technique. *Journal of Soils and Sediments, 3*(1), 49–59.

Yang, X., de Lucas Pardo, M., Ibanez, M., Deng, L., Sittoni, L., Ulrich, A., & Chen, Q. (2016). Addition of Tubifex accelerates dewatering of oil sands tailings. *Canadian Journal of Civil Engineering, 43*(12), 1025–1033.

12 Natuurvriendelijke harde bekleding

Tabel 12.1: Doorzoekbaarheidstabel natuurvriendelijke harde bekleding

Categorie	Vergroten sterkte dijk
Locatie	Meer, Kust, Rivier, Delta
Dijkversterking projectfase	Initiatief, Verkenning, Planuitwerking



Figuur 12.1: Natuurvriendelijke harde bekleding © One Architecture, Ecoshape

12.1 Beschrijving

Natuurvriendelijke harde bekleding beïnvloedt de waterveiligheid door de impact van golfploop, golfklappen en stroming te reduceren. Harde bekleding wordt voornamelijk toegepast op het buitentalud maar bij veel golfoverslag ook op het binnentalud.

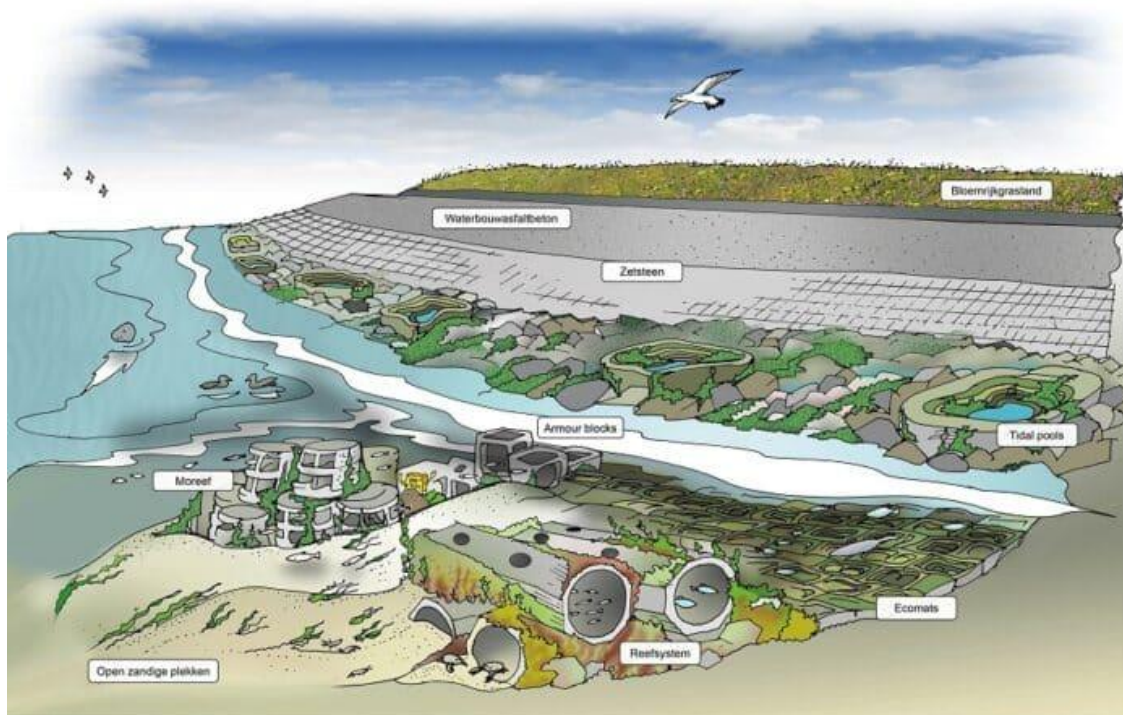
Oevers worden aangepast in textuur, vorm en materiaal. Variaties in betonoppervlakken en scheuren of reliëf in stenen van een kade kunnen ruimte bieden voor beschermde leefgebieden. Een ander toepassing is het gebruik van ruw puin in plaats van glad beton. Bij de teen van een dijk of estuarium rand kan ook een getijdenpool worden aangelegd. De aanwas van onderwaterleven die daarbij komt kijken, heeft positieve gevolgen voor de waterkwaliteit.

De veelzijdigheid in de oeverbekleding ondersteunt nieuwe leefgebieden en stimuleert het ecosysteem. Algen, zeegraas, koraal en andere organismen kunnen zich ontwikkelen, welke op hun beurt ook weer vissen, schelpdieren en vogels aantrekken.

Natuurvriendelijke harde bekleding is relatief eenvoudig toe te passen, neemt niet veel (extra) ruimte in en kan extra diensten bieden. In harde oplossingen levert het toepassen van een veelzijdige oever een robuuste oplossing op dat geen extra onderhoud vereist.



Figuur 12.2: Voorbeeld van ecovriendelijke harde bekleding (Ecoshape website)



Figuur 12.3: Impressie van de natuurvriendelijke harde bekleding, hier toegepast als alternatief voor een bestorting voor de dijk (Waterschap Noorderzijlvest)

12.2 Waterveiligheid

Natuurvriendelijke harde bekleding is grover dan de traditionele asfaltbekleding en bevat ook holtes. Een verruwing van het talud heeft een golf reducerend effect en daarmee een positief effect op de benodigde kruinhoogte. Hoe grover de bekleding, des te meer weerstand de golven ondervinden en des te lager de golfoploop is (HWBP, 2020). De ruwheid van de bekleding wordt als invoerparameter opgenomen in de sterkteberekening van een dijkbekleding belast (golfoploop en golfklap in het BOI instrumentarium).

Een natuurvriendelijke harde bekleding kan ook onder water toegepast worden, bij vastlegging van vaarwegen of geulen, om de nadelige effecten van stroming tegen te gaan. Ruwheidselementen die alleen onder water worden toegepast (met een gladde bovenzijde) hebben geen effect op de mate van golfoverslag en in dat geval wordt het als een gladde helling beschouwd. Voor constructiedoeleinden wordt aanbevolen om ruwheidselementen te beperken tot hun invloed gebied. De bouwkosten zullen dan lager zijn dan wanneer de hele helling bedekt wordt met ruwheidselementen. Tot slot dient rekening te worden gehouden met het feit dat het effect van ruwheidselementen op golfoploop in de loop van de tijd verminderd kan worden door puin dat zich tussen de elementen ophoopt (EurOtop, 2018).

In onderstaande Tabel 12.2 zijn de effecten op verschillende faalmechanismen samengevat.

Tabel 12.2: Impact op faalmechanismen

	Overlopen	Macro-instabiliteit buitentalud	Golfoverslag	Micro-instabiliteit	Macro-instabiliteit binnentalud	Opbarsten en piping	Bekleding
Natuurvriendelijke harde bekleding	0	0	0/+	0	0	0	+

Het Rijk stelt de regels op voor het uitvoeren van de veiligheidsbeoordeling op en stelt leidraden beschikbaar voor het ontwerp en het beheer van primaire keringen. Deze regels zijn beschikbaar in het Beoordelings- en ontwerpinstrumentarium (BOI). Het instrumentarium bestaat uit handleidingen, technische leidraden, software-applicaties en databases. Deze instrumenten worden gebruikt om de overstromingskans van een dijktraject te bepalen.

In de Handleiding Overstromingskansanalyse dijken/dammen (deel 1 – 5) zijn rekenregels terug te vinden om bijvoorbeeld de impact van een harde bekleding op verschillende faalmechanismen van dijken of duinen te berekenen. De rekenregels zijn ook verwerkt in de applicaties die onderdeel uitmaken van het BOI (zoals Riskeer), zodat deze gebruikt kunnen worden om de kans van optreden van bepaalde faalmechanismen te berekenen.

Indien het instrumentarium geen mogelijkheid biedt om bepaalde invoerparameters te wijzigen kunnen ook de EurOtop formules voor golfoverslag worden gehanteerd. Hiermee kan de invloed van een harde bekleding op de overstromingskans (door golfoverslag) worden bepaald

12.3 Bijdrage aan Natuurdoelen

Natuurvriendelijke harde bekleding is een oplossing om een harde oeverbekleding ecologisch beter te maken. Dit neemt niet weg, dat dit niet leidt tot het realiseren van bepaalde habitattypen of natuurbeheertypen. Het blijft een harde, onnatuurlijke oever. De impact hiervan op natuurdoelen is dan ook beperkt. Het introduceren van harde oppervlakken in gebieden waar ze van nature niet voorkomen, kan substraat bieden voor invasieve uitheemse soorten en stromings- en sedimentpatronen veranderen, wat negatieve gevolgen kan hebben voor ecosystemen. Hoewel natuurvriendelijke harde bekleding in zoetwatersystemen eenzelfde functie kunnen vervullen in de grote meren of rivieren, focust deze maatregel zich op zoute en brakke watersystemen met bijbehorende effectbepaling op natuurwaarden.

Tabel 12.3: Natuurwinst bij harde bekleding

	Draagt het concept mogelijk bij aan natuurdoelen?	Hoe draagt het mogelijk bij aan natuurdoelen?
	- = negatief effect 0 = geen effect + = positief effect	
Natura 2000-gebieden	0/+	Op plekken waar harde structuren leiden tot ontwikkeling van waterplanten, sponzen en overige fauna, leiden tot een voedselbron voor vele Broedvogels en Niet-broedvogels.
Natuurnetwerk Nederland	0	n.v.t.
Beschermde soorten	0	n.v.t.
Kaderrichtlijn water	+	Macrofauna en overige waterflora
Bossenstrategie	0	n.v.t.

12.4 Aanleg & Beheer

Er geldt een aantal richtlijnen voor het bepalen van de haalbaarheid en het ontwerpen van natuurvriendelijke harde bekleding.

In het ontwerpproces is een analyse van de geplande werkzaamheden en van het aangrenzende ecosysteem nodig; de lokale biodiversiteit van het ecosysteem van harde substraatsoorten, fysieke beïnvloedende factoren en beperkende ontwerprichtlijnen t.a.v. bijvoorbeeld golfblootstelling en verziltingsrisico. In bijvoorbeeld de Oosterschelde is de waarde van de diverse harde substraatgemeenschap eerst vastgesteld en is het behoud ervan een eis geworden bij dijkreconstructies.

De haalbaarheid van een technisch ontwerp van de ecostructuur kan worden ondersteund met een veldtest of pilot. In deze fase kan ook worden overwogen om meerjarige monitoringsplannen voor ecologische ontwikkeling, en onderhoudsplannen op te stellen.

Bij aanleg en beheer moet gestreefd worden naar een uitvoering waarbij het aanvullen of vervangen van bekleding mogelijk is zonder bestaande ecologische structuren te vernietigen. Het ontwerpen op uitbreidbaarheid is daarbij belangrijk. Daarbij dient nagedacht te worden over de status en omgang met toekomstige ecologische waarden op moment hydraulische randvoorwaarden in de toekomst veranderen en de waterkering moet worden aangepast (adaptief dijkontwerp).

Door de diversiteit van mogelijke varianten en uitvoeringen is ook de wijze van aanleg en beheer per gebied verschillend. Het ontwerpen en bepalen van kosten is dan ook maatwerk.

12.5 Procesaanwijzingen

Versterkingsopgaven worden in Nederland gerealiseerd met de MIRT systematiek (<https://leerplatformmirt.nl/mirt/handreikingen/handreiking-mirt-mer/>), veelal onder het Hoogwaterbeschermingsprogramma <https://roadmapduurzaamhwbp.nl/>, waarin verschillende projectfasen worden onderscheiden; initiatief, verkenning, planuitwerking en realisatie (inclusief aanbesteding). Los van een versterkingsopgave geldt de zorgplicht waterkeringen, als continu proces, geborgd door bij de waterkeringsbeheerders (Rijkswaterstaat en de waterschappen).

De roadmap Duurzaamheid HWBP (<https://roadmapduurzaamhwbp.nl/>) is een stappenplan om in aansluiting op de genoemde projectfasering van initiatief- tot en met realisatiefase te komen tot duurzame, goed ingepaste dijkversterkingen met ruimtelijke kwaliteit.

Binnen dit stappenplan en de roadmap duurzaamheid geldt dat hoe eerder een NBS betrokken wordt bij de versterkingsopgave, hoe groter de kans op werkelijke realisatie van een NBS. In de beginfase is het daarom belangrijk de duurzaamheidsambities, waar een NBS onderdeel van kan zijn, breed te verkennen. Dit vanuit meerdere opgaven en niet enkel vanuit de waterveiligheidsopgave of verbeteropgave van de waterkering.

Tabel 12.4: Procesaanwijzingen per projectfase

NBS natuurvriendelijke harde bekleding i.r.t. MIRT fasering en roadmap duurzaam HWBP

Initiatief	Verkenning	Planuitwerking	Aanbesteding	Realisatie
Betrekken bij projectopdracht * Breng de diverse opgaven in beeld, stem de programmering van het dijkproject af met andere relevante medeoverheden of stakeholders en verken gezamenlijk de mogelijkheden in de regio. * stem de ambitie vroegtijdig af met de eindbeheerder van de dijk. * verken bijdrage duurzaamheid voor ten minste de mogelijke winst op de thema's ruimtelijke kwaliteit en biodiversiteit/ecologie.	Varianten dijkversterking en NBS hangen met elkaar samen * Verken ontwerpvarianten die voldoen aan de projectopdracht. Als een natuurvriendelijke harde bekleding onderdeel is van de opdracht, zijn de ontwerpvarianten dat ook. * Verken de impact van de NBS op hoogte en ruimtebeslag. Dit is vooral relevant voor dijken met zware golfbelasting. Werk met een adaptief dijkontwerp voor gewijzigde HR-condities in de toekomst * maak de winst op ten minste de thema's ruimtelijke kwaliteit en biodiversiteit /ecologie inzichtelijk en betrek dit bij de afweging van varianten. * Maak voor beslissers inzichtelijk hoe de NBS bijdraagt aan de doelstellingen van het project. * Verken of NBS kan bijdragen aan duurzaamheidsdoelstellingen in algemene zin (bijv. biodiversiteit).	Uitwerking ontwerp en bepalen effecten *Werk bij voorkeur met een gecombineerde uitvoering en een gecombineerd planproces, zodat er sprake is van synergie tussen NBS en dijkversterking. * maak de winst op ten minste de thema's circulariteit, ruimtelijke kwaliteit en biodiversiteit inzichtelijk en betrek dit bij de uitwerking van referentieontwerp en plannen. * Maak voor beslissers inzichtelijk hoe de NBS bijdraagt aan de doelstellingen van het project. * Verken of NBS kan bijdragen aan duurzaamheidsdoelstellingen in algemene zin (bijv. biodiversiteit).	Combineren van uitvoering * Bepaal de keuze van de contractvorm mede op basis van het benutten van de kansen voor natuurvriendelijke harde dijkbekleding. Bepaal waar ruimte kan gegeven worden en waar bindende eisen nodig zijn. Leg de eisen voor NBS zodanig vast dat ook in de realisatiefase de meerwaarde van de NBS wordt gewaarborgd in zowel uitvoering als beheer.	Combineren van uitvoering *Toets en bewaak de projectdoelen. Zorg voor voldoende waarborgen in de uitvoeringsfase, zodat de beoogde effecten van de NBS worden gerealiseerd. Dit kan bijvoorbeeld door het vragen van tussentijdse rapportages en veldinspecties. Zorg voor een goed ontwikkelings- en instandhoudingsplan voor duurzaam beheer, maak afspraken tussen de verschillende beheerders. Leg het ontwikkelbeheer bij voorkeur bij de eindbeheerder.

12.6 Voorbeelden

[Beneden Merwede Dordrecht, Nieuwe Maas Rotterdam](#)

[Zeelandbrug close to Zierikzee, The Netherlands](#)

[IJmuiden Harbour, The Netherlands](#)

[Port of Rotterdam \(Scheurhaven & Pistoohlhaven\)](#)

[Zeelandbrug close to Zierikzee, The Netherlands](#)

[Eastern Scheldt \(Eastern Scheldt\), The Netherlands](#)

[Noordwaard near Werkendam, the Netherlands](#)

[Riffen vol Reuring](#)

[Practical Applications - EcoShape](#)

12.7 Referenties

[Barbier, Edward B., Hacker, Sally D., Kennedy, Chris J., Koch, Evamaria W., Stier, Adrian C. and Silliman, Brian R. \(2011\)](#), The Value of Estuarine and Coastal Ecosystem Services . Ecological Monographs, Vol. 81, No. 2, pp. 169-193, 2011

Chapman, M. G. & D. J. Blockley, 2009. Engineering novel habitats on urban infrastructure to increase intertidal biodiversity. *Oecologia*, 161: 625-635.

Chapman, M. G. & F. Bulleri, 2003. Intertidal seawalls—new features of landscape in intertidal environments. *Landscape and Urban Planning*, 62: 159-172

De Kluijver M.J. en E.C. Verduin. (2010), de kolonisatie door flora en fauna op het proefvlak met C-star blokken en Eco-varianten bij Ellewoutsdijk, De ontwikkeling in de jaren 2008-2010. Grontmij, rapportnummer 253787

EurOtop. (2018). Manual on wave overtopping of sea defences and related structures. An overtopping manual largely based on European research, but for worldwide application. Van der Meer, J.W., Allsop, N.W.H., Bruce, T., De Rouck, J., Kortenhaus, A., Pullen, T., Schüttrumpf, H., Troch, P. and Zanuttigh, B., www.overtopping-manual.com/hh

HWBP. (2020). Handreiking Rijke Dijk. POV-Waddenzeedijken, Rijke Dijk, 31-01-2020. V1.0.

Moschella, P. S., M. Abbiati, P. Åberg, L. Airoidi, J. M. Anderson, F. Bacchiocchi, F. Bulleri, G. E. Dinesen, M.

Frost, E. Gacia, L. Granhag, P. R. Jonsson, M. P. Satta, A. Sundelöf, R. C. Thompson & S. J. Hawkins, 2005. Low-crested coastal defence structures as artificial habitats for marine life: Using ecological criteria in design. *Coastal Engineering*, 52: 1053-1071

[Paalvast, P. 2008](#). Rijke Berm Oosterschelde Tussenrapportage 2008. Monitoringsrapport Ecoconsult (in Dutch)

[Paalvast, P. 2009](#). Rijke Berm Oosterschelde Tussenrapportage 2009. Monitoringsrapport Ecoconsult (in Dutch)

RWS, 2013. Eco-engineering in the Netherlands: Soft interventions with a solid impact. Published by Rijkswaterstaat, Deltares and Ecoshape. 42 pp.

13 Brede Groene Dijk

Tabel 13.1: Doorzoekbaarheidstabel Brede groene dijk

Categorie

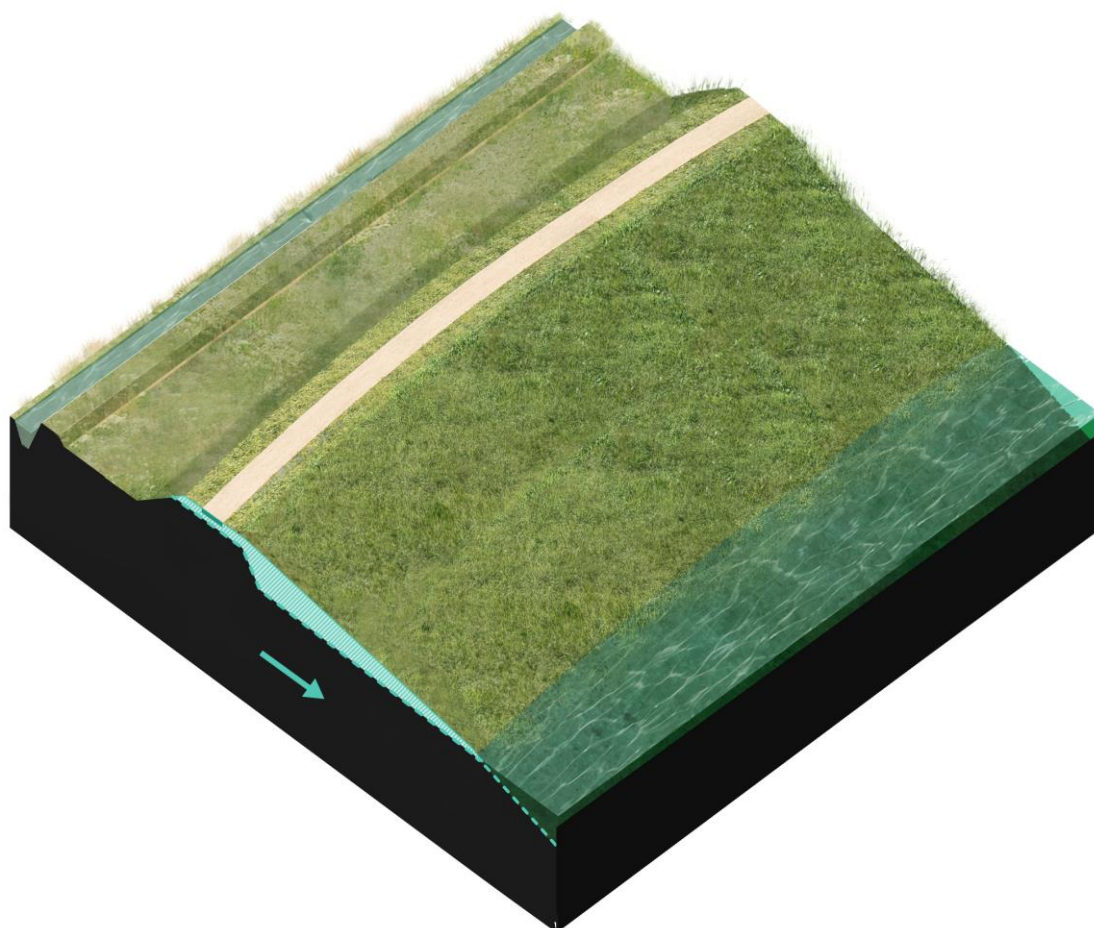
Locatie

Dijkversterking projectfase

Vergroten sterkte dijk

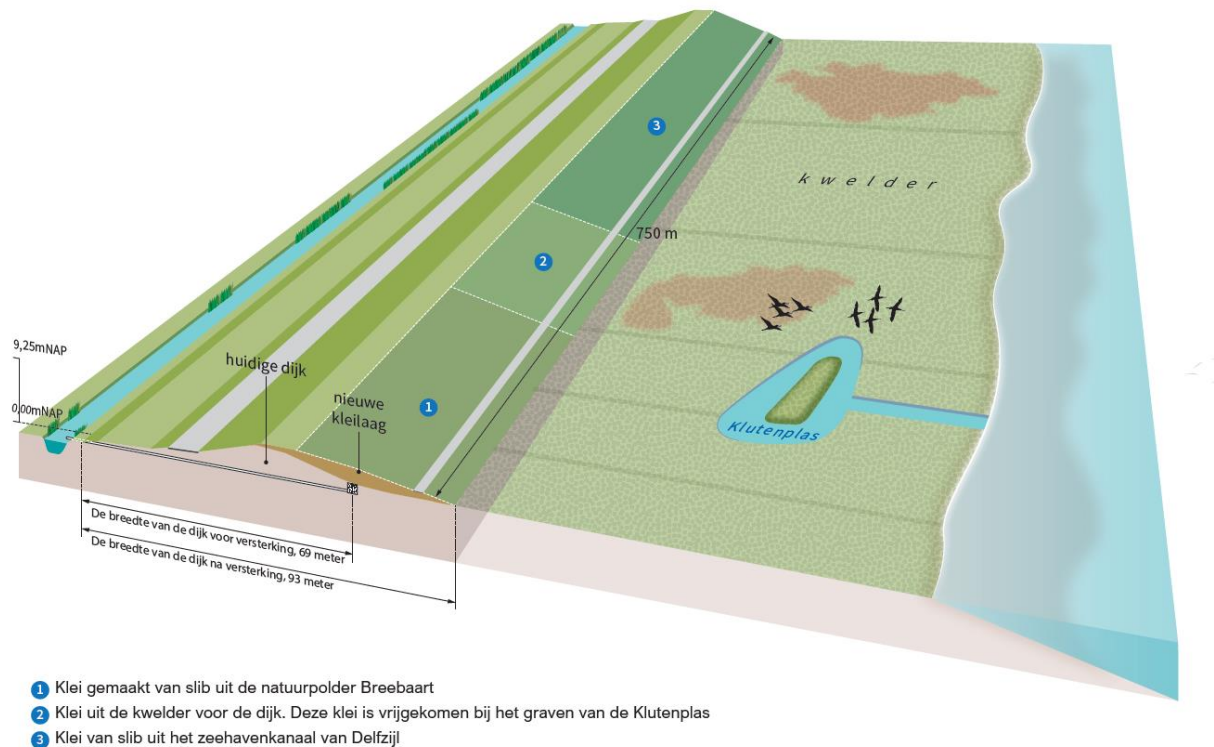
Rivier, Kust, Delta

Initiatief, Verkenning



Figuur 13.1: Brede groene dijk © One Architecture, Ecoshape

13.1 Beschrijving



Figuur 13.2: Brede groene dijk (bron: Waterschap Hunze en Aa's)

Een brede groene dijk is een waterkering die zich kenmerkt door een flauw buitentalud (1:7 minimaal) met een erosiebestendige vegetatie. Het flauwe talud is daarbij een alternatief voor een harde bekleding van bijvoorbeeld betonzuilen of asfaltbekleding. Deze dijken kunnen veel erosie weerstaan en tegelijkertijd de biodiversiteit bevorderen. De brede opbouw betekent voor waterveiligheid dat er extra stabiliteit en bescherming tegen overstromingen kan worden geboden. De extra breedte creëert ruimte voor ecologie en mogelijkheden voor landschappelijke integratie. Hiernaast is de brede groene dijk interessant omdat het de mogelijkheid biedt om lokaal gewonnen slib en klei te gebruiken als dijkversteving, wat niet het geval is bij toepassen van harde bekleding. Een brede groene dijk is daarin meer adaptief dan een harde bekleding. Ook bij wijziging van hydraulische condities is de dijk eenvoudig uitbreidbaar.

13.2 Waterveiligheid

Bij een NBS Brede Groene Dijk wordt een flauwer buitentalud gekozen zodat de belasting op de bekleding afneemt, en/of een flauwer binnentalud zodat de stabiliteit en dus de sterkte van de dijk vergroot. Dit komt door verschillende effecten (POV Waddenzeedijken, 2020). Dit is samengevat in Tabel 13.2.

Tabel 13.2: Impact op faalmechanismen.

	Overlopen	Macro-instabiliteit buitentalud	Golfoverslag	Micro-instabiliteit	Macro-instabiliteit binnentalud	Opbarsten en piping	Bekleding
Verflauwing buitentalud	0	+	+	0/+	+	0/+	+

Door een flauwer buitentalud neemt de golfbelasting af en kan een groene bekleding in plaats van een harde bekleding volstaan. Dit maakt het ook een duurzame oplossing.

Golfreductie.

Het flauwe buitentalud heeft te maken met dezelfde golven als een steil buitentalud, maar door de flauwere helling is de zone waar de golven op de kering breken groter en wordt de vrijkomende energie over een groter gebied verdeeld. Dit verlaagt de impact van de golven op de bekleding. De bekleding van kruin en binnentalud wordt ook minder snel instabiel of geërodeerd door golfoverslag. Dit effect is te berekenen door een voorlandprofiel toe te voegen aan een overloop/overslag berekening in Riskeer of Hydra-NL. Minder golfoverslag leidt ook tot een minder verzadigd dijklichaam. Dit verbetert de binnenwaartse micro- en macrostabiliteit. In de grenstoestandsfuncties in het BOI instrumentarium kan de kans op significante golfoverslag worden gereduceerd om dit effect in rekening te brengen.

Extra kwelweglengte.

Een flauwer buitentalud vergroot ook enigszins de afstand tussen de dijk en het intredepunt van de kwelstroom. Dit heeft verschillende voordelen. De langere kwelweg vermindert de kans op piping, wat de dijk sterker maakt. In de praktijk heeft dit beperkte invloed, aangezien brede groene dijken vaak een voorland bezitten, waardoor de pipingopgave al beperkt is. De freatische lijn en stijghoogtelijn worden verlaagd als hun intredepunt verder van de dijk ligt. Een lagere freatische lijn en stijghoogtelijn verhogen de korrelspanning in het dijklichaam. Dit versterkt de dijk en vermindert de kans op instabiliteit. In de grenstoestandsfuncties in het BOI instrumentarium kan daartoe de kwelweglengte/intredeweerstand worden gereduceerd. Overigens kan de aanwezigheid van een flauw buitentalud ook een zeker negatief effect hebben. Dat gebeurt als er sprake is van opbolling van de freatische lijn, als gevolg van neerslag. Dit dient te worden geschematiseerd in de 'dagelijkse' omstandigheden bij een berekening met D-Stability software.

Steunbermwerking

Een flauwer buitentalud werkt ook als een buitendijkse steunberm. Het stabiliseert de dijk tegen buitenwaarts gerichte glijvlakken. Hierdoor is de kans op buitenwaartse instabiliteit verwaarloosbaar.

Het Rijk stelt de regels op voor het uitvoeren van de veiligheidsbeoordeling op en stelt leidraden beschikbaar voor het ontwerp en het beheer van primaire keringen. Deze regels zijn beschikbaar in het Beoordelings- en ontwerpinstrumentarium (BOI). Het instrumentarium bestaat uit handleidingen, technische leidraden, software-applicaties en databases. Deze instrumenten worden gebruikt om de overstromingskans van een dijktraject te bepalen.

In de Handleiding Overstromingskansanalyse dijken/dammen (deel 1 – 5) zijn rekenregels terug te vinden om bijvoorbeeld de impact van een flauwe taludhelling (aanpassing dijkprofiel) op verschillende faalmechanismen van dijken berekenen. De rekenregels zijn ook verwerkt in de applicaties die onderdeel uitmaken van het BOI (zoals Riskeer), zodat deze gebruikt kunnen worden om de kans van optreden van bepaalde faalmechanismen te berekenen.

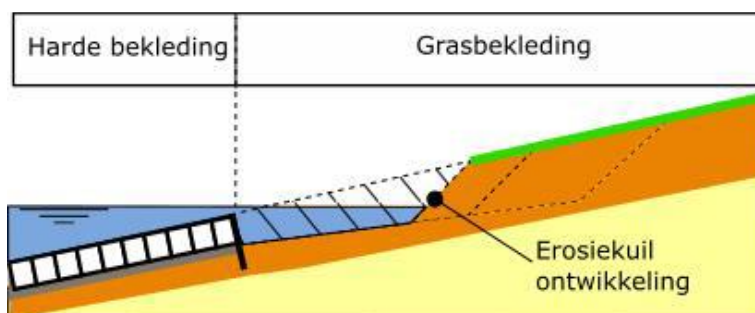
Indien het instrumentarium geen mogelijkheid biedt om bepaalde invoerparameters te wijzigen kan ook de GEBU Faalkanstool worden gehanteerd. Hiermee kan de invloed van een flauw dijktaud op de overstromingskans (door golfaanval op het buitentalud) worden bepaald.

In vergelijking met traditioneel dijkprofiel

In Van Loon-Steensma & Schelfhout (2017) zijn de voordelen van een Brede Groene Dijk t.o.v. een Traditionele dijk langs de Dollard onderzocht. De vereiste kruinhoogte voor een Brede Groene Dijk bleek iets lager te zijn dan die voor een traditionele dijk, waarbij beide ontwerpen zijn gedimensioneerd om een extreme stormvloed te weerstaan. Door de flauwere helling van de Brede Groene Dijk wordt de golfoploop beter gebroken, wat resulteert in een lagere vereiste kruinhoogte. Vanwege de verflauwing van het talud, wordt een Brede Groene Dijk vaak gecombineerd met gebruik van lokale grond (zie NBS Kleirijperij of NBS Ontwikkeling kwelder & intergetijdengebied).

Beperkte beschikbare ruimte

Indien de beschikbare ruimte beperkt is, kan als tussenvorm een harde bekleding op het lage taluddeel worden gecombineerd met een dikkere kleibekleding (met erosiebestendige grasmatten) op het bovenbeloop. Deltares heeft een rekeninstrument ontwikkeld (GEBU Faalkanstool, zie Figuur 13.3 en tekstkader), op basis van Deltagootproeven, om een zekere mate van schade op het buitentalud toe te staan. Het instrument is toepasbaar voor analyses van dijkprofielen met taludhellingen van 1:2,5 tot 1:5, waarbij een flauwer talud leidt tot minder erosie.



Figuur 13.3: principe van de GEBU-faalkanstool (bron: RHDHV-Deltares, 2022)

Rekeninstrument schadebepaling flauw dijktaalud

Voor het toestaan van schades in het buitentalud op een standaard dijktaalud langs de Waddenzee is het instrument, de faalkanstool Waddenzeedijken, ontwikkeld (bron: Deltares-RHDHV, 2022). Bij een Brede Groene dijk worden schades zo veel mogelijk voorkomen door het talud zo flauw mogelijk te ontwerpen, talud 1:7 of flauwer. Een zeker vorm van schade tijdens hoogwater is daarbij nog steeds toegestaan, maar naarmate het talud flauwer is, zal de impact hiervan sterk afnemen.

13.3 Bijdrage aan Natuurdoelen

De bijdragen aan natuurdoelen richten zich hoofdzakelijk op de potentiële vegetatieve meerwaarde op het dijktaalud. Deze maatregelen verbeteren vaak de biodiversiteit van insecten en helpen tegelijkertijd de bodem te stabiliseren om erosie te voorkomen. Bovendien vormen deze locaties uitstekende recreatiegebieden en verbeteren ze het algehele landschap in vergelijking met meer grijze oplossingen.

Tabel 13.3: Natuurwinst bij Brede groene dijk

	Draagt het concept mogelijk bij aan natuurdoelen?	Hoe draagt het mogelijk bij aan natuurdoelen?
	- = negatief effect 0 = geen effect + = positief effect	
Natura 2000-gebieden	+	H6120 – Stroomdalgraslanden H6510 A, B – Glanshaver- en vossenstaarthooilanden
Natuurnetwerk Nederland	+	N11.01 Droog schraalgrasland N12.01 Bloemdijk N12.02 Kruiden- en faunarijk grasland N12.03 Glanshaverhooiland
Beschermde soorten	0/+	O.a. diverse roofvogels met jaarrond beschermde nesten vanwege een hogere prooidichtheid op bloemrijke dijken
Kaderrichtlijn water	0	N.v.t.
Bossenstrategie	0	N.v.t.

13.4 Ontwerp, Aanleg & Beheer

De NBS Brede Groene Dijk is ontwikkeld op initiatief van Waterschap Hunze en Aa's. Het pilotproject heeft uitgebreid inzicht opgeleverd en is in samenwerking geweest met o.a. het HWBP en EcoShape. Daarbij is de Brede Groene dijk gecombineerd met toepassing van gebiedseigen grond, afkomstig uit een kleirijperij. Het onderzoek is gecombineerd met onderzoek naar kleirijperij.

De grondslag van de brede groene dijk is dat harde bekleding, bijvoorbeeld van asfalt of beton, aan de buitenzijde wordt voorkomen. In plaats daarvan zorgt een flauw buitentalud,

bekleed met grasbekleding en klei, voor voldoende erosiebestendigheid. Het flauwe buitentalud biedt echter ook kansen voor een natuurlijke toevoeging aan het buitendijkse gebied. Bij het beheer hiervan moet er ruim voldoende aandacht zijn voor de erosiebestendige grasmatt, deze is een wezenlijk onderdeel van de sterkte van de waterkering. Diverse proeven in de Deltagoot laten zien dat de sterkte van de grasmatt en de taludhelling in hoge mate maatgevend blijken te zijn voor de erosiebestendigheid. De top- en onderlaag dienen kleiig te zijn, maar er zou een uiteenlopend spectrum van klei als toepassing geschikt kunnen zijn (zie ook NBS gebiedseigen grond). Een specifieke mogelijkheid is het gebruik van materiaal uit kwelders wat vrijkomt bij afplaggen en verjongen van hoge kwelders. Naarmate het talud flauwer is, zal het risico op schade en het risico op falen van de waterkering sterk afnemen. Als minimum kan hiervoor een talud van 1:7 worden aangehouden, maar een flauwer talud is dus gunstiger voor de sterkte van de waterkering.

De Brede Groene dijk heeft ecologische meerwaarde, bij voldoende rust ook voor broedvogels die juist het hogere gedeelte langs de kwelder waarderen. Ook specifieke (zoutminnende) vegetaties zijn hier denkbaar. Het is belangrijk na te denken over de gewenste ecologische functie in relatie tot het beheer en onderhoud; belangrijk is de erosiebestendigheid van de grasmatt.

Bij de aanleg wordt voor de wijze van verdichting van de klei een minimale proctordichtheid van 97% aangehouden (conform RAW bepalingen). Een hogere verdichting leidt tot meer erosiebestendigheid (EcoShape, 2023), maar het effect van structuurvorming als gevolg van weersinvloeden kan dit mogelijk teniet doen. Ook is een te zware verdichting van de toplaag of onderlaag direct onder de toplaag mogelijk nadelig voor de wortelstructuur van de grasmatt.

Het beheer van de erosiebestendige grasmatt op het flauwe talud kan mogelijk extensief plaatsvinden, en is daarbij niet wezenlijk anders dan het beheer van de grasmatt op andere delen van de dijk. Zie hiervoor ook handreiking grasbekleding.nl. In sommige gevallen kan bij zeer zware stormen schadeherstel nodig zijn van het flauwe talud, hiermee is echter nog geen praktijkervaring opgedaan.

Toepassing van deze ontwerpoplossing is goed te combineren met toepassen van NBS Gebiedseigen grond, NBS ontwikkeling kwelders & intergetijdengebied, NBS Kleirijperij en toepassing van NBS Soortenrijke grasbekleding.

13.5 Procesaanwijzingen

Versterkingsopgaven worden in Nederland gerealiseerd met de MIRT systematiek (<https://leerplatformmirt.nl/mirt/handreikingen/handreiking-mirt-mer/>), veelal onder het Hoogwaterbeschermingsprogramma <https://roadmapduurzaamhwbp.nl/>, waarin verschillende projectfasen worden onderscheiden; initiatief, verkenning, planuitwerking en realisatie (inclusief aanbesteding). Los van een versterkingsopgave geldt de zorgplicht waterkeringen, als continu proces, geborgd door bij de waterkeringsbeheerders (Rijkswaterstaat en de waterschappen).

De roadmap Duurzaamheid HWBP is een stappenplan om in aansluiting op de genoemde projectfasering van initiatief- tot en met realisatiefase te komen tot duurzame, goed ingepaste dijkversterkingen met ruimtelijke kwaliteit. Binnen dit stappenplan en de roadmap duurzaamheid geldt dat hoe eerder een NBS betrokken wordt bij de versterkingsopgave, hoe groter de kans op werkelijke realisatie van een NBS. In de beginfase is het daarom belangrijk de duurzaamheidsambities, waar een NBS onderdeel van kan zijn, breed te verkennen. Dit vanuit meerdere opgaven en niet enkel vanuit de waterveiligheidsopgave of verbeteropgave van de waterkering.

Tabel 13.4: Procesaanwijzingen per projectfase

NBS aanleg brede groene dijk i.r.t. MIRT fasering en roadmap duurzaamheid HWBP

Initiatief	Verkenning	Planuitwerking	Aanbesteding	Realisatie
Betrekken bij projectopdracht * Denk vanuit de karakteristiek van het gebied en de opgaven in het gebied. Breng de diverse opgaven in beeld, stembeeld, stem de programmering van het dijkproject af met de buitendijkse beheerder (en anderen) en verken gezamenlijk de mogelijkheden. Focus op de kansen van combinatie van opgaven enopgaven en inventariseer de gewenste omgang met projectrisico's en dilemma's. * verken bijdrage duurzaamheid voor ten minste de mogelijke winst op de thema's circulariteit, ruimtelijke kwaliteit en biodiversiteit /biodiversiteit/ecologie. * Maak voorvoor- en nadelen inzichtelijk en leg dit vast, bijvoorbeeld met een startnotitie en samenwerkingsovereenkomst. *Stem projectorganisatie en kostenverdeling af op de opgave; betrekken van voorlandontwikkeling bij de dijkversterking vraagt ook in de voorbereiding een investering * Denk na over de juridische implicaties van een brede groene dijk (N2000 gebiedsbescherming) engebiedsbescherming) en maak hiervoor afspraken t.a.v. rolverdeling en werkwijze.	Varianten dijkversterking en NBS hangen met elkaar samen * Verken ontwerpvarianten die voldoen aan de projectopdracht. Als een brede groene dijk onderdeel is van de opdracht, zijn de ontwerpvarianten dat ook. * Verken eventueel de NBS als "omgevingsvariant" of alternatief voor traditionele dijkversterking. * maak de winst op ten minste de thema's circulariteit, ruimtelijke kwaliteit en biodiversiteit /ecologie inzichtelijk en betrek dit bij de afweging van varianten. * Maak voor beslissers inzichtelijk hoe de NBS bijdraagt aan de doelstellingen van het project. * Verken of NBS kan bijdragen aan duurzaamheidsdoelstellingen in algemene zin (bijv. CO2 reductie). * Verken de mogelijkheden en business case van het vermijden van investeringen aan de dijk door extra investeringen in de brede groene dijk en/of meerjarige uitvoering. Kijk daarbij ook naar vermeden investeringen in de toekomst (vervangen harde bekledingen bij gewijzigde HR conditiesHR-condities) * Verken de NBS bij voorkeur in combinatie met toepassing van de NBS kleirijperij, NBS Soortenrijke grasbekleding, NBS gebiedseigen grond.	Uitwerking ontwerp en bepalen effecten *Werk bij voorkeur met een gecombineerde uitvoering en een gecombineerd planproces, zodat er sprake is van synergie tussen NBS en dijkversterking. * maak de winst op ten minste de thema's circulariteit, ruimtelijke kwaliteit en biodiversiteit inzichtelijk en betrek dit bij de uitwerking van referentieontwerp en plannen. * Maak voor beslissers inzichtelijk hoe de NBS bijdraagt aan de doelstellingen van het project. * Verken of NBS kan bijdragen aan duurzaamheidsdoelstellingen in algemene zin (bijv. CO2 reductie). * Bepaal effecten van het VKA, waarbij de meerwaarde van het de NBS ook terug komtterugkomt in de planproducten (projectbesluit, MER, etc.). Werk het ontwerp hiervoor voldoende uit.	Combineren van uitvoering * Bepaal de keuze van de contractvorm mede op basis van het benutten van de synergie tussen brede groene dijk en dijkversterking. Bijv. door ruimte te geven aan het optimaliseren van grondstromen. Leg de eisen voor NBS zodanig vast dat ook in de realisatiefase de meerwaarde van de NBS wordt gewaarborgd in zowel uitvoering als beheer.	Combineren van uitvoering *Toets en bewaak de projectdoelen. Zorg voor voldoende waarborgen in de uitvoeringsfase, zodat de beoogde effecten van de NBS worden gerealiseerd. Dit kan bijvoorbeeld door het vragen van tussentijdse rapportages en veldinspecties. Zorg voor een goed ontwikkelontwikkelings- en instandhoudingsplan voor duurzaam beheer, maak afspraken tussen de verschillende beheerders

13.6 Voorbeelden

Brede groene dijk

13.7 Referenties

Baptist, M., van der Meer, J., & de Vries, M. (2007). De Rijke Dijk, Ontwerp en benutting van harde infrastructuur in de getijzone voor ecologische en recreatieve waarden, (December 2006), 117.

EcoShape. (2023). Eindrapport kennisontwikkeling realisatie Brede Groene Dijk.

EurOtop. (2018). Manual on wave overtopping of sea defences and related structures. An overtopping manual largely based on European research, but for worldwide application. Van der Meer, J.W., Allsop, N.W.H., Bruce, T., De Rouck, J., Kortenhaus, A., Pullen, T., Schüttrumpf, H., Troch, P. and Zanuttigh, B., www.overtopping-manual.com.

Handreiking toepassing GEBU Faalkanstool Waddenzeedijken, RHDHV-Deltares, 2022.

Kennisprogramma Hunze en Aa's (brede groene dijk).

POV Waddenzeedijken. (2020). Handreiking Rijke Dijk.

<https://www.hwbp.nl/binaries/hoogwaterbeschermingsprogramma/documenten/rapporten/2021/02/05/handreiking-rijke-dijk/Rijke+Dijk+--+EXTERN+Handreiking+incl+bijlagen.pdf>

Van Loons-Steensma, J.M., Schelfhout, H.A. (2017). Wide Green Dikes: A sustainable adaptation option with benefits for both nature and landscape values? Land Use Policy 63 (2017) 528-538.

Van Loon-Steensma, J.M., Schelfhout, H.A. (2013). Pilotstudie Groene Dollard Dijk: een verkenning naar de haalbaarheid van een brede groene dijk met flauw talud en een voorland van kwelders. Rapport 2437 en 18050-000-ZKS-0004. Alterra en Deltares.

Van Steijn, P., Klein Breteler, M. (2021). Onderzoek Geschiktheid Deltaklei in kader van demonstratieproject Brede Groene Dijk. Stap 9: Meting erosiebestendigheid deltaklei met Deltagootproevenrapport 11206194-002-HYE-0014. Deltares.

Vuik et al., 2019. Vuik, V., Borsje, B. W., Willemsen, P. W., & Jonkman, S. N. (2019). Salt marshes for flood risk reduction: Quantifying long-term effectiveness and life-cycle costs. *Ocean & coastal management*, 171, 96-110.

14 Kennisleemtes en Aanbevelingen

14.1 Introductie

Het inventariseren van wetenschappelijke kennis en praktijkervaringen heeft in dit onderzoek kennisleemten bloot gelegd die een werkelijke toepassing in de praktijk ontmoedigen of zelfs belemmeren. Er is een gat tussen de 'state of the art' kennis en de kennis die nodig is voor een praktische implementatie van een NBS-concept in een dijkversterkingsproject.

In dit hoofdstuk wordt ingegaan op de kennisleemten die in het onderzoek zijn geïdentificeerd. Deels zijn deze kennisleemtes reeds geadresseerd in de studie die voor het onderzoek is geraadpleegd. De kennisleemtes worden in het onderstaande puntsgewijs beschouwd vanuit de thema's. In het onderzoek is gebleken dat in een bepaald thema -zoals waterveiligheid- de kennisleemten voor een aantal verschillende NBS-concepten in de basis gelijk zijn.

14.2 Waterveiligheid

- Het samenspel tussen een zandig *voorland/vooroever* en de kleidijk is een kennisleemte. Na opeenvolgende stormen moet het resterende zandvolume nog zodanig zijn dat de golven de dijk niet bereiken of niet te zwaar belasten. Dit is een cruciaal element in het ontwerp van een zandig voorland maar op dit moment biedt het beschikbare instrumentarium geen mogelijkheid om kwantitatief een dergelijk ontwerp op te stellen en te optimaliseren (POV Voorlanden, 2019).
- De toepassing van begroeide *vooroevers (of kwelders)* wordt steeds vaker genoemd als een effectieve methode om golfbelasting op dijken te verminderen. De meeste bestaande empirische studies kwantificeren alleen golfdemping voor matige golfomstandigheden in combinatie met beperkte waterdiepten. De efficiëntie onder zware stormomstandigheden langs de kust met hoge golven en grote waterdiepten is nog een kennisleemte (Vuik et al., 2016), hoewel recente veldmetingen tijdens stormen (Zhu et al., 2020) en grootschalige golfgootexperimenten (Möller et al., 2014; Deltares, 2024) dit gat langzaam maar zeker beginnen te vullen.
- *Gebiedseigen grond* wordt verwerkt in de dijkgeometrie en mogelijk afgewerkt met een bekleding van lokale klei vanuit de *kleirijperij*. Nieuwe ontwikkelingen (NEN-EN-ISO 14688 classificatie, gewijzigde indeling kleicategorieën) zijn nog niet meegenomen in standaard richtlijnen, zoals de RAW (Rationalisatie en Automatisering Grond-, Water- en Wegenbouw). Een verband tussen materiaaleisen en functionele eisen aan dijkonderdelen is hierin gewenst (POV Dijkversterking met Gebiedseigen Grond, 2021).
- De toepassing van flauwere taluds zoals in de NBS *Brede Groene dijk* of zelfs NBS *Dubbele dijken* zorgen voor een robuuste waterkering. In vergelijking tot een traditionele dijk kan de kruinhoogte worden gereduceerd maar de aanvullende waterveiligheid door reststerkte (residuele sterkte tussen het moment van falen bekleding en overstromen) is hierin nog een kennisleemte (Van Loon-Steensma & Schelfhout, 2017).
- Kennisleemte is de invloed van vegetatie op sterkte van de dijkbekleding: de onderzoeksvraag is welke combinatie van grond en vorm leidt tot welke vegetatie. Alle

dijken zijn met zware klei ontworpen waardoor de vegetatie niet divers is. Hoewel combinatie met zand in beginsel de dijkbekleding de weerstand tegen erosie verkleint, leidt een zandige bovenlaag tot meer diversiteit in vegetatie en ontstaat mogelijk per saldo een sterkere bekleding.

14.3 Natuurdoelen

- Voor de verschillende NBS-concepten zouden leidraden ontwikkeld moeten worden voor het samenstellen en opzetten van gepaste monitoringsprogramma's. Doelbereik moet worden gemeten en leggen de noodzaak van aanvullende (beheer)maatregelen bloot.
- Er wordt aanbevolen om verder onderzoek uit te voeren naar sturende factoren die nodig zijn voor het succesvol behalen van natuurdoelen bij inzet van een NBS-maatregel. Vergelijkbare projecten zouden verder geëvalueerd moeten worden.
- Er wordt aanbevolen verder onderzoek uit te voeren naar een werkkader om de vergunbaarheid van NBS ingrepen te borgen door bevoegde gezagen (vroeg)tijdig bij de ontwikkeling en uitwerking te betrekken. Deze onderzoeksvraag kan ook worden geplaatst onder het thema procesaanwijzing.
- Er is behoefte aan een goed waarderingssysteem voor biodiversiteit om het effect van dijken op biodiversiteit en ecologie in kaart te brengen en monitoring van vegetatie in de bredere keten. Het Deltaplan biodiversiteit werkt er momenteel aan.
- Er wordt aanbevolen verder onderzoek uit te voeren naar kennis over hoe NBS aangelegd en beheerd moeten worden. Kosten-effectief aanleggen van kwelders vraagt bijvoorbeeld meer kennis over materiaal, golf remmende structuren en vegetatie. Binnen het project Living Dikes wordt dit overigens opgepakt.
- Er is meer kennis nodig over ontwerp, aanleg en beheer van zandige oplossingen in het merengebied. Er is onderzoek nodig naar de dynamiek van het zand in de zandige oplossingen en naar het effect hiervan op waterveiligheid.
- Het BOI kan niet makkelijk omgaan met soortenrijke vegetatie als bekleding. Het instrumentarium om de waterkering te beoordelen is momenteel niet ingericht om soortenrijke grasbekleding te beoordelen. De kennisvraag is hoe neem je dit type bekleding meeneemt in de beoordeling, het ontwerp en het beheer.

14.4 Aanleg en Beheer

- Voor de NBS *dijkversterking in combinatie met rivieraanpassingen* ontbreekt een eenduidig (landelijk) vergunningskader om het geohydrologisch effect van rivieraanpassingen op de dijk te beoordelen. Hierdoor wordt dit effect regelmatig over het hoofd gezien in ontwerpen en planstudies, terwijl het effect op de waterveiligheid vaak significant is.
- Voor de NBS *kwelderontwikkeling* is er weinig ervaring met het verjongen van bestaande kwelders om pioniervegetatie in stand te houden. Juist dit habitatype is vaak schaars terwijl er een tekort is aan spontane kwelderontwikkeling in estuaria.
- Voor de NBS *Soortenrijke grasbekleding* is er veel praktijkinformatie beschikbaar (handreikinggrasbekleding.nl). De invloed van verschillende typen beheer op de erosiebestendigheid is kwalitatief bekend, maar moeilijk te kwantificeren en voorspellen

aan de hand van berekeningen voor de erosiebestendigheid. Hier is nader onderzoek naar mogelijk.

- Voor de NBS *gebiedseigen grond* is meer onderzoek gewenst naar de interactie tussen materiaalsamenstelling, vegetatiegroei en vegetatietypen op dijken. Diepgaander kennis hierover kan de ontwerper helpen bij het opstellen van ontwerpen en het maken van keuzes hierin.

14.5 Referenties

[Deltares. \(2024\). Bijdrage van kweldervegetatie aan het waterkeringssysteem; Meetverslag van Deltagootproeven. Deltares rapport 11205132-004-HYE-0011, Mark Klein Breteler, Pim Willemsen en Vera van Bergeijk, 21 augustus 2024 \(concept\).](#)

Möller et al. (2014). Wave attenuation over coastal salt marshes under storm surge conditions. <https://sci-hub.se/10.1038/ngeo2251>

Vuik, V., Jonkman, S. N., Borsje, B. W., & Suzuki, T. (2016). Nature-based flood protection: The efficiency of vegetated foreshores for reducing wave loads on coastal dikes. *Coastal engineering*, 116, 42-56.

Zhu, Z., Vuik, V., Visser, P.J., Soens, T., van Wesenbeeck, B., van de Koppel, J., Jonkman, S.N., Temmerman, S. & Bouma, T.J. (2020). Historic storms and the hidden value of coastal wetlands for nature-based flood defence. *Nature Sustainability*, 3(10), 853-862.